

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

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»



А.Н. Пронин

«10» августа 2023 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

**АКСЕЛЕРОМЕТРЫ УДАРНЫЕ ASM**

**МЕТОДИКА ПОВЕРКИ**

**МП 2520-129-2023**

И.о. руководителя научно-исследовательской  
лаборатории госэталонов в области измерений  
вибраций, удара и переменных давлений  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Козляковский А.А.

«10» 08 2023 г.

г. Санкт-Петербург

2023 г.

## Содержание

1. Общие положения.....	3
2. Перечень операций поверки средства измерений .....	3
3. Требования к условиям проведения поверки.....	3
4. Требования к специалистам, осуществляющим поверку .....	4
5. Метрологические и технические требования к средствам поверки .....	4
6. Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки .....	5
7. Внешний осмотр средства измерений .....	5
8. Подготовка к поверке и опробование средства измерений .....	5
9. Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям .....	6
9.1 Определение действительного значения коэффициента преобразования. Определение отклонения действительного значения коэффициента преобразования от номинального.	6
9.2 Определение нелинейности амплитудной характеристики .....	7
9.3 Определение собственной резонансной частоты акселерометра .....	8
9.4 Определение относительной погрешности измерений амплитуд ударного ускорения акселерометра .....	11
10. Оформление результатов поверки .....	11

## 1. Общие положения

Настоящая методика поверки (далее – МП) распространяется на акселерометры ударные ASM (далее – акселерометры), выпускаемые YMC PIEZOTRONICS INC, Китай, и устанавливает методику их первичной и периодической поверок.

Методикой поверки обеспечивается прослеживаемость:

– к Государственному специальному эталону единицы ускорения при ударном движении ГЭТ 57-84 согласно Приказа Росстандарта № 2537 от 12.11.2021 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений ускорения, скорости и силы при ударном движении».

Методы, обеспечивающие реализацию методики поверки:

– метод прямых измерений и метод косвенных измерений в соответствии с Приказом Росстандарта № 2537 от 12.11.2021.

## 2. Перечень операций поверки средства измерений

2.1 При проведении поверки выполняются операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	да	да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	да	да	8
Определение действительного значения коэффициента преобразования. Определение отклонения действительного значения коэффициента преобразования от номинального	да	да	9.1
Определение нелинейности амплитудной характеристики	да	да	9.2
Определение собственной резонансной частоты акселерометра	да	нет	9.3
Относительная погрешность измерений амплитуд ударного ускорения акселерометра	да	да	9.4

## 3. Требования к условиям проведения поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С .....от + 18 до + 25;
- относительная влажность, %.....от 30 до 80.

#### 4. Требования к специалистам, осуществляющим поверку

Поверку акселерометров проводят поверители метрологических служб юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, аккредитованных на проведение поверки в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации.

Поверители обязаны иметь профессиональную подготовку и опыт работы в области измерений параметров вибрации и ударного ускорения, а также обязаны знать требования руководства по эксплуатации на акселерометры и требования настоящей методики. Для проведения поверки акселерометров достаточно одного поверителя.

#### 5. Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 При проведении поверки должны применяться средства поверки, указанные в таблице 2.

Таблица 2

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
8, 9.1 – 9.3	<p>Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от +18 до +25 °С с абсолютной погрешностью не более ±0,3 °С, в диапазоне измерений относительной влажности от 30 до 80 % с погрешностью не более ±2 %;</p> <p>Осциллографы цифровые, диапазон частот от 0 до 1 ГГц, диапазон напряжений от 0,1 до 100 В, ПГ ±1 %;</p> <p>Усилители измерительные, диапазон частот от 0,1 Гц до 100 кГц, коэффициент усиления от 0,01 до 10000 мВ/пКл., ПГ ±1 %</p>	<p>Термогигрометр ИВА-6Н-Д, рег. № 46434-11 в ФИФ;</p> <p>Осциллограф цифровой TDS 1012В, рег. № 32618-06 в ФИФ;</p> <p>Усилитель измерительный «NEXUS» модель 2692 А, рег. № 17592-98 в ФИФ.</p>
9.1 – 9.2	<p>Эталоны ускорения при ударном движении, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 1-го разряда по Приказу Росстандарта № 2537 от 12.11.2021, в диапазоне измерений ускорений от 50 до 10<sup>6</sup> м/с<sup>2</sup>, ПГ ±(2,5 – 12) %.</p>	<p>Рабочий эталон 1-го разряда единицы ускорения при ударном движении в диапазоне 50 – 10<sup>6</sup> м/с<sup>2</sup> по Приказу Росстандарта № 2537 от 12.11.2021.</p>
9.3	<p>Эталоны единиц длины, скорости и ускорения при колебательном движении твердого тела, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 2-го разряда по Приказу Росстандарта № 2772 от 27.12.2018, диапазон частот от 0,1 Гц до 20 кГц, или стальной кубик массой 180—220 г с пьезоэлектрическим вибратором и низкочастотным измерительным генератором по ГОСТ 9486, или установка типа «падающий шар», спектроанализатор.</p>	<p>Рабочий эталон 2-го разряда единиц длины, скорости и ускорения при колебательном движении твердого тела по Приказу Росстандарта № 2772 от 27.12.2018 г.</p>
<p>Примечание - Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.</p>		

5.2 Применяемые средства измерений должны быть исправны, иметь действующие записи о результатах поверки средств измерений в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (далее – ФИФ ОЕИ), а эталоны и испытательное оборудование аттестовано.

Допускается применение других средств измерений, эталонов и испытательного оборудования, не приведенных в таблице 1, но обеспечивающих определение (контроль) метрологических характеристик испытуемых средств измерений с требуемой точностью.

#### **6. Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки**

При проведении поверочных работ необходимо соблюдать требования по обеспечению безопасности на рабочих местах по ГОСТ 12.2.061-81, а также все требования, указанные в эксплуатационных документах на акселерометры и нормативные документы на средства поверки.

Средства поверки, а также вспомогательное оборудование, которые подлежат заземлению, должны быть надежно заземлены.

#### **7. Внешний осмотр средства измерений**

7.1 При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие акселерометра следующим требованиям:

- соответствие комплектности и маркировки требованиям, установленным в эксплуатационной документации акселерометра;
- отсутствие загрязнений и выступающих заусенцев на контактирующих поверхностях акселерометра;
- отсутствие повреждений корпуса, разъёма и соединительного кабеля акселерометра.

7.2 Результат проверки считается положительным, если акселерометр соответствует требованиям эксплуатационной документации и признается пригодными к применению, если выполняется п. 7.1.

#### **8. Подготовка к поверке и опробование средства измерений**

##### **8.1 Подготовка к поверке акселерометра.**

8.1.1 Подготовка акселерометра к поверке должна производиться в соответствии с требованиями эксплуатационной документации на акселерометр.

8.1.2 При проведении поверки необходимо соблюдать требования раздела «Указания мер безопасности» инструкции по эксплуатации и других нормативных документов на акселерометр.

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

8.1.4 Перед проведением поверки необходимо проверить условия окружающей среды на соответствие требованиям раздела 3 настоящей методики поверки.

##### **8.2 Для проведения опробования необходимо выполнить следующие операции:**

8.2.1 При проведении опробования проверяют работоспособность акселерометра, проверяемый акселерометр со встроенным усилителем заряда (исполнения ASM 111AXXY) соединяют с входом ICP усилителя измерительного, выход которого соединяют с входом осциллографа. При проверке акселерометра с выходом по заряду (исполнения ASM 211AXXY),

подключают акселерометр к зарядовому входу усилителя измерительного, выход которого подключают к осциллографу.

8.2.2 Устанавливают осциллограф в режим работы «Одиночный запуск».

8.2.3 Воздействуют на основание акселерометра легким механическим ударом, например, постукивая пластиковой ручкой отвертки, наблюдают появление импульсного сигнала с последующим его затуханием на экране осциллографа.

8.2.4 Вид сигналов при проверке акселерометра со встроенным усилителем заряда и акселерометра с выходом по заряду должны быть примерно одинаковыми (полусинусоида с последующим затуханием).

8.2.5 Результаты опробования считаются удовлетворительными, если выполняется требование п. 8.2.4 методики поверки.

## **9. Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям**

### **9.1 Определение действительного значения коэффициента преобразования.**

#### **Определение отклонения действительного значения коэффициента преобразования от номинального**

9.1.1 Действительное значение коэффициента преобразования акселерометра определяют на установках из состава рабочего эталона в соответствии с руководством по эксплуатации на установки.

9.1.2 Акселерометр закрепляют на установке с помощью специальных элементов крепления, входящих в комплект установки таким образом, чтобы ось чувствительности акселерометра совпадала с направлением импульса ударного ускорения. в соответствии с эксплуатационной документацией на акселерометр. Выход поверяемого акселерометра и выход эталонного акселерометра из состава рабочего эталона (далее – эталонный акселерометр) подключают соединительными кабелями к входам усилителя измерительного, выход которого соединяют с входом осциллографа. Осциллограф подключить к персональному компьютеру (далее – ПК).

9.1.3 Воспроизводят на установке ударный импульс амплитудой  $50 \text{ м/с}^2$ , на экране ПК отобразятся полученные данные (действительное значение ударного ускорения ( $\text{м/с}^2$ ) и коэффициент преобразования поверяемого акселерометра ( $\text{мВ/м}\cdot\text{с}^{-2}$  или  $\text{пКл/м}\cdot\text{с}^{-2}$ )).

9.1.4 Повторить операцию, указанную в п. 9.1.3 еще 2 раза.

9.1.5 Выполнить операции в соответствии с п. 9.1.3-9.1.4 последовательно для заданных ускорений диапазона измерений акселерометра.

Значения заданных ускорений выбирают из ряда:

50 (5 g), 100 (10 g), 500 (50 g), 1000 (100 g), 10000 (1000 g), 20000 (2000 g), 50000 (5000 g), 100000 (10000 g), 200000 (20000 g), 500000 (50000 g), 1000000 (100000 g)  $\text{м/с}^2$ .

9.1.6 Рассчитывают действительное значение коэффициента преобразования  $K_D$ ,  $\text{мВ/м}\cdot\text{с}^{-2}$  – для акселерометров с сигналом напряжения на выходе (IEPE), по формуле (1):

$$K_D = \frac{U_{yc}}{a_{эт}}, \quad (1)$$

где:  $U_{yc}$  – пиковое значение амплитуды напряжения, измеренного на выходе усилителя измерительного, В.

$a_{эт}$  – пиковое значение, воспроизведенного ударного ускорения, измеренного эталонным акселерометром при  $i$ -том измерении,  $м/с^2$ ;

Рассчитывают действительное значение коэффициента преобразования  $K_D$  пКл/ $м \cdot с^{-2}$  – для акселерометров с зарядовым сигналом на выходе (PE), по формуле (2):

$$K_D = \frac{U_{ус}}{K_{су} \cdot a_{эт}}, \quad (2)$$

где:  $K_{ус}$  – коэффициент преобразования канала усилителя измерительного, мВ/пКл.

Рассчитывают среднее арифметическое значение коэффициента преобразования по формуле (3):

$$K_{D_{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Di}}{n}, \quad (3)$$

где:  $K_{Di}$  – измеренное значение коэффициента преобразования акселерометра в  $i$ -той точке  $мВ/м \cdot с^{-2}$  (пКл/ $м \cdot с^{-2}$ );

$n$  – число измерений,  $n \geq 3$ .

9.1.7 Рассчитывают отклонение действительного значения коэффициента преобразования акселерометра от номинального значения, указанного в эксплуатационной документации на акселерометр по формуле (4):

$$\delta K_D = \frac{K_{D_{ср}} - K_N}{K_N} \cdot 100, \quad (4)$$

где  $K_N$  – номинальное значение коэффициента преобразования акселерометра ( $мВ/м \cdot с^{-2}$  или пКл/ $м \cdot с^{-2}$ );

$K_{D_{ср}}$  – среднее арифметическое значение коэффициента преобразования акселерометра, ( $мВ/м \cdot с^{-2}$  или пКл/ $м \cdot с^{-2}$ ).

9.1.8 Результаты определения считают удовлетворительными, если отклонение действительного значения коэффициента преобразования акселерометра не превышает  $\pm 10\%$ .

## 9.2 Определение нелинейности амплитудной характеристики

9.2.1 Нелинейность амплитудной характеристики акселерометра определяют на установках из состава рабочего эталона в соответствии с руководством по эксплуатации на установки.

9.2.2 Акселерометр закрепляют на установке в соответствии с п. 9.1.2 методики поверки.

9.2.3 Нелинейность амплитудной характеристики акселерометра определяют не менее чем при пяти значениях ударного ускорения, в зависимости от исполнения акселерометра (таблица 3), одно из которых должно быть минимальным, другое максимальным и три – промежуточными.

Таблица 3

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений амплитуд ударного ускорения, $g$ ( $м/с^2$ ), для исполнений:	
ASM 111A01; ASM 211A01	от 5 до $10^4$ (от 50 до $10^5$ )
ASM 111A02; ASM 211A02	от 5 до $2 \cdot 10^4$ (от 50 до $2 \cdot 10^5$ )
ASM 111A05; ASM 211A05	от 5 до $5 \cdot 10^4$ (от 50 до $5 \cdot 10^5$ )
ASM 211A10	от 5 до $10^5$ (от 50 до $10^6$ )

9.2.4 Воспроизводят ударный импульс амплитудой  $50 м/с^2$ . На экране ПК отобразятся полученные данные (ударные импульсы, измеренные амплитуды эталоном и поверяемым акселерометром).

акселерометра фиксируют (запоминают) в регистрирующем устройстве, преобразуют в цифровую форму и с помощью преобразования Фурье получают амплитудную спектральную характеристику, по которой определяют максимальное пиковое значение частоты.

9.3.1.5 Процесс определения максимального пикового значения частоты повторяют не менее трех раз. Максимальные пиковые значения частот не должны отличаться друг от друга в проводимых экспериментах более, чем на 5 %.

9.3.1.6 За значение собственной резонансной частоты принимают среднее арифметическое значение, определенное по результатам, полученным в процессе измерений по п.п. 9.3.1.4 – 9.3.1.5.

9.3.2 Для определения собственной резонансной частоты акселерометра в вибрационном режиме применяют поверочные электродинамические виброустановки или пьезоэлектрические вибраторы.

9.3.2.1 При использовании поверочной виброустановки крепление поверяемого акселерометра к вибростолу поверочной виброустановки осуществляют способом, применяемым при его эксплуатации (например, резьбовое соединение, клеевое и т. д.).

Значение резонансной частоты системы «вибростол – эталонный акселерометр» должно быть не менее чем в 1,2 раза выше значения частоты установочного резонанса поверяемого акселерометра.

9.3.2.2 Поверяемый акселерометр устанавливают на вибростол поверочной виброустановки и подключают его в соответствии со схемой поверочной виброустановки.

9.3.2.3 Задают на вибростоле виброускорение, значение которого не менее  $5 \text{ м/с}^2$ , на частоте, не менее чем в 10 раз ниже предполагаемой частоты установочного резонанса поверяемого акселерометра. Считывают значение напряжения с выхода согласующего усилителя поверяемого акселерометра.

Поддерживая приблизительно постоянным задаваемое виброускорение (не менее  $5 \text{ м/с}^2$ ), плавно (или с дискретностью не более 100 Гц) увеличивают частоту вибростола. Отмечают частоту, при которой показание вольтметра, измеряющего напряжение с выхода согласующего усилителя поверяемого акселерометра, максимальное.

9.3.2.4 По окончании измерений снимают акселерометр с вибростола и вновь устанавливают его. В последовательности, изложенной в п. 9.3.2.3, повторяют операцию определения значения частоты, при котором показание вольтметра, измеряющего напряжение с выхода согласующего усилителя поверяемого акселерометра, максимальное. Полученные значения резонансных частот в первом и втором случае не должны различаться более чем на 5 %.

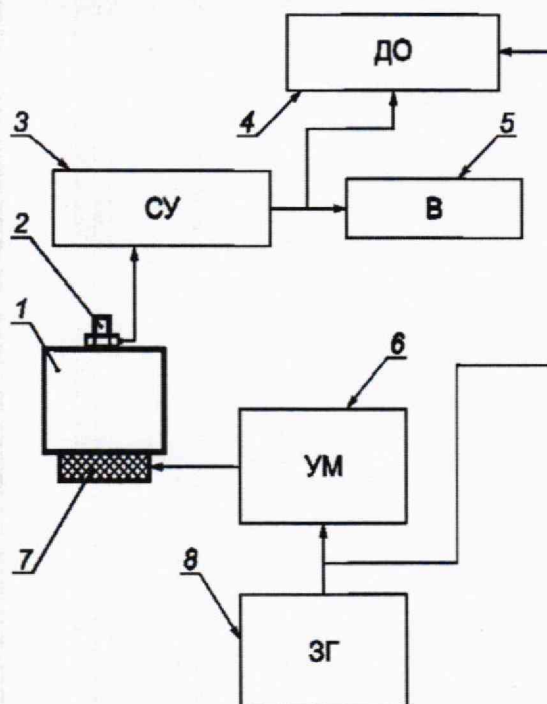
9.3.2.5 В качестве значения частоты установочного резонанса принимают среднее арифметическое значение, определенное по результатам, полученным в процессе измерений по п. 9.3.2.3 и п. 9.3.2.4.

9.3.2.6 При использовании пьезоэлектрического вибратора крепление поверяемого акселерометра к основанию осуществляют способом, указанным в п. 9.3.2.1. В соответствии со схемой соединений, представленной на рисунке 1, с противоположной стороны основания закрепляют пьезоэлектрический вибратор, который возбуждает колебания основания, воздействующие на поверяемый акселерометр. В качестве пьезоэлектрического вибратора может быть использована пьезопластина, к электрическим контактам которой подключают усилитель мощности. Значение резонансной частоты системы «основание — поверяемый акселерометр» должно быть не менее чем в 1,2 раза выше значения частоты установочного резонанса поверяемого акселерометра.

В качестве основания может быть использован стальной куб со стороной  $\approx 25 \text{ мм}$  и массой 180—220 г.



9.3.2.7 Поверяемый акселерометр устанавливают на основание и подключают его в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.



1 - основание; 2 — поверяемый акселерометр; 3 — согласующий усилитель; 4 – двухлучевой осциллограф; 5 – вольтметр; 6 - усилитель мощности; 7 - пьезоэлектрический вибратор; 8 – задающий генератор

Рисунок 1 — Схема соединений для определения собственной резонансной частоты акселерометра с помощью пьезоэлектрического вибратора

9.3.2.8 Возбуждают пьезоэлектрический вибратор с помощью задающего генератора на частоте не менее чем в 10 раз ниже предполагаемой частоты установочного резонанса поверяемого акселерометра. Считывают значение напряжения с выхода согласующего усилителя поверяемого акселерометра.

Поддерживая приблизительно постоянным задаваемое напряжение, с выхода задающего генератора плавно (или с дискретностью не более 100 Гц) увеличивают частоту возбуждения пьезоэлектрического вибратора. Отмечают частоту, при которой показание вольтметра, измеряющего напряжение с выхода согласующего усилителя поверяемого акселерометра, максимальное.

9.3.2.9 По окончании измерений снимают акселерометр с основания и вновь устанавливают его. В последовательности, изложенной в п. 9.3.2.8, повторяют операцию определения значения частоты, при которой показание вольтметра, измеряющего напряжение с выхода согласующего усилителя поверяемого акселерометра, максимальное. Полученные значения резонансных частот в первом и втором случае не должны отличаться один от другого более чем на 5 %.

В качестве значения собственной резонансной частоты принимают среднее арифметическое значение, определенное по результатам, полученным в процессе измерений по п. 9.3.2.8 и п. 9.3.2.9.

9.3.3. Результаты определения собственной резонансной частоты считают удовлетворительными, если собственная резонансная частота акселерометра не менее 40 кГц.

## 9.4 Определение относительной погрешности измерений амплитуд ударного ускорения акселерометра

9.4.1 Относительную погрешность измерений амплитуд ударного ускорения акселерометра при доверительной вероятности 0,95 определяют по формуле (7), %:

$$\delta = \pm 1,1 \sqrt{\delta_0^2 + \gamma^2}, \quad (7)$$

где  $\delta_0$  - погрешность эталона, входящего в состав установки, %;  
 $\gamma$  - нелинейность амплитудной характеристики акселерометра, %.

Полученное значение относительной погрешности измерений амплитуд ударного ускорения акселерометра рассчитывают в децибелах по формуле (8), дБ:

$$\delta_{\text{дБ}} = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{\delta}{100} + 1 \right). \quad (8)$$

9.4.2 Результаты определения относительной погрешности измерений амплитуд ударного ускорения акселерометра считают удовлетворительными, если полученное значение относительной погрешности измерений амплитуд ударного ускорения акселерометра не превышает  $\pm 1$  дБ.

## 10. Оформление результатов поверки

10.1 Результаты поверки считаются положительными, если метрологические характеристики акселерометра удовлетворяют всем требованиям данной методики. В этом случае результаты поверки оформляются в соответствии с действующими нормативными документами Российской Федерации.

10.2 При отрицательных результатах поверки акселерометр к применению не допускается и на него оформляется извещение о непригодности.

10.3 Сведения о результатах поверки средств измерений в целях подтверждения поверки должны быть переданы в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

10.4 По заявлению владельца средств измерений или лица, представившего их на поверку, с учетом требований методик поверки аккредитованное на поверку лицо, проводившее поверку, в случае положительных результатов поверки (подтверждено соответствие средств измерений метрологическим требованиям) выдает свидетельства о поверке, оформленные в соответствии с требованиями к содержанию свидетельства о поверке.

Знак поверки наносится на свидетельство о поверке (в случае его оформления).