

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»  
Федеральное государственное унитарное предприятие  
**РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР**  
Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики  
**ЦЕНТР ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**  
**ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»**

Уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц  
RA.RU.311769

пр. Мира, д. 37, г. Саров, Нижегородская обл., 607188  
Телефон 83130 22224 Факс 83130 22232  
E-mail: nio30@olit.vniief.ru

**СОГЛАСОВАНО**

Руководитель ЦИ СИ,  
главный метролог РФЯЦ-ВНИИЭФ –  
начальник НЮ



В.К. Дарымов

«13» 09 2023 г.

**Государственная система обеспечения единства измерений**

**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ 7X**

**Методика поверки**

**МП А3009.0484-2023**

г. Саров  
2023 г.

## Содержание

1	Общие положения.....	3
2	Перечень операций поверки.....	4
3	Требования к условиям проведения поверки .....	4
4	Требования к специалистам, осуществляющим поверку.....	4
5	Метрологические и технические требования к средствам поверки.....	4
6	Требования по обеспечению безопасности проведения поверки.....	5
7	Внешний осмотр .....	5
8	Подготовка к поверке и опробование.....	6
9	Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия метрологическим требованиям .....	7
10	Оформление результатов поверки .....	10
	Приложение А (справочное) Конструктивные особенности датчиков.....	11
	Приложение Б (справочное) Определение частотной характеристики датчика.....	12
	Приложение Б (справочное) Перечень документов, на которые даны ссылки в тексте методики поверки.....	14
	Приложение В (справочное) Перечень принятых сокращений .....	15

## **1 Общие положения**

Настоящая методика поверки (далее по тексту – МП) распространяется на преобразователи акустической эмиссии 7Х.

Преобразователи акустической эмиссии 7Х (далее по тексту – датчик) предназначены для измерений колебательного смещения поверхности твёрдых тел.

Принцип действия датчиков основан на прямом пьезоэлектрическом эффекте, при котором смещение поверхности твёрдого тела преобразуется в электрический сигнал напряжения.

Прослеживаемость при поверке датчиков обеспечивается в соответствии с государственной поверочной схемой, утверждённой приказом Росстандарта от 15 декабря 2022 г. № 3188 к государственному первичному эталону единиц амплитуды ультразвукового смещения, колебательной скорости поверхности твёрдых сред и коэффициента электроакустического преобразования ГЭТ 194-2022.

МП устанавливает методику первичной и периодической поверок датчиков методом косвенных измерений в соответствии с ГПС, утверждёнными приказами Росстандарта от 15 декабря 2022 г. № 3188.

Первичной поверке датчики подвергаются при выпуске из производства. Организация и проведение поверки в соответствии с действующими нормативными документами.

МП не предусматривает поверку датчиков в сокращённом объёме.

Конструктивные особенности датчиков приведены в приложении А.

Перечень документов, на которые даны ссылки в тексте МП, приведен в приложении Б.

Перечень принятых сокращений приведен в приложении В.

## 2 Перечень операций поверки

2.1 При проведении поверки, должны быть выполнены операции, указанные в таблице 1.

2.2 При получении отрицательного результата какой-либо операции поверки дальнейшая поверка не проводится, и результаты оформляются в соответствии с 10.4.

Таблица 1 – Перечень операций при поверке

Наименование операции	Номер пункта МП	Обязательность проведения при поверке	
		первичной	периодической
Внешний осмотр	7	Да	Да
Подготовка к поверке и опробование	8	Да	Да
Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия метрологическим требованиям	9	Да	Да
Проверка максимального значения коэффициента электроакустического преобразования в рабочем диапазоне частот	9.1	Да	Да
Проверка относительной погрешности электроакустического преобразования на рабочей частоте	9.2	Да	Нет

## 3 Требования к условиям проведения поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха от 18 до 25 °С;
- относительная влажность окружающего воздуха не более 80 %;
- атмосферное давление от 84 до 106 кПа (от 630 до 795 мм рт. ст.);
- напряжение питающей сети от 207 до 253 В;
- частота питающей сети от 49,5 до 50,5 Гц.

## 4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

К проведению поверки допускается персонал, изучивший ЭД на датчик, данную МП и имеющий опыт работы с оборудованием, перечисленным в таблице 2.

## 5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 При проведении поверки применяют СИ и оборудование, приведенные в таблице 2.

5.2 Допускается использовать другие СИ и оборудование, обеспечивающие требуемые диапазоны и требуемую точность передачи единиц величин поверяемому СИ.

5.3 Все применяемые СИ должны быть поверены и иметь действующие свидетельства о поверке и/или зарегистрированы в Федеральном фонде по обеспечению единства измерений.

Таблица 2 – Перечень СИ и оборудования, применяемых при поверке

Наименование СИ	Требуемые характеристики		Рекомендуемый тип	Кол-во	Пункт МП
	Диапазон измерений	Погрешность измерений			
Рабочий эталон 2-го разряда в соответствии с ГПС <sup>1)</sup>	от 30 до 800 кГц	±30 %	ПФАП-П2, ПФАП-Р2 (рег. № 3.1.ЗБН.1616.2014)	1	9.1
Модуль сбора данных	от 1 до 600 кГц, 3 В	±0,5 %	D002 (рег. № 78358-20)	1	9.1
Приемник измерительный	от 1 до 800 кГц, 3 В	±0,5 %	FSMR3 (рег. № 50678-12)	1	9.1
Предусилитель сигналов АЭ	от 30 до 800 кГц	±1 %	ALP-02 (рег. № 75339-19)	1	9.1
Предусилитель сигналов АЭ	от 30 до 800 кГц	±1 %	ALP-01 (рег. № 75339-19)	1	9.1
Измеритель RLC	от 100 до 2000 пФ	±10 %	LCR-7819 (рег. № 53914-13)	1	8.2.1
Мегомметр	от 500 до 10 <sup>6</sup> Ом, 100 В	±10 %	E6-17 (рег. № 4952-75)	1	8.2.2
Барометр-анероид контрольный	от 630 до 795 мм рт.ст	± 1 мм рт.ст.	M-67 (рег. № 3744-73)	1	8.1.2
Прибор комбинированный	от 30 до 80 %, от 16 до 40 °С	±3 %, ±0,5 °С	Testo 610 (рег. № 53505-13)	1	8.1.2
Мультиметр цифровой	от 207 до 253 В, от 49,5 до 50,5 Гц	±1 %, ±0,1 Гц	34410А (рег. № 47717-11)	1	8.1.2

<sup>1)</sup> - приказ Росстандарта от 15 декабря 2022 г. № 3188

## 6 Требования по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1 При проведении поверки необходимо руководствоваться «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок».

Меры безопасности при подготовке и проведении измерений должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.007.0.

6.2 При проведении поверки должны быть выполнены все требования безопасности, указанные в ЭД на датчик и средства поверки.

Все используемое оборудование должно иметь защитное заземление.

## 7 Внешний осмотр

7.1 При внешнем осмотре необходимо установить:

- соответствие маркировки изделия требованиям ЭД;
- соответствие заводского номера паспортным данным;
- целостность корпуса, состояние посадочных поверхностей (отсутствие вмятин, царапин, задиров);
- отсутствие повреждений соединительных жгутов и разъёмов.

7.2 При наличии вышеуказанных дефектов поверку не проводят до их устранения. Если дефекты устранить невозможно, датчики бракуют.

## 8 Подготовка к поверке и опробование

### 8.1 Подготовка к поверке

8.1.1 Перед проведением поверки и опробованием подготавливают СИ и оборудование к работе в соответствии с ЭД на них. При колебаниях температур в складских и рабочих помещениях в пределах более 10 °С необходимо выдержать полученный со склада датчик не менее двух часов в нормальных условиях.

8.1.2 Проверяют сведения о результатах поверки применяемых СИ, включённые в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений и/или наличие действующих свидетельств о поверке на СИ, а также соответствие условий поверки разделу 3.

### 8.2 Опробование

#### 8.2.1 Проверка электрической емкости

Проверку электрической емкости датчика между сигнальным выводом датчика и корпусом разъема для 7СХХХВ и между сигнальными выводами для 7СХХХА проводят с помощью измерителя LCR-819 на частоте 1000 Гц.

#### 8.2.2 Проверка электрического сопротивления изоляции

Проверку электрического сопротивления изоляции между сигнальным выводом датчика и корпусом разъема для 7СХХХВ, между сигнальными выводами для 7СХХХА, и между сигнальными выводами, соединенными вместе, и корпусом для 7С201ХХ и 7V201ТА-ХХ проводят мегаомметром Е6-17 при испытательном напряжении 100 В.

#### 8.2.3 Проверка работоспособности

Собирают схему измерений в соответствии с рисунком 1. Включают и прогревают все приборы в соответствии с ЭД на них.



Рисунок 1 – Схема измерений

#### Примечания

1 Для датчиков 7VXXXXX используют предусилитель АЭ ALP-02 или формирователь сигналов А401.

2 Для датчиков 7СXXXXX используют предусилитель АЭ ALP-01 или формирователь сигналов А422.

3 Напряжение питания постоянного тока предусилителя АЭ составляет  $+(9,0 \pm 1,5)$  В для ALP-02 и  $+(24,0 \pm 0,5)$  В для ALP-01. Питание формирователей сигналов А401 и А422, производства ООО «ГТЛаб», осуществляется от сети переменного тока 220 В с помощью блоков питания из комплекта поставки.

8.8.2 Воздействуют на контактную поверхность датчика механическими колебаниями (например, интенсивным трением об ладонь или ударами карандаша) и регистрируют выходной сигнал датчика.

8.8.3 Датчик считают прошедшим опробование с положительным результатом, если:

- электрическая емкость составляет не менее 100 пФ для 7СХХХХ;
- электрическое сопротивление изоляции составляет не менее 500 МОм для 7СХХХХ и между сигнальными выводами, соединенными вместе, и корпусом для 7С201ХХ и 7V201ТА-ХХ;
- размах выходного сигнала составляет не менее 0,5 В при механическом воздействии на контактную поверхность датчика.

## 9 Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия метрологическим требованиям

9.1 Проверка максимального значения коэффициента электроакустического преобразования в диапазоне рабочих частот

Метод I

9.1.1 Проверку максимального значения коэффициента электроакустического преобразования в рабочем диапазоне частот проводят с помощью преобразователя-формирователя акустического поля продольной волны ПФАП-П2 для 7С101ХХ и 7С102ХХ и преобразователя-формирователя акустического поля волны Релея ПФАП-Р2 для 7Х104ХХ, 7С105ХХ; 7Х201ХХ. В качестве регистратора используют модуль сбора данных серии D002.

Датчики подключают к модулю сбора данных серии D002 через предусилители АЭ ALP-01 (А401) для 7СХХХХХ и ALP-01 (А422) для 7VХХХХХ в соответствии с рисунком 1.

9.1.2 Устанавливают датчик на столе ПФАП с помощью прижимного устройства или магнита из комплекта поставки. Включают и прогревают все приборы в соответствии с ЭД на них. Воспроизводят колебательные смещения в требуемом частотном диапазоне и с помощью анализатора спектра измеряют выходной сигнал испытуемого датчика с шагом не более 5 кГц.

9.1.3 Повторяют измерения по 9.1.2 не менее трех раз.

9.1.4 Коэффициент электроакустического преобразования  $K_{при}$ , В/м, вычисляют по формуле

$$K_{при} = \frac{U_{вых}}{S_{зад}}, \quad (1)$$

где  $U_{вых}$  – амплитуда выходного напряжения датчика при воздействии продольных (поверхностных) волн, В;

$S_{зад}$  – заданное смещение (из свидетельства на ПФАП), м.

Примечание – Если максимальный коэффициент электроакустического преобразования для 7С102ХХ менее  $550 \cdot 10^6$  В/м, повторяют измерения с помощью анализатора спектра FSMR3 или аналогичного.

9.1.5 Проводят усреднение по всем полученным данным, в результате получают усредненную АЧХ датчика.

Примечания:

1 Количество измерительных серий по 9.2.3 может быть увеличено исходя из надежности акустического контакта и повторяемости результатов измерений.

2 ПО модуля D002 осуществляет обработку результатов измерений автоматически.

3 Рабочая частота - частота, на которой коэффициент электроакустического преобразования датчика имеет максимальное значение.

9.1.6 Вычисляют среднее значение коэффициента электроакустического преобразования на рабочей частоте  $K_{cp}$ , В/м, по формуле

$$K_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{np,i}}{n}, \quad (2)$$

где  $n$  – число измерений.

Метод II

9.1.7 Проверку максимального значения коэффициента электроакустического преобразования в рабочем диапазоне частот проводят методом сличения с коэффициентом преобразования образцового ПАЭ, аналогичный по виду и типу поверяемому рабочему датчику. Образцовый ПАЭ должен иметь паспорт (действующее свидетельство о поверке), в котором указан его коэффициент преобразования.

В качестве регистратора используют модуль сбора данных серии D002. Датчики подключают к модулю сбора данных серии D002 через предусилители АЭ ALP-01 (А401) для 7СХХХХХ и ALP-01 (А422) для 7VХХХХХ в соответствии с рисунком 1.

9.1.8 Поверяемый датчик и образцовый ПАЭ устанавливают на стальном листе размером не менее 200×200×100 мм на одинаковом расстоянии (не более 100 мм) от источника АЭ и симметрично относительно него. В качестве источника сигнала используют излом графитового стержня цангового карандаша (источник Су-Нильсена). Диаметр стержня выбирают в диапазоне 0,2 - 0,5 мм, твердость ТМ - 2Т (НВ - 2Н).

Включают и прогревают все приборы в соответствии с ЭД на них.

9.1.9 Возбуждают импульс смещения и регистрируют импульсный сигнал от образцового ПАЭ и поверяемого датчика. Коэффициент электроакустического преобразования датчика  $K_{npi}$ , В/м, вычисляют по формуле

$$K_{npi} = K_{ПАЭ} \frac{U_{вых}}{U_{ПАЭ}}, \quad (3)$$

где  $K_{ПАЭ}$  – коэффициент электроакустического преобразования образцового ПАЭ (из свидетельства о поверке), В/м;

$U_{вых}$  – максимальное напряжение на выходе поверяемого датчика, В;

$U_{ПАЭ}$  – максимальное напряжение на выходе образцового ПАЭ, В.

9.1.10 Повторяют измерения по 9.1.9 не менее 5 раз. Вычисляют среднее значение коэффициента электроакустического преобразования на рабочей частоте  $K_{cp}$ , В/м, по формуле (2).

При необходимости с помощью специализированного ПО модуля сбора данных серии D002 строят частотную характеристику датчика. Пример приведен в приложении В.

9.1.11 Датчик считают прошедшим поверку с положительным результатом, если максимальное значение коэффициента электроакустического преобразования в рабочем диапазоне частот составляет:

- а) при воздействии продольных волн:
  - для 7С101НВ, 7С101НА не менее  $1000 \cdot 10^6$  В/м;
  - для 7С102НВ, 7С102НА не менее  $550 \cdot 10^6$  В/м;
- б) при воздействии поверхностных волн:
  - для 7С104НВ, 7С104НА, 7С104ТА, 7С105НВ, 7С105НА, 7С105ТА не менее  $1500 \cdot 10^6$  В/м;
  - для 7С201НА, 7С201ТА не менее  $1000 \cdot 10^6$  В/м;
  - для 7V104НВ, 7V104НА, 7V201ТА, 7V201ТА-01 не менее  $10000 \cdot 10^6$  В/м.

9.2 Проверка относительной погрешности электроакустического преобразования на рабочей частоте

9.2.1 Проверку относительной погрешности электроакустического преобразования на рабочей частоте проводят по формуле

$$\delta = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\delta_M^2 + \delta_{И}^2 + \delta_{ЧХ}^2 + \delta_{АКК}^2}, \quad (4)$$

где 1,1 - коэффициент, определяемый доверительной вероятностью 0,95;

$\delta_M$  - погрешность коэффициента электроакустического преобразования установки (из свидетельства на ПФАП), %;

$\delta_{И}$  - погрешность измерения выходного напряжения датчика (определяется классом точности применяемого регистратора), %;

$\delta_{ЧХ}$  - неравномерность частотной характеристики установки в требуемом диапазоне частот, (из свидетельства на ПФАП), %;

$\delta_{АКК}$  - погрешность акустического контакта, %, вычисляется по формуле

$$\delta_{АКК} = \frac{2}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_1^n \left( \frac{U_i - U_{cp}}{U_{cp}} \right)^2} \cdot 100, \quad (5)$$

где  $n$  - число измерений;

$U_i$  - результат  $i$ -го измерения коэффициента электроакустического преобразования датчика по 9.1.4, В/м;

$U_{cp}$  - среднее арифметическое значение коэффициента электроакустического преобразования датчика по 9.1.6, В.

Примечание - Если коэффициент электроакустического преобразования установки известен на каждой частоте требуемого частотного диапазона (приведен в свидетельстве о поверке на ПФАП) и учитывается при расчете коэффициент электроакустического преобразования датчика по 9.1.5, неравномерность частотной характеристики установки  $\delta_{ЧХ}$  исключается из расчета по формуле (4).

9.2.2 Датчик считают выдержавшим испытания, если относительная погрешность электроакустического преобразования на рабочей частоте находится в пределах  $\pm 50\%$ .

## 10 Оформление результатов поверки

10.1 Оформление результатов поверки проводят в соответствии с требованиями системы менеджмента качества организации, проводившей поверку.

Протокол поверки оформляют в произвольной форме.

10.2 Сведения о результатах поверки передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

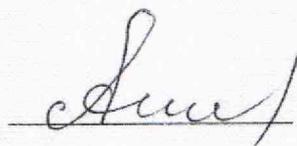
10.3 При положительных результатах поверки при необходимости оформляют свидетельство о поверке.

Пломбирование датчика не предусмотрено.

Знак поверки наносится на свидетельство о поверке и (или) паспорт.

10.4 СИ, не прошедшее поверку, к применению не допускают. На него выдают извещение о непригодности по форме, в соответствии с требованиями системы менеджмента качества организации, проводившей поверку.

Главный метролог  
ООО «ГТЛаб»



А.А. Симчук

Ведущий инженер-исследователь  
ЦИ СИ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»



Д.В. Зверев

## Приложение А (справочное) Конструктивные особенности датчиков

Датчики выпускаются в модификациях отличающихся рабочей (резонансной) частотой, рабочим диапазоном частот (полосой пропускания), коэффициентом электроакустического преобразования, диапазоном рабочих температур, наличием встроенного усилителя, наличием электрической изоляции сигнальных выводов от корпуса.

Конструктивные особенности датчиков приведены в таблице А.1.

Структура обозначений датчиков (символы «X» могут отсутствовать):

7	X	XXX	X	X	-XX	
						дополнительный индекс, определяющий температурный диапазон
						буквенное обозначение, определяющее тип кабельной заделки и соединителя: А – кабельный вывод; В – соединитель одно контактный (10-32 UNF)
						буквенное обозначение, определяющее направление сигнальных выводов: Т – вертикальное расположение; Н – горизонтальное расположение
						порядковый номер разработки
						буквенное обозначение, соответствующее выходному сигналу: С – заряд; V – напряжение (встроенный усилитель)
						индекс измеряемой физической величины: 7 – колебательное смещение

Таблица А.1 – Конструктивные особенности датчиков

Исполнение	Конструктивные особенности	
	Электрическая изоляция сигнальных выводов от корпуса	Тип кабельного вывода
7C101HA	нет	горизонтальный встроенный кабель
7C102HA		
7C104HA		
7C105HA		
7V104HA		
7C101HB	нет	горизонтальное разъемное соединение, вилка C02B (10-32 UNF)
7C104HB		
7C102HB		
7C105HB		
7V104HB		
7C201HA	есть	горизонтальный встроенный кабель
7C201TA		
7C104TA	нет	вертикальный встроенный кабель
7C105TA		
7V201TA-XX		

## Приложение Б (справочное)

### Определение частотной характеристики датчика

Б.1 Датчик 7V201TA №21001 устанавливался на стальной калибровочный блок, размером 200×200×100 мм, выполненном из конструкционной стали типа Ст3 на расстоянии 50 мм от источника АЭ. В качестве источника сигнала АЭ использовался излом графитового стержня цангового карандаша (источник Су-Нильсена, диаметр стержня 0,5 мм, твердость 2Т).

Подробные требования к источнику АЭ и калибровочному блоку приведены в РД 03-300-99.

Б.2 Регистрация и обработка сигналов осуществлялась с помощью модуля сбора данных серии D002. Усреднение сигнала проводилось по 10 измерениям.

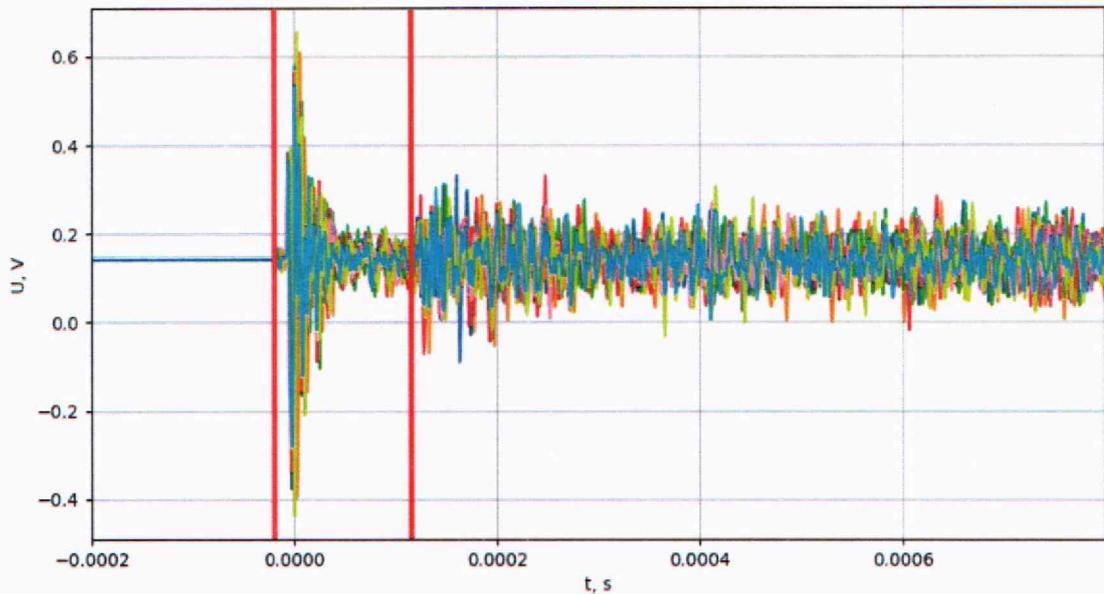


Рисунок Б.1 – Десять последовательно записанных сигналов с датчика 7V201TA. Для преобразования Фурье вырезаны фрагменты длительностью 135 мкс (границы отмечены красными линиями).

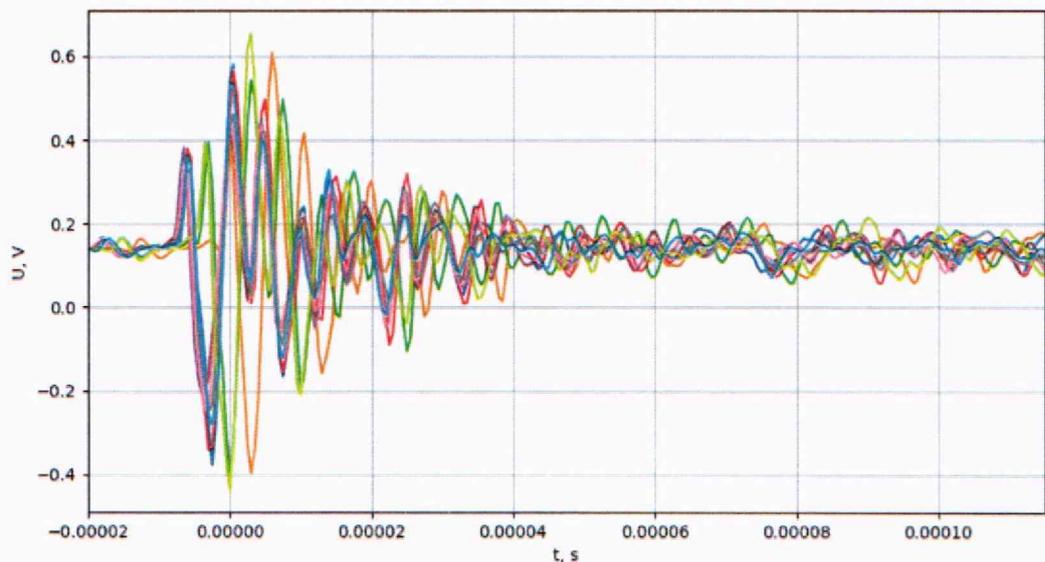


Рисунок Б.2 – Вырезанный фрагмент

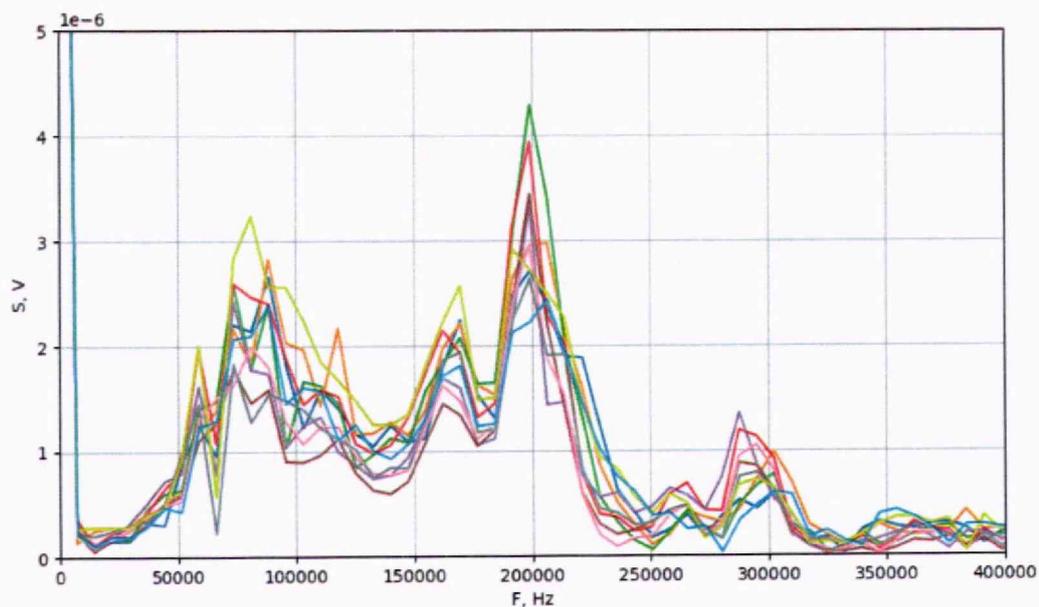


Рисунок Б.3 – Спектры сигналов вырезанного фрагмента

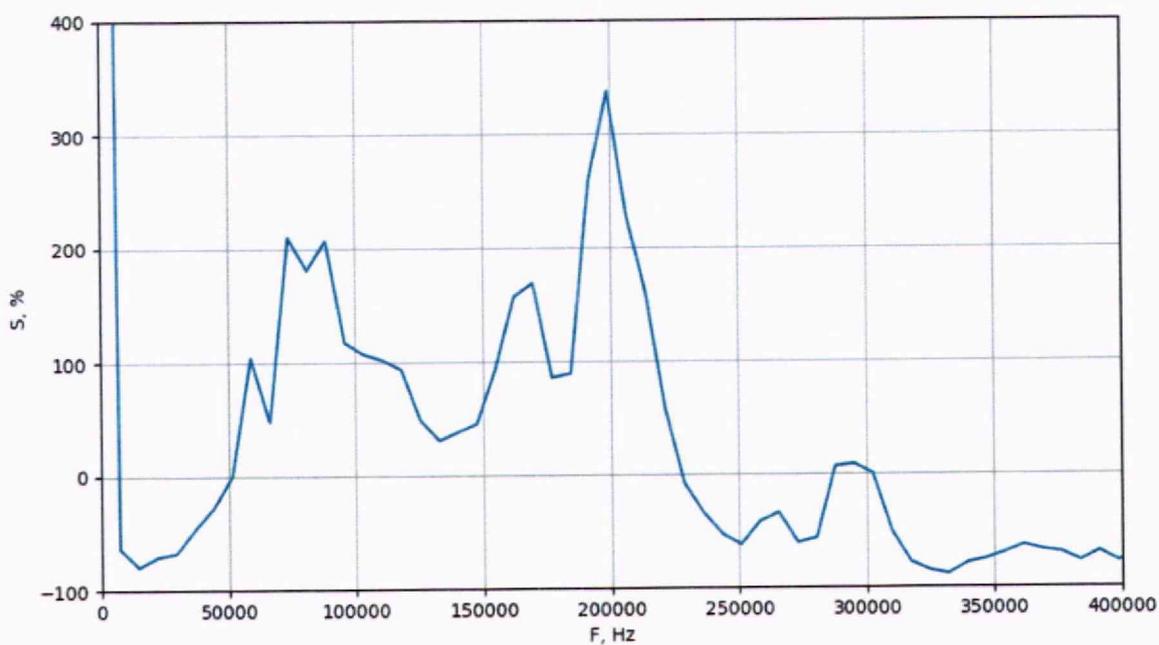


Рисунок Б.4 – Частотная характеристика (усредненный спектр) датчика 7V201ТА №21001 приведенная к уровню сигнала на частоте 50 кГц.

**Приложение Б**  
**(справочное)**

**Перечень документов, на которые даны ссылки в тексте МП**

Обозначение документа, на который дана ссылка	Наименование документа, на который дана ссылка
ГОСТ 12.2.007.0-75	ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности
Приказ Росстандарта от 15 декабря 2022 г. № 3188	Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений амплитуды ультразвукового смещения, колебательной скорости поверхности твердых сред и коэффициента электроакустического преобразования
	Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (утверждены приказом Минэнерго РФ от 13.01.2003 г. № 6)
	Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 15 декабря 2020 г. № 903н)

**Приложение В**  
**(справочное)**  
**Перечень принятых сокращений**

АЭ – акустическая эмиссия;  
ГПС – государственная поверочная схема;  
МП – методика поверки;  
ПАЭ – преобразователь акустической эмиссии;  
СИ – средство(а) измерений;  
ЭД – эксплуатационная документация.