

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 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 ППАЗ, делятся на три группы:

1. Меры амплитуд УЗ смещений.
2. Приборы для измерения электрических сигналов на выходе аттестуемых ППАЗ.
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:

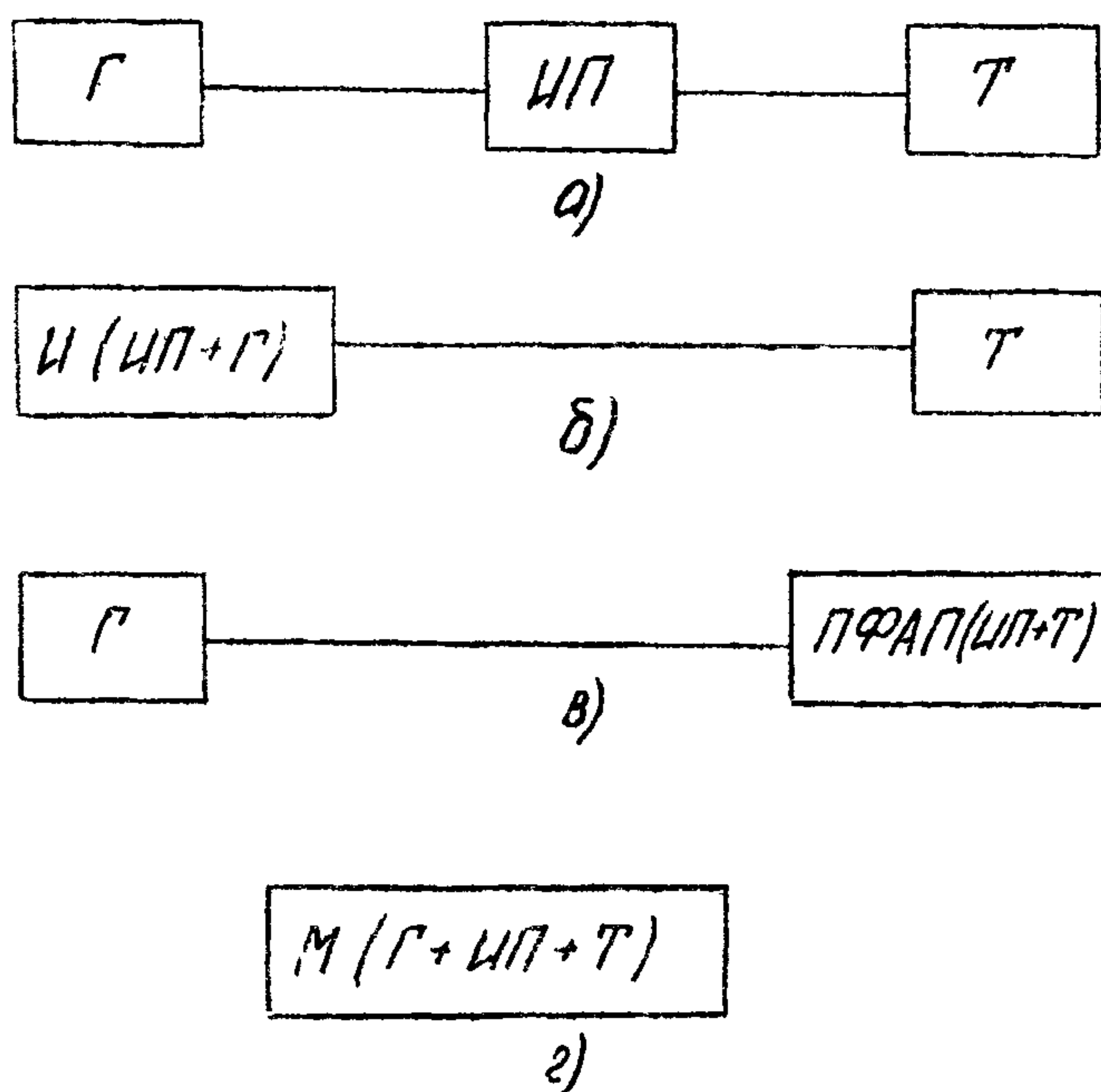


Рис. 1.

ПФАП – преобразователь-формирователь акустического поля.

В настоящей методике для аттестации ППАЗ 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 ШПАЗ, параметры которой измеряются			
		АЧХ	ИХ	ДН	ЭИ
1. Анализатор спектра	СК 4-59	да		да	
2. Осциллограф	СИ-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 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 собствен- ного шума, приведен- ный к входу, не более $0,2 \mu\text{В}$ в полосе 1 МГц				
4. Графопост- роитель	Н-306	да			да
5. Генератор биполярных импульсов (радиоим- пульсов с одним периодом колебаний)	Г5-56 Выходы двух кана- лов запараллелены через разделитель- ные емкости $0,3 \div 1$ мкФ		да		
6. Усилитель- ограничи- тель	Максимальный ко- эффициент усиле- ния $(40 \pm 0,5) \text{ дБ}$ Неравномерность АЧХ не более $2,5 \text{ дБ}$		да		
7. Полусфери- ческий об- разец	Радиус полусфе- ры $(95 \div 140) \text{ мм}$ 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 ПП АЭ воздействует калиброванным широкополосным шумом.

Для измерения импульсной характеристики и её параметров на аттестуемый ПП 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 образцовым ультразвуковым (емкостным и т.п.) приемником ультразвука и метода взаимности (или само-взаимности), 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 Госэнергонадзором .

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

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 ± 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 ПЭ к электрической цепи

6.2.1. Входное сопротивление, подключаемых к ПП АЭ приборов, должно быть высокоомным либо стандартным, образованным параллельным соединением емкости $C = 30$ пф и сопротивления $R = 1$ 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 III АЭ производят с соединительным кабелем, имеющим параметры:

- волновое сопротивление $(50 \pm 3,0)$ 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 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 $0,3 \text{ Н/мм}^2$, 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 ПИАЭ реагирует на эти колебания.

8.3. Измерение параметров ПИАЭ.

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

Параметры ПИАЭ 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 ПИАЭ и измеренным значениям отношения электрических сигналов на входе ПИАЭ и выходе ПП, производимых 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 ПИАЭ;
- 3 - усилитель предварительный (высокоомный);
- 4 - анализатор спектра;
- 5 - двухкоординатный самописец.

Через слой контактной смазки аттестуемый Ш АЭ устанавливают на меру с помощью устройства крепления, поставляемого вместе с Ш АЭ, совмещая центр Ш 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 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 Ш 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 Ш 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 Ш АЭ (коэффициенты – для многорезонансных) на частоте максимума преобразования определяют расчетным путем по формуле:

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

где $U_{\text{вых}}$ — напряжение на выходе ПП 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 ПП АЭ на уровне 2σ определяют по формуле:

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

где n — число переустановок ПП АЭ на мере смещения,

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

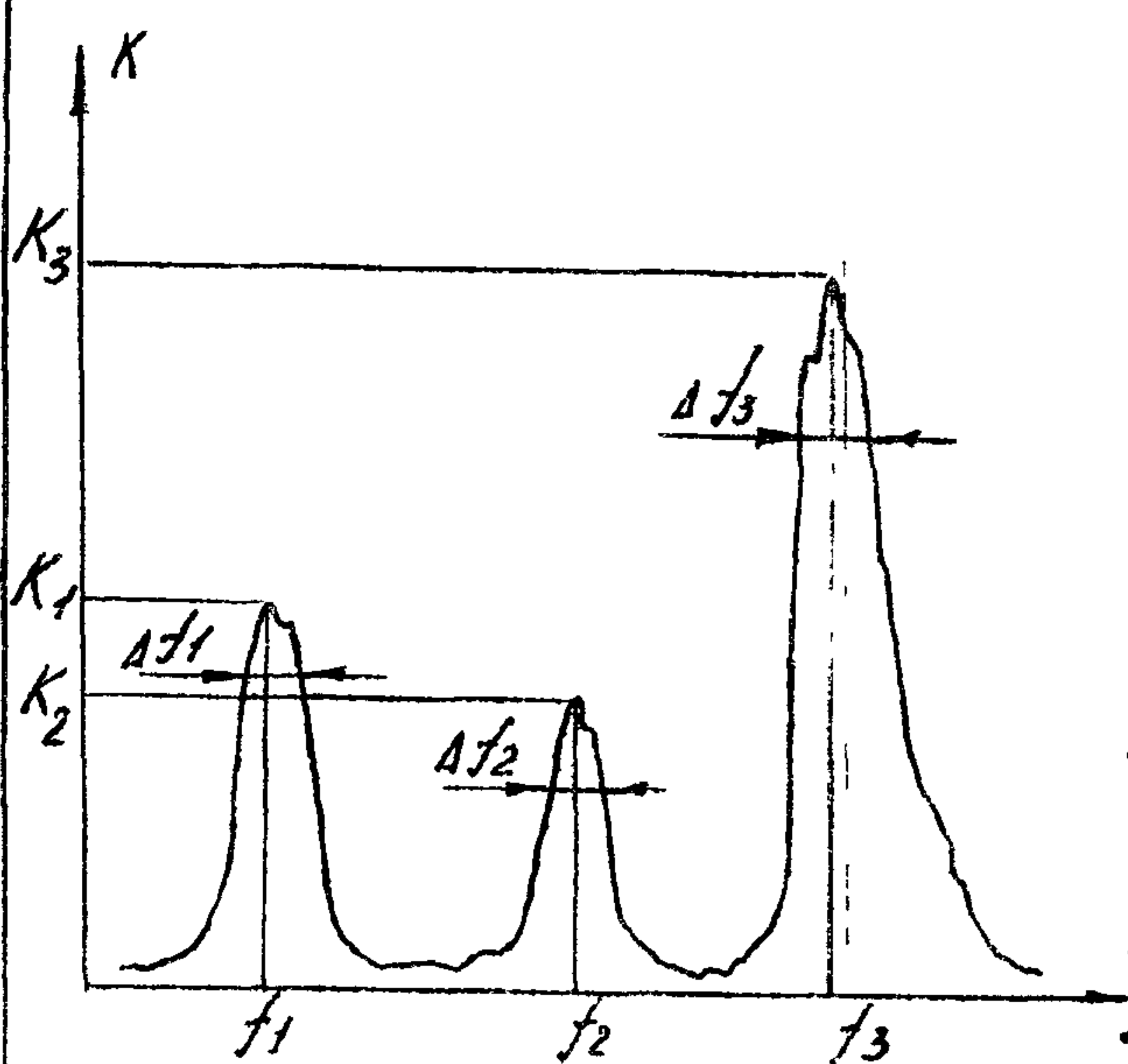
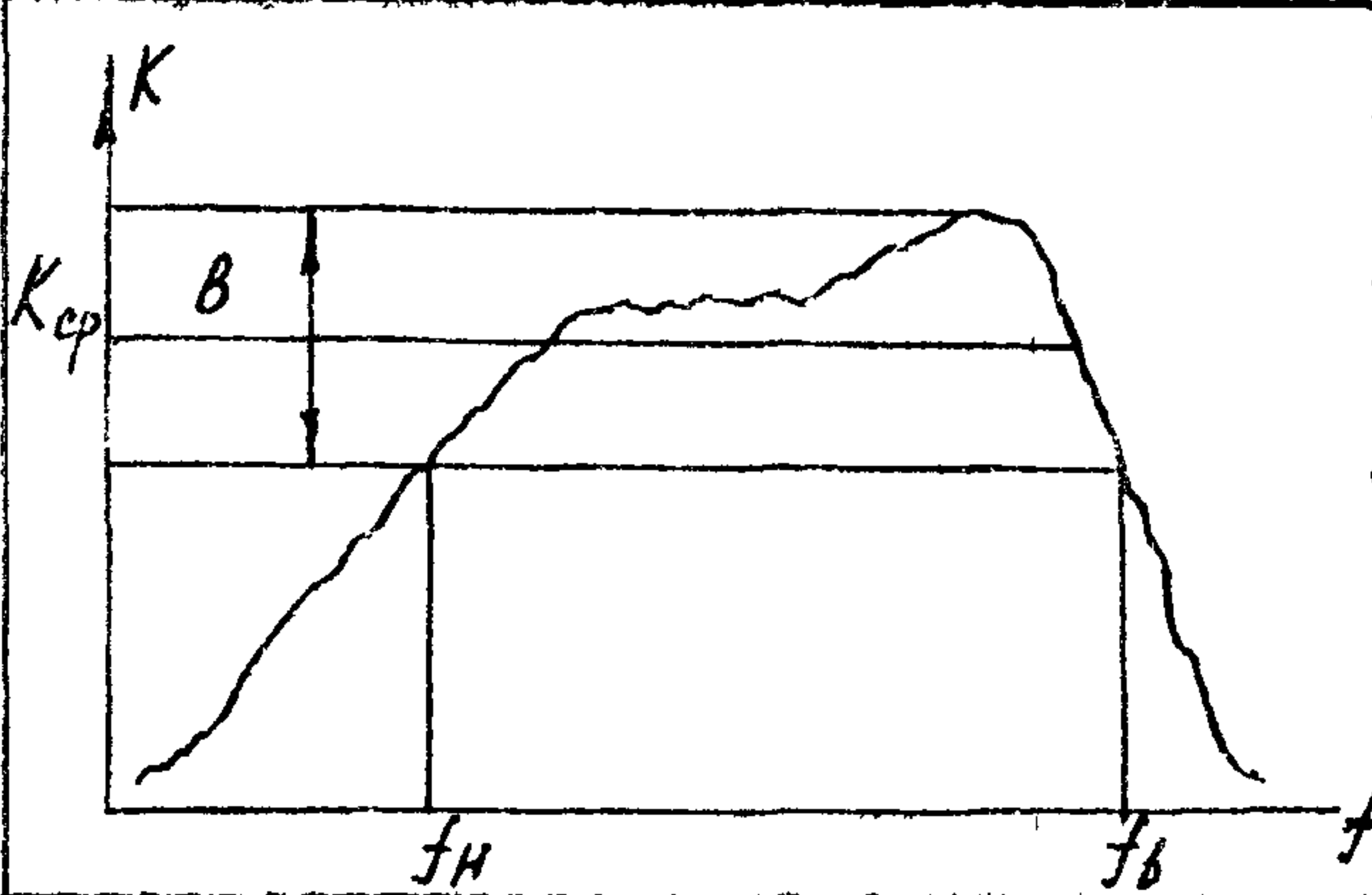
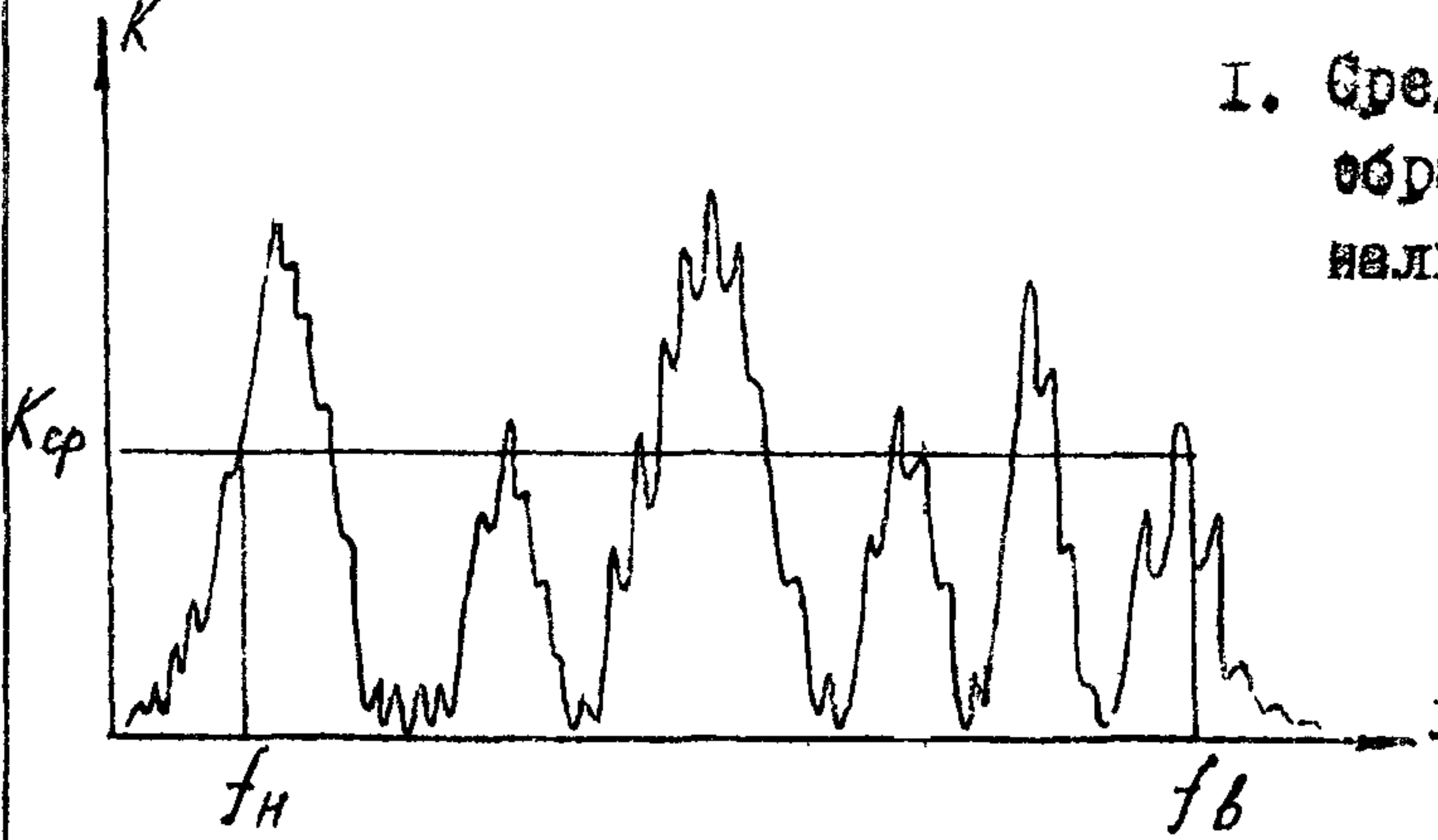
U_i — результат одного измерения на частоте максимума преобразования.

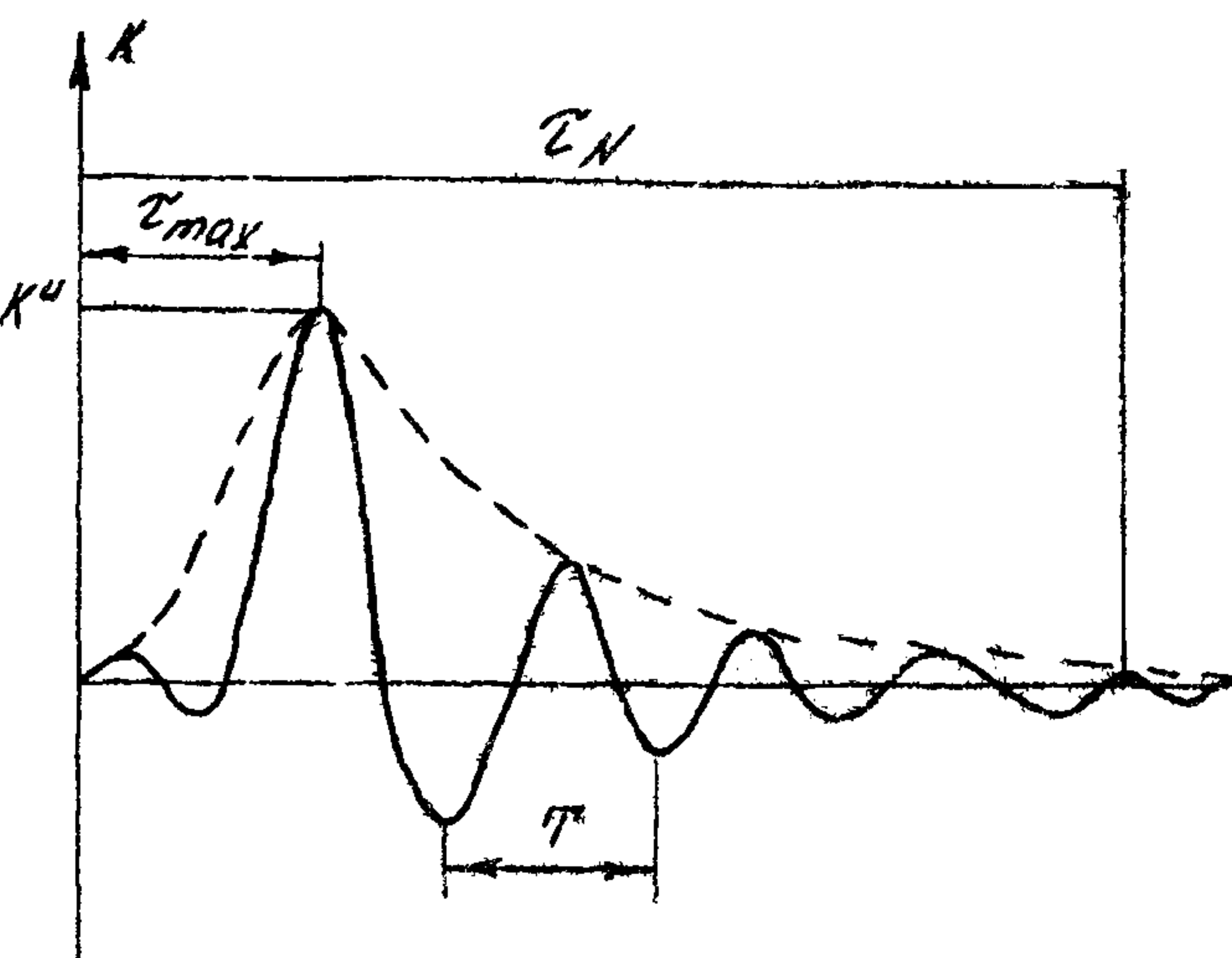
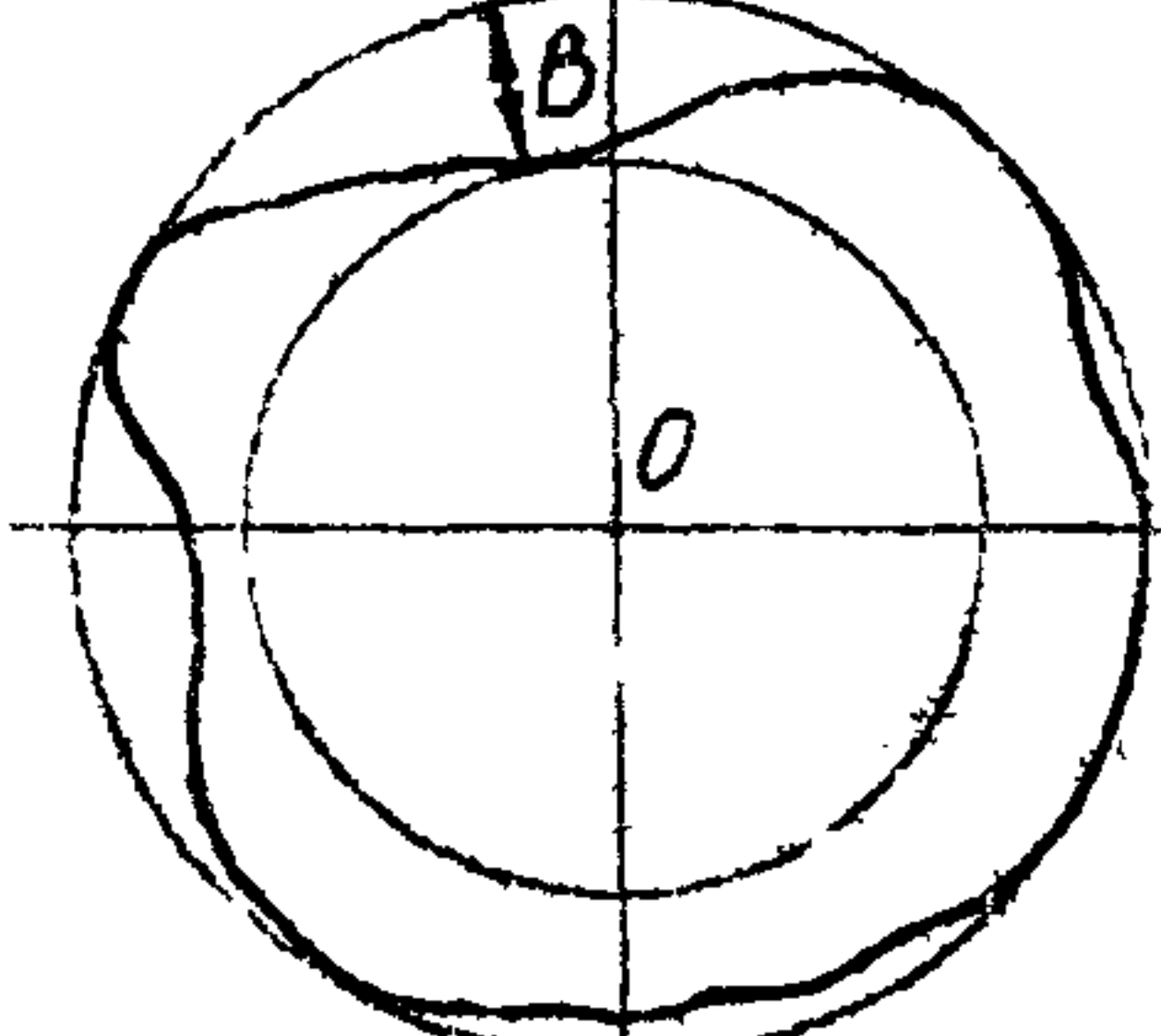
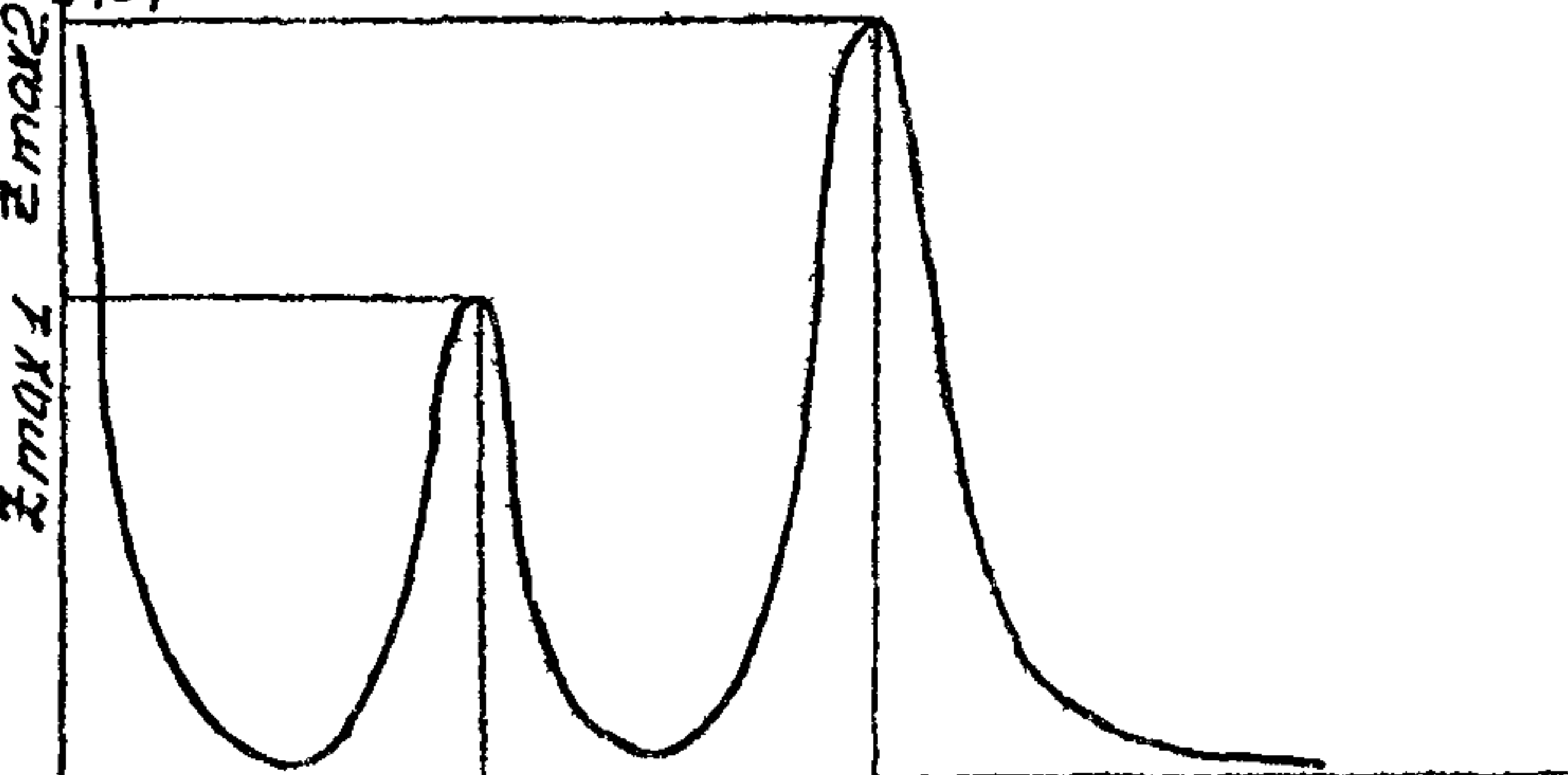
Величину $\delta_{\text{ак.к.}}^{K_u}$ определяют по формуле (2), подставляя $\bar{U}$ — среднее арифметическое значение максимальной амплитуды электрического отклика с выхода ПП АЭ, измеренное с помощью осциллографа, U_i — результат одного измерения максимальной амплитуды электрического отклика с выхода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

8.3.1.5. 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 1

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 $\delta_{акк}^K$ 4. Полосы пропускания $\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3$ 5. Уровень собственного шума ШИ АЭ.	
		1. Рабочий диапазон частот f_B, f_H 2. Средний коэффициент преобразования K_{cp} 3. Неравномерность в номинальном диапазоне частот B	
		1. Средний коэффициент преобразования K_{cp} в номинальном диапазоне частот	

	Типы характеристик	Параметры характеристик
Импульсная характеристика		1. Коэффициент импульсного преобразования K^u 2. Погрешность акустического контакта $\delta_{ак.к.}^u$ 3. Длительность огибающей переднего фронта τ_{max} 4. Длительность импульсной характеристики T_N 5. Средняя частота заполнения $f_{зан} = \frac{1}{T}$
Диаграмма направленности		1. Неравномерность B 2. Акустический центр рабочей поверхности O
Электрический импеданс		1. Частоты антирезонансов $f_{ар1}, f_{ар2}$ 2. Модули электрических сопротивлений на частотах антирезонанса Z_{max1}, Z_{max2}

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

2. Коэффициенты преобразования ИП 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 ППАЭ 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 1 КГц.

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

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

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

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

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 линию, на уровне которой АЧХ снижается на величину заданной неравномерности от максимального значения АЧХ. Точки пересечения, проведенной линии, с АЧХ проецируют на ось абсцисс. Полученные значения f_H , f_B , соответствуют нижней и верхней границам рабочего диапазона частот.

8.3.1.8. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики широкополосных ПНАЭ определяют как разность уровней максимального и минимального значений на экране анализатора либо на графике АЧХ в номинальном диапазоне частот.

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

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

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

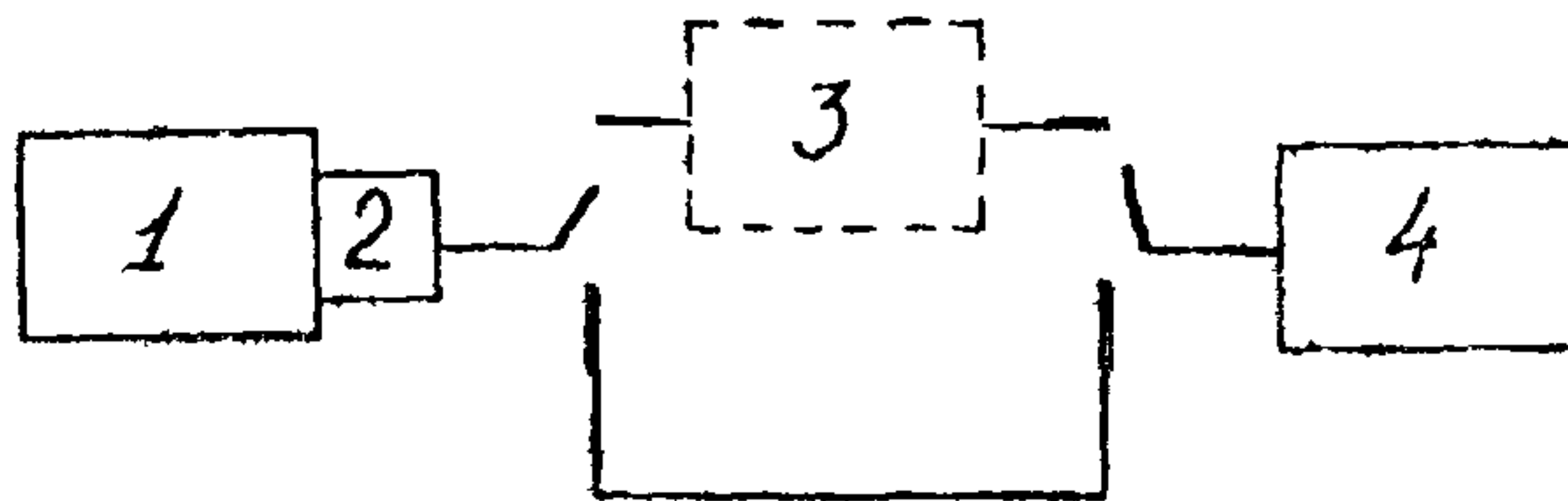


Рис. 3

1 - мера смещения,

2 - аттестуемый ПНАЭ,

3 - предусилитель (используется для ПНАЭ с малым коэффициентом преобразования),

4 - осциллограф.

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

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

8.3.2.1. Коэффициент импульсного преобразования определяют по формуле:

$$K'_{\text{и}} = \frac{U_{\text{max}}}{A} \text{ В/м}, \quad (6),$$

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

A — амплитуда акустического биполярного импульса, м.

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

8.3.2.2. Длиность отгибающей переднего фронта τ_{max} , длиность импульсной характеристики $\tau_{\text{и}}$, среднюю частоту заполнения $f_{\text{зан}} = \frac{1}{T}$ 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.

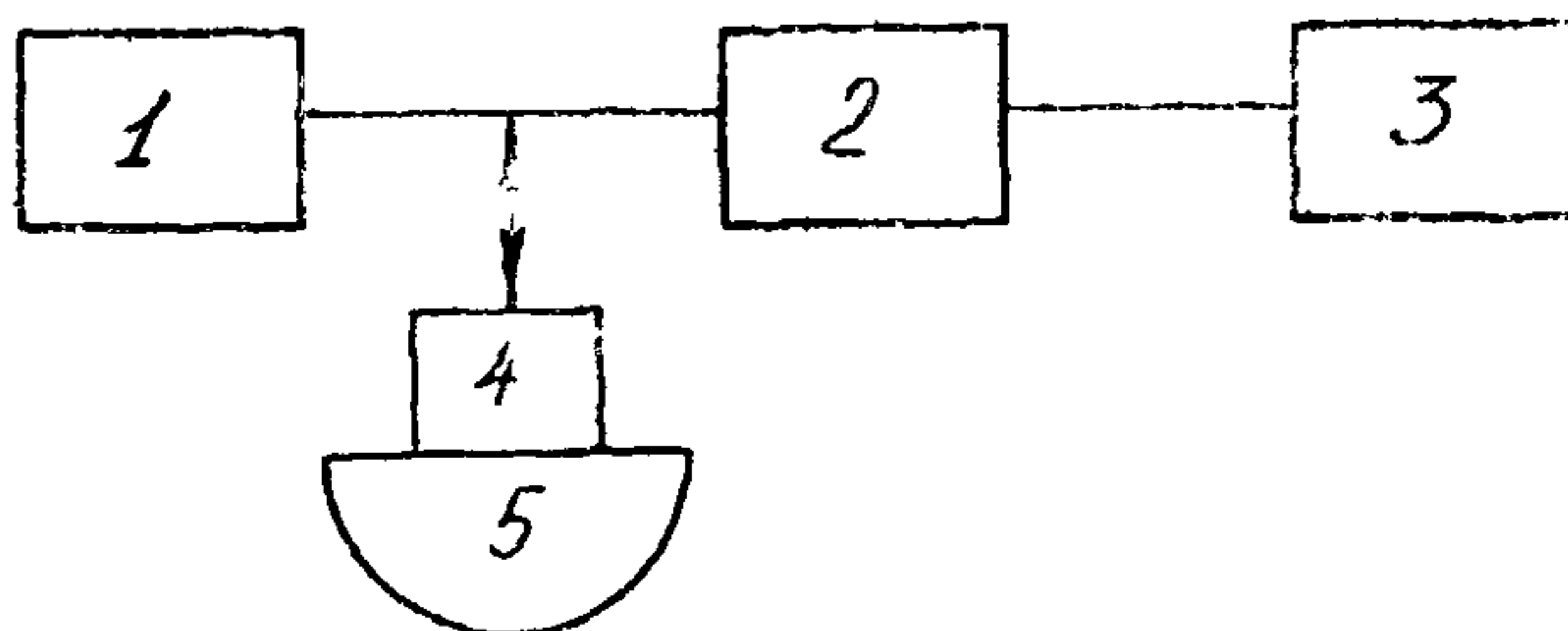


Рис. 4

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

Аттестуемый ПИАЭ устанавливают на полусферу. Длиность импульса генератора устанавливают равной $1/f_c$, для резонансных

ПИАЭ (f - частота резонанса) и равной $1/f_p$, для широкополосных ПИАЭ (f_{cp} - средняя частота рабочего диапазона ПИАЭ). Перемещая ПИАЭ по поверхности полусферы, добиваются максимального значения амплитуды первого эхо-импульса от сферической поверхности. При этом акустический центр контактной поверхности ПИАЭ совпадает с геометрическим центром поверхности полусферического образца.

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

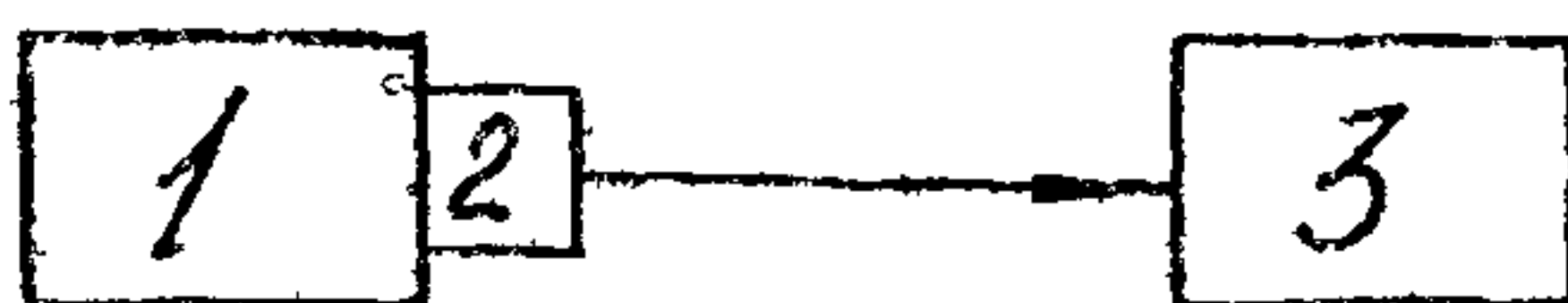


Рис. 5

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

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

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

8.3.3.4. При измерении диаграммы направленности широкополосных ПИАЭ в каждой точке (через 30°) определяют средний коэффициент электроакустического 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 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 разна 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 импеданса и его параметров. Собирают схему рис. 6.

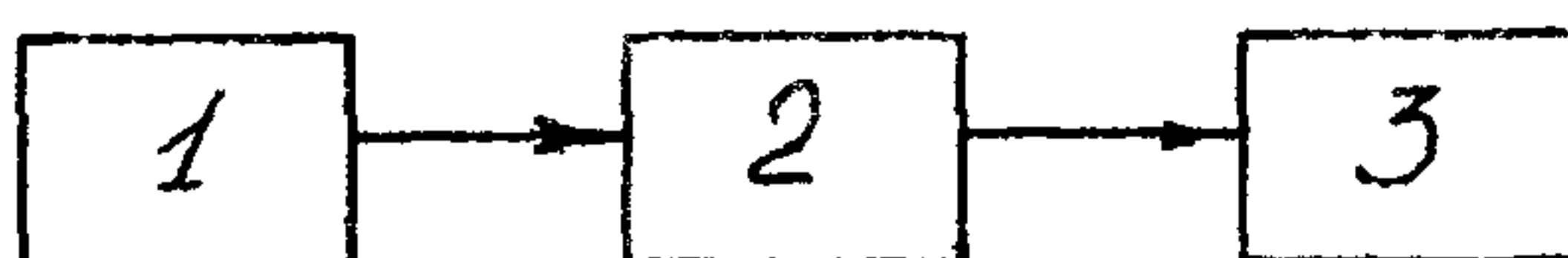


Рис. 6.

1 - аттестуемый ШПАЭ, 3 - самописец, 2 - измеритель импеданса.

Зависимость электрического импеданса от частоты записывают с помощью самописца. 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 ШАЭ

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 ШАЭ на уровне 2σ 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:

$$\delta_K = \sqrt{\delta_M^2 + (\delta_M^{АЧХ})^2 + (\delta_{АН}^4)^2 + (\delta_{АК.К.}^4)^2 + \delta_{УС}^2 + \delta_Z^2}, \quad (7)$$

где δ_M — погрешность из-за смещения по амплитуде,

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

$\delta_{АН}^4$ — погрешность измерения напряжения анализатором спектра,

$\delta_{АК.К.}^4$ — погрешность акустического контакта. На уровне 2σ ,

при n — измерениях, величина $\delta_{АК.К.}^4$ вычисляется по формуле:

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

где n — число измерений,

$\bar{U}$ — среднее арифметическое значение напряжения на клеммах аттестуемого ШАЭ,

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:

$$\delta_Z = \left| 1 - \frac{Z_{вх\ ус}}{Z_{вх\ ус} + Z_{ПП\ АЭ}} \right| \cdot 100\%, \quad (9)$$

где $Z_{вх\ ус}$ - входное сопротивление высокоомного предусилителя,
 $Z_{ПП\ АЭ}$ - сопротивление аттестуемого ШПЭ.

9.1.3. Погрешность полос пропускания определяется выражением:

$$\delta_{ПП} = \sqrt{(\delta_{АН}^n)^2 + (\delta_{ак.к.}^n)^2}, \quad (10)$$

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

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

9.1.4. Погрешность рабочего диапазона частот широкополосных ШПЭ определяется выражением:

$$\delta_{дфн} = \sqrt{\text{ctg}^2 \alpha_H [(\delta_M^{АЧХ})^2 + (\delta_{АН}^{АЧХ})^2 + \delta_{ак.к.}^2] + (\delta_{АН}^f)^2}, \quad (11)$$

$$\delta_{дфв} = \sqrt{\text{ctg}^2 \alpha_B [(\delta_M^{АЧХ})^2 + (\delta_{АН}^{АЧХ})^2 + \delta_{ак.к.}^2] + (\delta_{АН}^f)^2}, \quad (12)$$

где $\delta_{дфн}$, $\delta_{дфв}$ - соответственно погрешности нижней и верхней границ рабочего диапазона частот; $\text{ctg} \alpha_H$, $\text{ctg} \alpha_B$ - соответственно котангенсы угла наклона АЧХ в точках пересечения АЧХ с линией, на уровне которой АЧХ снижается на величину заданной неравномерности; $\delta_M^{АЧХ}$ - 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_H и f_B ;

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

9.1.5. Погрешность неравномерности АЧХ широкополосных ШПЭ определяется выражением:

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

где $\delta_M^{АЧХ}$ - погрешность за счет неравномерности АЧХ мерн.

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

$\delta_{ак.к.}^B$ - погрешность за счет влияния акустического контакта на величину неравномерности B ;

$tg\alpha$ - максимальный тангенс угла наклона АЧХ на нижней или на верхней границах рабочего диапазона частот;

$\delta_{\Delta H}''$ - погрешность намерения полосы пропускания анализаторной сети.

9.1.6. Погрешность коэффициента импульсного преобразования определяется выражением:

$$\delta_K^u = \sqrt{\delta_M^2 + (\delta_{oc}^u)^2 + (\delta_{ак.к.}^u)^2 + \delta_{ус}^2 + \delta_z^2}, \quad (I4)$$

где δ_M - погрешность меры смещения;

δ_{oc}^u - погрешность измерения напряжения осциллографом;

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

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

δ_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:

$$\delta_{\tau} = \sqrt{\delta_{oc}^2 + (\delta_{ак.к.}^f)^2}, \quad (I5)$$

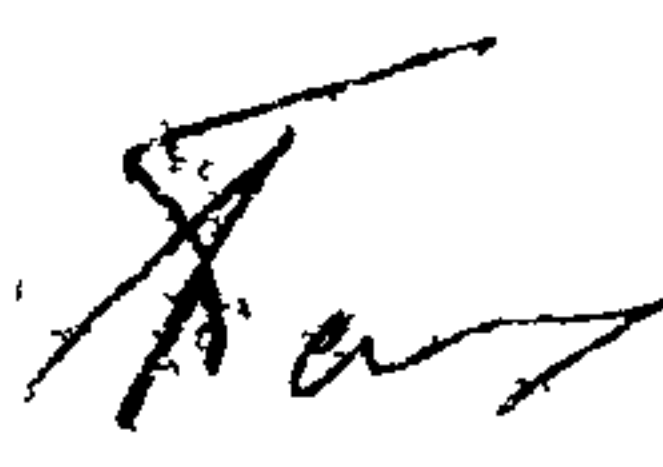
где δ_{oc} - погрешность измерения длительностей осциллографом;

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

10. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

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

10.2. На каждый аттестуемый ПИАЭ оформляется 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 ИУ

№ пп	Термин	Условное обознач.	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 ППАЗ, устанавливаемые в стандартах или технических условиях на них
4.	Полоса пропускания резонансных ППАЗ	Δf	Интервал частот, в пределах которого коэффициент электроакустического преобразования сигнала на 3дБ от его значения на частоте максимума преобразования
5.	Коэффициент преобразования	K	Отношение уровня электрического сигнала на выходе ППАЗ к уровню ультразвукового сигнала на входе ППАЗ

1	2	3	4
6.	Частота максимума преобразования	f_i	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_{cp}	Среднее арифметическое значение коэффициента преобразования в рабочем или номинальном диапазоне частот
9.	Импульсная характеристика		Электрическое напряжение в нагрузке приемника на выходе ППАЭ при возбуждении его биполярным импульсом
10.	Коэффициент импульсного преобразования	K^u	Отношение максимального значения огибающей электрического сигнала на выходе ППАЭ к амплитуде сигнала
11.	Длительность огибающей переднего фронта	τ_{max}	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	ρ	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
I5. Электрический импеданс			Зависимость от частоты комплексного электрического сопротивления III АЭ
I6. Частота резонанса	f_p		Частота, на которой импеданс имеет минимальную по модулю величину
I7. ППАЭ общего назначения			ППАЭ, в стандартах и технических условиях на который не устанавливается, с каким конкретным типом (типами) не применяется.
I8. ПФАП-П			Преобразователь-формирователь акустического поля продольной волны
I9. 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 ²	Плот- ность $\cdot 10^3$ кг/м ³	Коэффици- ент Пуассона	Удельное акустическое сопротивле- ние $\cdot 10^6$ кг/м ² · с)
	Про- доль- ные волны C _{пр}	Сдвиге- вые вол- ны C _{сдв}	Продо- льные волны и сверх- звуковые 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
Самшит	2160- 2700		1200	1,6	11,34	0,446	24,4-30,5

Приложение 3
(справочное)

Основные технические характеристики
мер смещений

Основные технические характеристи- ки мер УЗ смещений	Рекомендуемые меры УЗ смещений, применяемые при:				
	аттестации ППАЭ, устанавливаемых на торце объекта контроля, в которому подвергается прямая объемная волна	аттестации ППАЭ, устанавливаемых на объекте контроля с помощью геометри- ческой формы, ма- лых разме- ров, в ко- торых име- ет место непрерыв- ная АЭ	аттестации ППАЭ, устанавливаемых на поверх- ность листе- вых констру- кций	аттестации ППАЭ, устанавливаемых на торце стержневого образца	
I	1	2	3	4	5
1. Наименование меры	МСУП	МСУД	МСУР	МСУС-М	
2. Состав меры УЗ смещений	ПФАП-П в комплекте с ГИШ или задающим генератором СКЧ-59 в не- прерывном режиме, под- ключенный через микро- омный (<50 Ом) копитель; ПФАП-П в ком- плекте с Г5-56 в импульсном режиме	ПФАП-Д в комплекте с ГИШ	ПФАП-Р в комплекте с ГИШ	ПФАП-С в комплекте с СКЧ-59 в непрерывном режиме ПФАП-С в комплекте с Г5-56 в импульсном режиме	
3. Тип волно- вого воздей- ствия	Продольная объемная акустичес- кая волна	Диффузное акустичес- кое поле	Акустическая поверхност- ная волна с квазирелев- ским движе- нием частиц	Продольная стержневая акустичес- кая волна	
4. Направление	По нормали к рабочей поверхности	Разноре- зультно со всех направ-	Сбоку и ра- бочей поверх- ности ППАЭ	По нормали к рабочей поверхности	

	1	2	3	4	5
	ПЛАЭ	ЛЮМ	ПЛАЭ	ПЛАЭ	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	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 мери 6 мм (0,01+0,15) МГц при диаметре мери 10 мм (0,02+0,45) МГц при диаметре мери 3 мм	(0,02+0,25) МГц при диаметре мери 6 мм (0,01+0,15) МГц при диаметре мери 10 мм (0,02+0,45) МГц при диаметре мери 3 мм
7. Диапазон длительности импульсов бинарной формы	(0,5+5) мкс			(5+30) мкс при диаметре мери 6 мм (8+40) мкс при диаметре мери 10 мм (2+30) мкс при диаметре мери 3 мм	(5+30) мкс при диаметре мери 6 мм (8+40) мкс при диаметре мери 10 мм (2+30) мкс при диаметре мери 3 мм
8. Неравномерность АЧХ мери	± 2 дБ	± 2 дБ	± 2 дБ	± 2 дБ	± 2 дБ
9. Погрешность мери	30%	30%	30%	30%	30%
10. Погрешность ПФАП	25%	25%	25%	20%	20%
11. Неравномерность АЧХ ПФАП	± 3 дБ	± 6 дБ	± 6 дБ	± 3 дБ	± 3 дБ
12. Неравномерность смещений оффсетивной поверхности в: -непрерывном режиме	± 6 дБ	± 3 дБ	± 3 дБ	$\pm 1,5$ дБ	$\pm 1,5$ дБ
импульсном режиме	$\pm 1,5$ дБ	-	-	$\pm 0,5$ дБ	$\pm 0,5$ дБ
13. Неравномерность АЧХ	± 1 дБ	-	-	$\pm 0,5$ дБ	$\pm 0,5$ дБ
14. Коэффициент электроакустического преобразования ПФАП					

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 ПП АЭ	(8+20) мм	(6+40) мм	(15+40) мм	(2+4), (4+8), (2+12) мм
16. Диаметр эффективной поверхности аттестуемого ПП АЭ	(8+15) мм	(3+20) мм	(10+20) мм	(1,5+2,5), (3+5), (6+9) мм
17. Внешний диаметр аттестуемого ПП АЭ, не более	50 мм	40 мм	40 мм	50 мм
18. Шероховатость контактной поверхности аттестуемого ПП АЭ	не более 10 мкм			
19. Шероховатость контактной поверхности меры УЗ смещений	не более 0,63 мкм			
20. Неплоскостность контактной поверхности аттестуемого ПП 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 ГКиШ	(0,1+2) МГц	(0,1+2) МГц	(0,1+2) МГц	(0,02+0,5) МГц
24. Действительное значение напряжения ГКиШ 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 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 ШПАЗ

№	Наименование характеристик и параметров ШПАЗ	Рекомендуется измерять			
		при аттестации ШПАЗ общего назначения, используемых	для обнаружения и измерения	для обнаружения	в процессе разработки ШПАЗ
1	2	3	4	5	6
I.	Амплитудно-частотная характеристика 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_H, f_B	+			+
I.6.	Средний коэффициент преобразования $K_{ср}$	+	+		+
I.7.	Неравномерность в номинальном диапазоне частот В	+			
2.	Импульсная характеристика	+		+	+
2.1.	Коэффициент импульсного преобразования K_u	+			+
2.2.	Длительность сгибающей переднего фронта τ_{max}	+			
2.3.	Длительность импульсной характеристики τ_H	+			
2.4.	Средняя частота заполнения 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
 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 волны, аттестуются при указанном типе волнового воздействия. Остальные ПП аттестуются на тип волнового воздействия, указанного лицам, эксплуатирующим данные ПП.
 5. ПП АЭ с черновой 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.
 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 и импульсного преобразования с помощью аттенюатора

Для более точного измерения коэффициентов преобразования ИШ АЭ используется аттенюатор. Характеристики аттенюатора: рабочий диапазон частот (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 ИШ АЭ необходимо собрать схему по рис. 1.

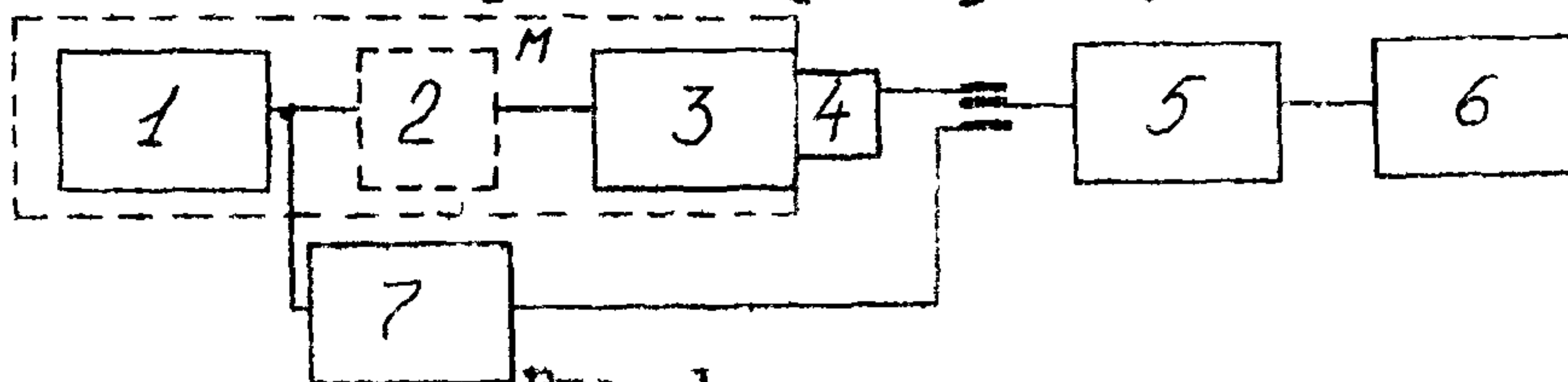


Рис. 1

- 1 - генератор скорректированного шума (либо генератор гармонического сигнала с перестраиваемой частотой, входящий в комплект анализатора Сп4-59, 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 3%);
- 3 - ПОАЦ;
- 4 - аттестуемый ИШ АЭ;
- 5 - предусилитель;
- 6 - анализатор спектра;
- 7 - аттенюатор.

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

Коэффициент электромеханического преобразования определяют по формуле:

$$K = \frac{1}{\eta_{\text{ПЭП}} \cdot 10^{B/20}} \cdot B/M. \quad (1)$$

При подключении интегральной цепочки коэффициент электро-акустического преобразования определяют по формуле:

$$K = \frac{1}{\eta_{\text{ПАП}} \cdot 10^{B/20} \cdot f} \cdot B/(M/c) \quad (2)$$

где $\eta_{\text{ПАП}}$ — коэффициент преобразования ПАП (м/В) на частоте (частотах для многократных) максимума преобразования ПЭАЭ (приводится в паспорте);

B — перепад амплитуд, отсчитанный по аттенюатору, дБ

$\omega = 2\pi f$ — круговая частота.

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

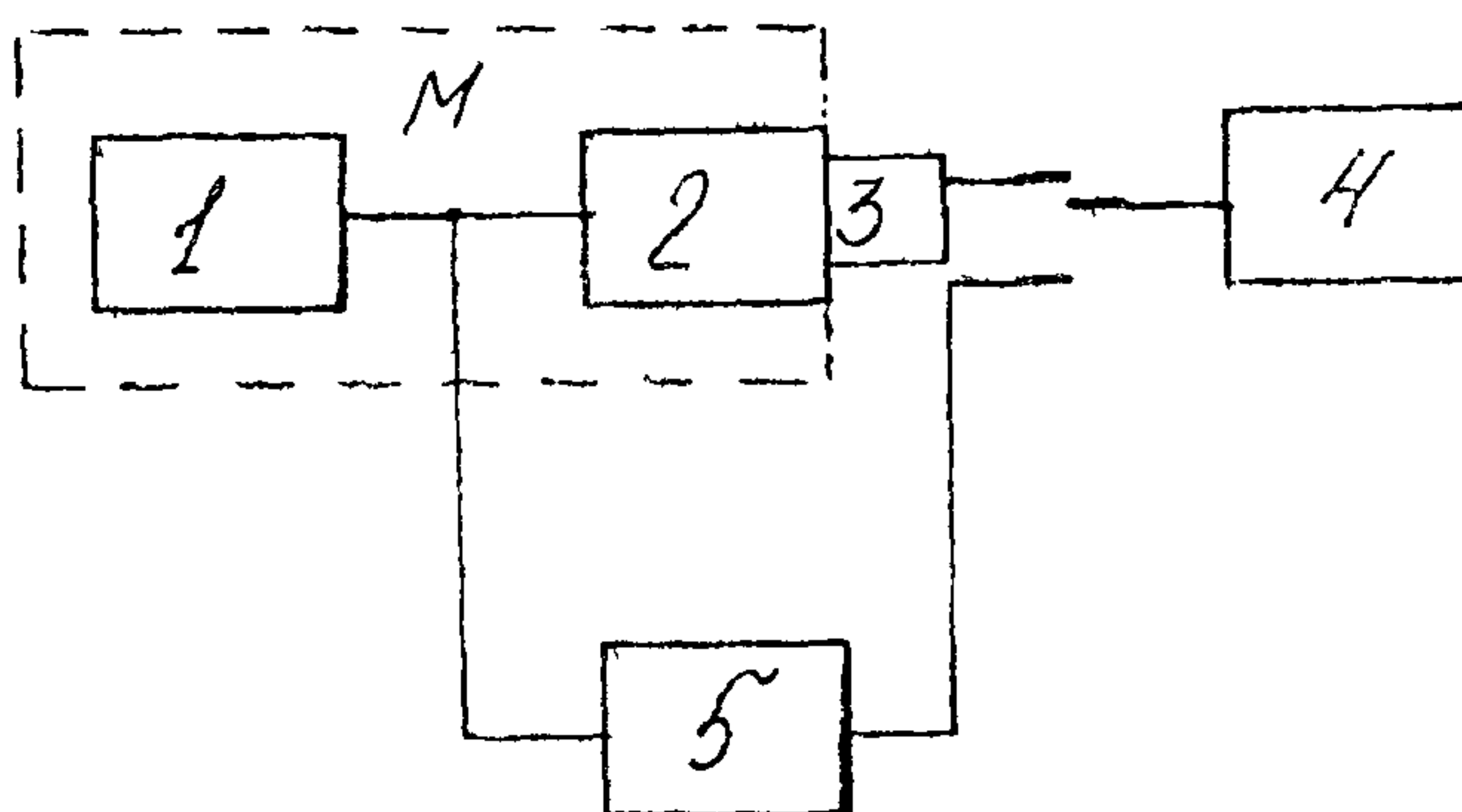


Рис. 2