

**Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии  
им. Д.И. Менделеева»  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»**

**УТВЕРЖДАЮ**

И.о. директора  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

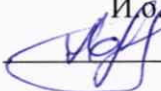
  
\_\_\_\_\_ А.Н. Пронин  
« 20 » \_\_\_\_\_ декабря \_\_\_\_\_ 2019 г.




Государственная система обеспечения единства измерений

**Преобразователи переменного давления пьезоэлектрические  
измерительные серий 102В, 112В, 113В, 115А, 116В**

**Методика поверки  
МП 2520-090-2019**

И.о. руководителя НИЛ 2520  
 \_\_\_\_\_ А.А. Козляковский

Инженер 1 категории  
 \_\_\_\_\_ Н.А. Селькана

г. Санкт-Петербург  
2019 г.

Настоящая методика поверки (далее МП) распространяется на преобразователи переменного давления пьезоэлектрические измерительные серий 102В, 112В, 113В, 115А, 116В (далее преобразователи), фирмы «PCB Piezotronics Inc.», США и устанавливает методику их первичной и периодической поверок.

Поверка проводится:

- при вводе в эксплуатацию;
- после ремонта

## 1 Операции поверки

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

Таблица 1 - Операции поверки

Наименование операции	Номер пункта методики поверки	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
Внешний осмотр	7.1	да	да
Проверка сопротивления изоляции	7.2	да	да
Проверка электрической емкости	7.3	да	да
Опробование	7.4	да	да
Определение собственной резонансной частоты преобразователя	7.5	да	да
Определение действительного значения коэффициента преобразования	7.6	да	да
Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики	7.7	да	да
Проверка диапазона частот измеряемых давлений	7.8	да	да
Определение нелинейности амплитудной характеристики	7.9	да	да
Проверка диапазона амплитуд измеряемых давлений	7.10	да	да
Определение основной относительной погрешности измерений	7.11	да	да

## 2 Средства поверки

2.1 Перечень средств поверки представлен в таблице 2

Таблица 2 - Средства поверки

Номер пункта методики поверки	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки	Обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
7.2	Тераомметр ПрофКип Е6-13М	Диапазон напряжений от 1 В до 1000 В, диапазон измерения сопротивления изоляции от 10 кОм до 10 ТОм, рег. № 71688-18 в ФИФ.
7.3	Измеритель емкости Е8-4	Диапазон измерений от 1 до 10000000 пФ, пределы погрешности $\pm 1,5$ %, рег. № 3870-73 в ФИФ.
7.4 - 7.10	Осциллограф цифровой TDS 1012В (далее осциллограф TDS 1012В).	Диапазон частот от 0 до 1 ГГц, диапазон напряжений от 0,1 до 100 В, ПГ $\pm 1$ %, рег. № 32618-06 в ФИФ.
7.5 - 7.10	Вторичный эталон	ГОСТ Р 8.801-2012 ГСИ. «Государственная поверочная схема для средств измерений переменного давления в диапазоне от $1 \cdot 10^2$ до $2,5 \cdot 10^7$ Па для частот от $5 \cdot 10^{-1}$ до $1 \cdot 10^4$ Гц и длительностей от $1 \cdot 10^{-5}$ до 10 с при постоянном давлении до $5 \cdot 10^6$ Па».

2.2 Средства измерений, применяемые при поверке, должны иметь действующие свидетельства о поверке.

2.3 Допускается применение других средств измерений и вспомогательного оборудования, удовлетворяющих требованиям настоящей методики по погрешности.

2.4 Рабочие диапазоны частот и амплитуд указаны в паспорте на конкретный преобразователь.

2.5 Методикой поверки не предусмотрена возможность проведения поверки отдельных измерительных каналов и (или) отдельных автономных блоков из состава средств измерений для меньшего числа измеряемых величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений.

## 3 Требования к квалификации поверителей

Поверка преобразователей осуществляется лицами, прошедшими специальную подготовку, аттестованными в качестве поверителей и изучившими нормативные документы (далее НД) на поверяемые средства измерений.

## 4 Требования безопасности

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие требования безопасности:

- средства измерений, а также вспомогательное оборудование должны иметь защитное заземление;



- сопротивление заземления должно быть не более 4 Ом. Не допускается использовать в качестве заземления корпус (коробку) силовых электрических и осветительных щитов и арматуру центрального отопления;

- персонал, осуществляющий поверку, должен иметь удостоверение на право работы с установками, имеющими напряжение до 1000 В.

## 5 Условия проведения поверки

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

температура окружающего воздуха, °С.....от +18 до +25;

относительная влажность, кПа.....от 40 до 80;

атмосферное давление, %.....от 96 до 106,7.

## 6 Подготовка к поверке

Подготовка средств измерений к поверке должна производиться в соответствии с требованиями эксплуатационной документации на них.

При проведении поверки необходимо соблюдать требования раздела «Указания мер безопасности» руководства по эксплуатации и других нормативных документов на преобразователи и средства измерений, применяемые при поверке.

Все операции поверки должны проводиться не менее чем двумя лицами, имеющими квалификационную группу по технике безопасности не ниже 3.

Все подключения и отключения к преобразователям можно производить только при отключенном напряжении питания.

Поверку может проводить специалист, имеющий высшее профессиональное образование.

## 7 Проведение поверки

### 7.1 Внешний осмотр

7.1.1 При внешнем осмотре устанавливают соответствие поверяемого преобразователя требованиям комплектности технической документации и наличие свидетельства о последней поверке.

7.1.2 Преобразователь не должен иметь внешних повреждений корпуса и соединительных кабелей.

7.1.3 Преобразователь должен иметь маркировку с указанием типа и номера.

7.1.4 При невыполнении вышеуказанных требований преобразователь признается непригодным для проведения поверки.

### 7.2 Проверка сопротивления изоляции

7.2.1 При проверке сопротивления изоляции преобразователя подключают тераомметр ПрофКип Е6-13М к контактам преобразователя. Измеряют сопротивление изоляции.

7.2.2 Результаты поверки считают удовлетворительными, если сопротивление изоляции соответствует значениям, приведенным в таблице 3

Таблица 3

Обозначение модификации преобразователя	Электрическое сопротивление изоляции, Ом, не менее
102В, 102В03, 102В04, 102В06; 102В15; 102В16; 102В18	$1 \cdot 10^8$
116В	$1 \cdot 10^{11}$
113В03; 112В05	$1 \cdot 10^{12}$
115А04	$1 \cdot 10^{13}$

### 7.3 Проверка емкости

7.3.1 При проверке емкости преобразователя подключают измеритель емкости цифровой Е8-4 к контактам преобразователя. Измеряют емкость.

7.3.2 Результаты поверки считают удовлетворительными, если емкость соответствует значениям, приведенным в таблице 4

Таблица 4

Наименование характеристики	Обозначение модификации			
	113B03	116B	112B05	115A04
	Значение			
Электрическая емкость, пФ, не более	12	30	24	120

### 7.4 Опробование

7.4.1 При проведении опробования проверяют работоспособность преобразователя. Поверяемый преобразователь соединяют с входом согласующего усилителя сигналов (далее усилитель сигналов), выход которого соединяют с входом осциллографа TDS 1012B, работающего в ждущем режиме.

7.4.2 Устанавливают осциллограф в режим работы «Цикл».

7.4.3 Воздействуют на преобразователь механическими колебаниями, например, постукивая пальцем, и наблюдают появление сигнала на экране осциллографа.

7.4.4 Результаты поверки считаются удовлетворительными, если выполняются требования п.7.4.3 МП.

### 7.5 Определение собственной резонансной частоты

7.5.1 Преобразователь закрепляют на установке вторичного эталона (далее установка) в ее торце с помощью специальных элементов крепления, входящих в комплект установки.

7.5.2 Соединяют преобразователь с входом осциллографа TDS 1012B, работающего в ждущем режиме.

7.5.3 Воспроизводят импульсное давление и регистрируют отклик преобразователя на экране осциллографа.

7.5.4 С помощью курсоров осциллографа измеряют период  $T_{рез}$  записанной на экране осциллографа характеристики. С помощью формулы  $F_{рез} = 1/T_{рез}$  определяют собственную резонансную частоту.

7.5.5 Операции по п.п. 7.5.3-7.5.4 повторяют не менее 3 раз.

7.5.6 Результаты поверки считают удовлетворительными, если собственная резонансная частота преобразователя, кГц, соответствует значениям, приведенным в таблице 5

Таблица 5

Обозначение модификации преобразователя	Собственная резонансная частота, преобразователя, кГц, не менее
113B21; 113B22; 113B23; 113B24; 113B26; 113B27; 113B28; 113B03; 102B; 102B03; 102B04; 102B06; 102B15; 102B16; 102B18	500
113B31; 113B32; 113B34; 113B37; 113B38	400
116B	55
112B05	200
115A04	125



## 7.6 Определение действительного значения коэффициента преобразования

7.6.1 Действительное значение коэффициента преобразования преобразователя определяют на установке вторичного эталона (далее установка) в соответствии с руководством по эксплуатации на установку.

7.6.2 Преобразователь устанавливают на установке с помощью специальных элементов крепления, входящих в комплект установки. Соединяют преобразователь с входом осциллографа TDS 1012B, работающего в ждущем режиме.

7.6.3 Воспроизводят импульсное давление значениями амплитуд из диапазона, указанного в НД на преобразователь, не менее 3 значений амплитуд (обязательно наличие верхнего и нижнего значений из диапазона амплитуд), регистрируют отклик преобразователя на экране осциллографа.

7.6.4 Значения для амплитуд импульсного давления Ризм<sub>і</sub> определяют согласно п.7.10.

Для преобразователей с выходом по напряжению серий 102В, 113В

7.6.5 Определяют действительное значение коэффициента преобразования преобразователя,  $Su_i$ , мВ/кПа, по формуле (1)

$$Su_i = \frac{U_{нов_i}}{P_{изм_i} \cdot K_{пу}}, \quad (1)$$

где  $U_{нов_i}$  - амплитуда напряжения на выходе поверяемого преобразователя, мВ;

$P_{изм_i}$  - измеренное значение амплитуды давления, кПа;

$K_{пу}$  - коэффициент передачи усилителя сигнала,  $K_{пу}=1$ .

Проводят не менее 3 измерений, после чего рассчитывают среднее арифметическое значение коэффициента преобразования по формуле (2)

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

где  $Su_{cp}$  - среднее арифметическое значение коэффициента преобразования

$n$  - число измерений,  $n \geq 3$

7.6.6 Рассчитывают относительное отклонение действительного значения коэффициента преобразования преобразователя от номинального значения, указанного в НД на преобразователь по формуле (3)

$$\delta_{Su} = \frac{S_{ucp} - S_{ин}}{S_{ин}}, \quad (3)$$

где  $S_{ин}$  - номинальное значение коэффициента преобразования преобразователя, мВ/кПа

Для преобразователей с выходом по заряду серий 115А, 116В, 113В03, 112В

7.6.7 Определяют действительное значение коэффициента преобразования преобразователя,  $Sq_i$ , пКл/МПа, по формуле (4)

$$Sq_i = \frac{U_{нов_i}}{P_{изм_i} \cdot K_{пу}}, \quad (4)$$

где  $U_{нов_i}$  - амплитуда напряжения на выходе преобразователя, мВ;

$P_{изм_i}$  - измеренное значение амплитуды давления, МПа;

$K_{пу}$  - коэффициент передачи усилителя сигнала, мВ/пКл.

Проводят не менее 3 измерений, после чего рассчитывают среднее арифметическое значение коэффициента преобразования по формуле (5)

$$S_{q_{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{q_i}}{n}, \quad (5)$$

где  $S_{q_{cp}}$  - среднее арифметическое значение коэффициента преобразования;  
 $n$  - число измерений,  $n \geq 3$ .

7.6.8 Рассчитывают относительное отклонение действительного значения коэффициента преобразования от номинального значения, указанного в РЭ на преобразователь по формуле (6)

$$\delta_{Sq} = \frac{S_{q_{cp}} - S_{qn}}{S_{qn}}, \quad (6)$$

где  $S_{qn}$  - номинальное значение коэффициента преобразования преобразователя, пКл/МПа.

7.6.9 Результаты поверки считают удовлетворительными, если номинальное значение коэффициента преобразования и отклонение действительного значения коэффициента преобразования от номинального будут соответствовать значениям, приведенным в таблицах 6-10.

Таблица 6

Наименование характеристики	Обозначение модификации				
	113B21	113B22	113B23	113B24	113B26
	Значение				
Номинальное значение коэффициента преобразования, мВ/кПа	3,6	0,145	0,073	0,725	1,45
Пределы допускаемого отклонения действительного значения коэффициента преобразования от номинального, %	±15	±10	±6	±10	

Таблица 7

Наименование характеристики	Обозначение модификации				
	113B27	113B28	113B31	113B32	113B34
	Значение				
Номинальное значение коэффициента преобразования, мВ/кПа	7,25	14,5	3,6	0,145	0,73
Пределы допускаемого отклонения действительного значения коэффициента преобразования от номинального, %	±15			±5	±5

Таблица 8

Наименование характеристики	Обозначение модификации				
	113B37	113B38	102B	102B03	102B04
	Значение				
Номинальное значение коэффициента преобразования, мВ/кПа	7,25	14,5	0,15	0,07	0,7
Пределы допускаемого отклонения действительного значения коэффициента преобразования от номинального, %	±15		±10	±6	±10

Таблица 9

Наименование характеристики	Обозначение модификации			
	102B06	102B15	102B16	102B18
	Значение			
Номинальное значение коэффициента преобразования, мВ/кПа	1,45	3,6	7,25	14,5
Пределы допускаемого отклонения действительного значения коэффициента преобразования от номинального, %	±10	±20	±10	±15

Таблица 10

Наименование характеристики	Обозначение модификации			
	113B03	116B	112B05	115A04
	Значение			
Номинальное значение коэффициента преобразования, пКл/кПа	0,056	0,87	0,16	0,203
Пределы допускаемого отклонения действительного значения коэффициента преобразования от номинального, %	±15			±15

### 7.7 Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ).

7.7.1 По результатам определения собственной резонансной частоты преобразователя (п.7.5) обрабатывают импульсную характеристику преобразователя с помощью преобразования Фурье (рисунок 1).

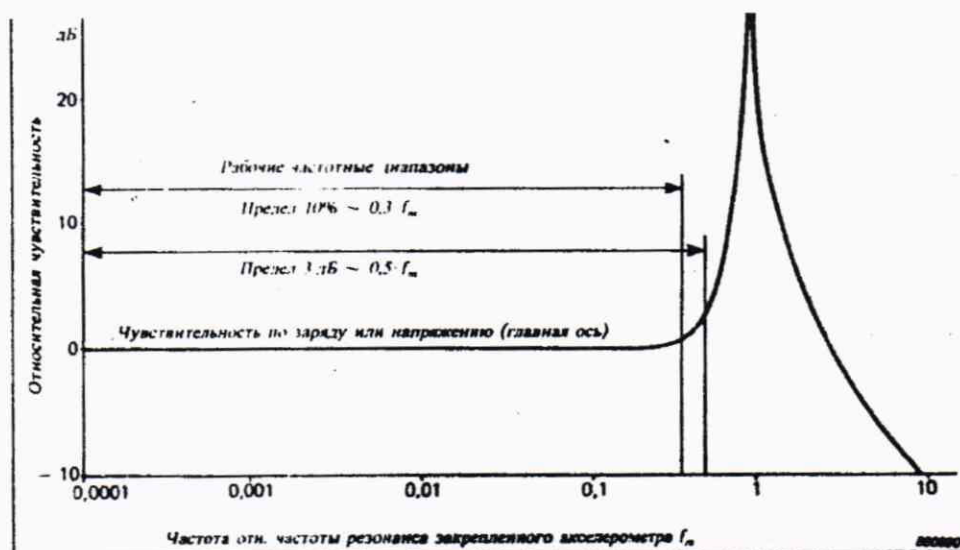


Рисунок 1 - Кривая амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) преобразователя

7.7.2 Кривая АЧХ преобразователя связана с выражением (7)

$$A = \frac{1}{1 - \left(\frac{f}{f_m}\right)^2}, \quad (7)$$

где  $A$  — отношение амплитуд в области высоких и низких частот;  
 $f_m$  — значение частоты резонанса, закрепленного преобразователя.



На основе выражения (7) можно определить диапазон частот преобразователя и вычислить отклонения, присущие отдельным частотам и получаемые в результате измерений значений амплитуды, от соответствующих действительных значений амплитуды исследуемых механических колебаний.

В качестве верхнего предела диапазона частот преобразователя можно использовать различные значения, связанные с определенными значениями отклонений, получаемых в результате измерений значений амплитуды от действительных значений амплитуды механических колебаний.

Предел 5 % определен частотой, на которой относительное отклонение получаемого в результате измерения значения амплитуды от действительного значения амплитуды воздействующих на преобразователь механических колебаний составляет 5 %. С не превышающей 5 % погрешностью можно измерять механические колебания с частотами, меньшими приблизительно деленного на 5 (коэффициент умножения 0,22) значения резонансной частоты закрепленного преобразователя.

7.7.3 На основании определения собственной резонансной частоты (п.7.5) значение неравномерности принимаем равной 5 %.

Сверху диапазон частот ограничен значением, полученным в результате умножения собственной резонансной частоты на коэффициент умножения 0,22.

Снизу диапазон частот ограничен фильтром верхних частот усилителя сигнала.

7.7.4 Результаты поверки считают удовлетворительными, если в диапазоне частот измеряемых давлений, значение неравномерности АЧХ  $\delta f$  не превышает 5 %.

## 7.8 Проверка диапазона частот измеряемых давлений

7.8.1 Результаты поверки считают удовлетворительными, если в диапазоне частот, указанных в таблице 11, значение неравномерности АЧХ будет не более 5 %.

Таблица 11

Обозначение модификации преобразователя	Диапазон частот измеряемых давлений, Гц
113B21; 113B22; 113B23; 113B24; 113B26; 113B27; 113B28; 113B38; 102B; 102B03; 102B04; 102B06; 102B15; 102B16; 102B18; 113B03	от 1 до 11000
113B31; 113B32; 113B34; 113B37	от 1 до 8800
116B	от 1 до 1210
112B05	от 1 до 4400
115A04	от 1 до 2750

## 7.9 Определение нелинейности амплитудной характеристики преобразователя

7.9.1 Нелинейность амплитудной характеристики (АХ) преобразователя определяют на установке вторичного эталона методом непосредственного сличения с эталонными преобразователями давления.

7.9.2 Нелинейность определяют не менее, чем при трех значениях амплитуды единичного скачка давления, расположенных равномерно по диапазону измеряемых преобразователем амплитуд переменных давлений (включая нижнее и верхнее значения).

7.9.3 Преобразователь устанавливают на установке в соответствии с руководством по эксплуатации установки. Соединяют преобразователь с входом осциллографа TDS 1012B, работающего в ждущем режиме.

7.9.4 Воспроизводят единичный скачок импульсного давления заданной амплитуды, соответствующей требованиям п. 7.9.2 МП, и регистрируют отклик преобразователя на экране осциллографа. Определяют коэффициент преобразования, по формуле (1) МП. Для зарядовых преобразователей – по формуле (4) МП.

При каждом эталонном значении амплитуды единичного скачка давления проводят не менее трех измерений, после чего рассчитывают среднее арифметическое значение коэффициента преобразования  $S_{qcp}^{P_i}$  для заданного эталонного значения амплитуды единичного скачка давления  $P_i$  по формуле (2). Для зарядовых преобразователей – по формуле (5) МП.

7.9.5 Повторяют процедуру определения коэффициента преобразования в соответствии с требованиями п. 7.9.4.

7.9.6 Определяют для каждого эталонного значения амплитуды единичного скачка давления  $P_i$  относительное отклонение от действительного значения коэффициента преобразования преобразователя по формулам (8), (9), %

Для преобразователей с выходом по напряжению серий 102В, 113В

$$\delta_a^{P_i} = \frac{S_{ucp} - S_{ucp}^{P_i}}{S_{u1}} \quad (8)$$

Для преобразователей с выходом по заряду серий 115А, 116В, 113В03, 112В

$$\delta_a^{P_i} = \frac{S_{qcp} - S_{qcp}^{P_i}}{S_{q1}} \quad (9)$$

7.9.7 Наибольшее из отклонений  $\delta_a$  принимают за нелинейность амплитудной характеристики

$$\delta_a = \left| \delta_a^{P_i} \right|_{МАК} \quad (10)$$

7.9.8 Результаты поверки считают удовлетворительными, если в диапазоне амплитуд измеряемых давлений, значение нелинейности АХ  $\delta_a$  не превышает 4 %.

### 7.10 Проверка диапазона амплитуд переменных давлений

7.10.1 Диапазон амплитуд переменных давлений проверяется после определения нелинейности амплитудной характеристики преобразователя (п. 7.9).

7.10.2 Результаты поверки считают удовлетворительными, если в диапазоне амплитуд переменных давлений, указанных в таблицах 12-16, значение нелинейности амплитудной характеристики АХ не превышает 4 %.

Таблица 12

Наименование характеристики	Обозначение модификации				
	113В21	113В22	113В23	113В24	113В26
	Значение				
Диапазон амплитуд измеряемых давлений, кПа	от 68,95 до 1379	от 1250 до 25000		от 344,75 до 6895	от 172,5 до 3450

Таблица 13

Наименование характеристики	Обозначение модификации				
	113В27	113В28	113В31	113В32	113В34
	Значение				
Диапазон амплитуд измеряемых давлений, кПа	от 34,47 до 689,4	от 17,24 до 344,8	от 68,95 до 1379	от 1250 до 25000	от 344,75 до 6895



Таблица 14

Наименование характеристики	Обозначение модификации				
	113B37	113B38	102B	102B03	102B04
	Значение				
Диапазон амплитуд измеряемых давлений, кПа	от 34,47 до 689,4	от 17,24 до 344,7	от 1250 до 25000		от 345 до 6900

Таблица 15

Наименование характеристики	Обозначение модификации			
	102B06	102B15	102B16	102B18
	Значение			
Диапазон амплитуд измеряемых давлений, кПа	от 172,5 до 3450	от 68,95 до 1379	от 34,47 до 689,4	от 17,24 до 344,7

Таблица 16

Наименование характеристики	Обозначение модификации			
	113B03	116B	112B05	115A04
	Значение			
Диапазон амплитуд измеряемых давлений, кПа	от 1250 до 25000	от 34,5 до 690	от 1250 до 25000	от 1250 до 25000

### 7.11 Определение основной относительной погрешности измерений

7.11.1 Основную относительную погрешность измерений  $\delta$  при доверительной вероятности 0,95 определяют по формуле:

$$\delta = \pm 1,1 \sqrt{\delta_0^2 + \delta_f^2 + \delta_a^2}, \quad (11)$$

где  $\delta_0$  - погрешность установки при определении действительного значения коэффициента преобразования преобразователя,  $\delta_0 = 3,0$ ;

$\delta_a$  - нелинейность амплитудной характеристики преобразователя, % (п.7.9);

$\delta_f$  - неравномерность АЧХ преобразователя, % (п.7.7);

7.11.2 Результаты поверки считают удовлетворительными, если основная относительная погрешность измерений находится в пределах  $\pm 10\%$ .

## 8 Оформление результатов поверки

8.1 Результаты поверки считаются положительными, если характеристики преобразователя удовлетворяют всем требованиям данной методики. В этом случае на преобразователь выдается свидетельство о поверке.

При отрицательных результатах преобразователь к применению не допускается и на него выдается извещение о непригодности с указанием причин.

Знак поверки наносится на свидетельство о поверке и (или) в Руководство по эксплуатации.