

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

СОГЛАСОВАНО



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

А.Н. Пронин

_____ марта 2021 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

ВИБРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭТАЛОННЫЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ZET 101

Методика поверки

МП 2520-098-2021

И.о. руководителя лаборатории 2520
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
Козляковский А. А.

Ведущий инженер
Коваль Н. В.

г. Санкт-Петербург

2021 г.

1 Общие положения

Настоящая методика поверки (далее МП) распространяется на вибропреобразователи эталонные пьезоэлектрические ZET 101 (далее – вибропреобразователь), фирмы ООО «ЭТМС», г. Зеленоград, г. Москва, Россия и устанавливает методику их первичной и периодической поверок.

Первичная поверка проводится:

- при вводе в эксплуатацию;
- после ремонта.

Допускается проведение периодической поверки на меньшем числе поддиапазонов измерений частот на основании письменного заявления заказчика. В этом случае в сведениях о результатах поверки обязательно указывается информация об объеме проведенной поверки.

Вибропреобразователи соответствуют рабочим эталонам 1 разряда по ГПС Приказа Росстандарта № 2772 от 27.12.2018 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений виброперемещения, виброскорости, виброускорения и углового ускорения».

Методикой поверки обеспечивается прослеживаемость к Государственному специальному эталону единиц длины, скорости и ускорения при колебательном движении твердого тела ГЭТ 58-2018 согласно Приказу Росстандарта № 2772 от 27.12.2018 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений виброперемещения, виброскорости, виброускорения и углового ускорения».

Метод, обеспечивающий реализацию методики поверки:

-методом прямых измерений и сличением с помощью компаратора в соответствии с Приказом Росстандарта № 2772 от 27.12.2018.

2 Перечень операций поверки

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

Таблица 1 – Перечень операций поверки

Наименование операции	Номер пункта методики поверки	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
Внешний осмотр	8.1	да	да
Опробование	8.2	да	да
Определение собственной частоты установочного резонанса. Определение частоты установочного резонанса в поперечном направлении	8.3	да	нет
Определение действительного значения коэффициента преобразования. Определение отклонения действительного значения коэффициента преобразования от номинального	8.4	да	да
Определение неравномерности АЧХ	8.5	да	да
Определение нелинейности амплитудной характеристики	8.6	да	да
Определение относительного коэффициента поперечного преобразования	8.7	да	нет
Определение нестабильности коэффициента преобразования	8.8	нет	да

3 Метрологические требования к средствам поверки

3.1 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
8.3	- Вторичный эталон единиц длины, скорости и ускорения при колебательном движении твердого тела по Приказу Росстандарта № 2772 от 27.12.2018 г. «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений виброперемещения, виброскорости, виброускорения и углового ускорения», или стальной кубик с массой 180 – 220 г с пьезоэлектрическим вибратором и низкочастотным измерительным генератором, или установка типа «падающий шар». спектроанализатор	диапазон частот измерений установочных резонансов от 10 до 100 кГц, ПГ ±1 %.
8.4, 8.5, 8.6, 8.7	- Вторичный эталон единиц длины, скорости и ускорения при колебательном движении твердого тела по Приказу Росстандарта № 2772 от 27.12.2018 г. «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений виброперемещения, виброскорости, виброускорения и углового ускорения»	в диапазоне виброперемещений от 10^{-8} до 0,1 м, виброскоростей от 10^{-4} до 10^{-1} м/с и виброускорений от 10^{-3} до 500 м/с ² в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-1}$ до $2 \cdot 10^4$ Гц, погрешность измерений ±2,5 %.

3.2 Средства измерений, применяемые при поверке должны быть поверены, а эталоны аттестованы.

3.3 Допускается применение других средств измерений и вспомогательного оборудования, не приведенных в таблице 2, но обеспечивающих определение (контроль) метрологических характеристик поверяемых средств измерений с требуемой точностью.

4 Требования к квалификации поверителей

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

5 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.

6 Условия проведения поверки

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

температура окружающего воздуха, оС.....от +15 до + 25

относительная влажность, %.....от 30 до 80

атмосферное давление, кПаот 84 до 106,7

7 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 вибропреобразователи 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 вибропреобразователям можно производить только при отключенном напряжении питания.

Поверку в целях утверждения типа может проводить специалист, имеющий высшее профессиональное образование

8 Проведение поверки

8.1 Внешний осмотр

8.1.1 Проверка внешнего вида и маркировки вибропреобразователей проводится путем сравнения с технической документацией, представленной заявителем.

8.1.2 Результат проверки считается положительным, если конструкция и маркировка вибропреобразователей соответствует требованиям технической документации на вибропреобразователи.

8.2 Опробование

8.2.1 При проведении опробования проверяют работоспособность вибропреобразователя, поверяемый вибропреобразователь закрепляют на измерительном столе (далее – вибростол) поверочной виброустановки (далее – виброустановка) вторичного эталона, в соответствии с технической документацией на вибропреобразователь. Выход вибропреобразователя подключают соединительным кабелем к входу согласующего усилителя,

выход которого соединяют с входом вольтметра, входящий в состав виброустановки вторичного эталона.

8.2.2 Включают и прогревают приборы виброустановки вторичного эталона.

8.2.3 С помощью вольтметра фиксируют уровень помех на выходе согласующего усилителя.

8.2.4 Подают напряжение от генератора через усилитель мощности на вибровозбудитель, входящий в состав виброустановки вторичного эталона. Частота подаваемого напряжения не должна превышать 0,25 максимального значения рабочего диапазона частот поверяемого вибропреобразователя.

8.2.5 Плавно увеличивают напряжение до тех пор, пока сигнал на выходе вибропреобразователя не превысит уровень помех на 40 дБ.

8.2.6 Результаты поверки считаются удовлетворительными, если выполняются требования п. 8.2.5 настоящей методики поверки.

8.3 Определение собственной частоты установочного резонанса.

Определение частоты установочного резонанса в поперечном направлении

8.3.1 Собственную частоту установочного резонанса вибропреобразователя осуществляется в ударном режиме.

8.3.2 Для определения значения частоты установочного резонанса вибропреобразователя в ударном режиме применяют устройство, обеспечивающее возбуждение пьезоэлектрического вибропреобразователя механическим ударом с помощью стального падающего шарика. Форма возбуждающего импульса близка к δ -импульсу.

8.3.3 Устройство для определения значения частоты установочного резонанса вибропреобразователя состоит из стойки с кронштейнами, в которые устанавливаются направляющая трубка и через виброгасящую прокладку (например, поролоновую) рабочее тело. Рабочее тело представляет собой стальную сферу с лыской твердостью HRC не менее 50. Лыска рабочего тела служит для установки поверяемого вибропреобразователя через резьбовое соединение. Между вибропреобразователем и рабочим телом наносят тонким слоем чистое машинное масло, чтобы компенсировать шероховатости контактных поверхностей. Направляющую трубку устанавливают таким образом, чтобы ее выходное отверстие (диаметром не более 5 мм) находилось над центром рабочего тела на расстоянии от 3 до 5 мм.

8.3.4 Вибропреобразователь через согласующий усилитель подключают к регистрирующему устройству. В качестве регистрирующего устройства может применяться спектроанализатор или персональный компьютер с аналого-цифровым преобразователем и соответствующим программным обеспечением. В качестве падающего шарика применяют стальные шарики, твердость которых HRC не менее 50.

8.3.5 Закрепляют на лыске рабочего тела вибропреобразователь способом, применяемым при его эксплуатации. Устанавливают рабочее тело с закрепленным вибропреобразователем и направляющую трубку. Вибропреобразователь через согласующий усилитель подключают к регистрирующему устройству. Приборы включают и прогревают в соответствии с Руководством по эксплуатации на них

8.3.6 В верхнее отверстие направляющей трубки опускают стальной шарик, возбуждающий при соударении с рабочим телом вибропреобразователь. Выходной сигнал вибропреобразователя фиксируют (запоминают) в регистрирующем устройстве, преобразуют в цифровую форму и с помощью преобразования Фурье получают амплитудную и фазовые спектральные характеристики, по которым определяют максимальное пиковое значение частоты, при котором сдвиг фазы на характеристике приблизительно равен 90° .

8.3.7 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 %.

8.3.8 За значение частоты установочного резонанса принимают среднее арифметическое значение, определенное по результатам, полученным в процессе измерений по п.п. 8.3.6 – 8.3.7.

8.3.9 Результаты поверки считают удовлетворительными, если частота установочного резонанса в осевом направлении не менее 40 кГц.

8.3.10 Значение частоты поперечного резонанса вибропреобразователя определяют способом, изложенным в п. 8.3.6.

8.3.11 Вибропреобразователь, закрепленный на рабочем теле, устанавливают таким образом, чтобы направление возбуждающей оси было перпендикулярным к главной оси чувствительности вибропреобразователя и соосным с направлением его максимального значения относительного коэффициента поперечного преобразования.

8.3.12 Результат проверки считают положительным, если частота установочного резонанса в поперечном направлении не менее 20 кГц.

8.4 Определение действительного значения коэффициента преобразования. Определение отклонения действительного значения коэффициента преобразования от номинального

8.4.1 Действительное значение коэффициента преобразования акселерометра определяют на виброустановке вторичного эталона в соответствии с руководством по эксплуатации на виброустановку.

8.4.2 Вибропреобразователь закрепляют на измерительном столе виброустановки вторичного эталона в соответствии с технической документацией на вибропреобразователь. Выход вибропреобразователя подключают соединительным кабелем к входу согласующего усилителя, выход которого соединяют с входом вольтметра.

8.4.3 Воспроизводят на виброустановке вторичного эталона вибрацию с опорной частотой 160 Гц и виброускорением с амплитудой (10 – 100) м/с² не менее 3 значений, считывают показания вольтметра.

8.4.4 Рассчитывают действительное значение коэффициента преобразования K_D , мВ/мс² по формуле (1):

$$K_D = \frac{U_{cy}}{a_d}, \quad (1)$$

где U_{cy} – показание вольтметра, подключенного к входу согласующего усилителя, мВ;

a_d – виброускорение, задаваемое виброустановкой вторичного эталона, м/с².

Среднее арифметическое значение коэффициента преобразования K_{Dcp} , мВ/мс² рассчитывают по формуле (2):

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

где n – число измерений, $n \geq 3$.

8.4.5 Рассчитывают отклонение действительного значения коэффициента преобразования вибропреобразователя от номинального значения, указанного в технической документации на вибропреобразователь по формуле (3), %:

$$\delta K_D = \frac{K_D - K_N}{K_N} \cdot 100, \quad (3)$$

где K_N – номинальное значение коэффициента преобразования вибропреобразователя, мВ/м/с²;

K_D – измеренное значение коэффициента преобразования вибропреобразователя, мВ/м/с².

8.4.6 Результаты поверки считают удовлетворительными, если отклонение действительного значения коэффициента преобразования вибропреобразователя от номинального значения не превышает значения $\pm 10\%$.

8.5 Определение неравномерности АЧХ

8.5.1 Неравномерность амплитудно-частотной характеристики вибропреобразователя определяют на виброустановке вторичного эталона в соответствии с руководством по эксплуатации на виброустановку.

8.5.2 Вибропреобразователь закрепляют на измерительном столе виброустановки вторичного эталона в соответствии с технической документацией на вибропреобразователь. Выход вибропреобразователя подключают соединительным кабелем к входу согласующего усилителя, выход которого соединяют с входом вольтметра.

8.5.3 Воспроизвести на виброустановке вторичного эталона виброускорение с амплитудой (10 – 100) м/с² последовательно на частотах третьоктавного ряда из рабочего диапазона частот вибропреобразователя и фиксируют на вольтметре значение напряжения с вибропреобразователя. Частотный ряд, в котором определяется неравномерность ЧХ, должен включать нижнее и верхнее значения частот рабочего диапазона вибропреобразователя и число фиксированных частот не менее 10.

Значения частот выбирают из ряда:

3,0; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300; 8000; 10000 Гц.

Допускается отклонение частот от значений указанного ряда при сохранении интервала между отдельными частотами не менее октавы.

Первичную поверку вибропреобразователя проводят на частотах третьоктавного ряда. Периодическую поверку допускается проводить на частотах октавного ряда.

Для каждого значения частоты рассчитывают значение коэффициента преобразования по формуле (1). Используя полученные значения коэффициентов преобразования, вычисляют их отклонения (см. п. 7.3) по формуле (4), %:

$$\gamma = \frac{K_{Di} - K_D}{K_D} \cdot 100, \quad (4)$$

где K_D – измеренное значение коэффициента преобразования вибропреобразователя на опорной частоте 160 Гц, мВ/м/с²;

K_{Di} – измеренное значение коэффициента преобразования вибропреобразователя в i -той точке диапазона частот, мВ/м/с².

8.5.4 Наибольшее из отклонений γ принимают за неравномерность амплитудно-частотной характеристики:

$$\gamma = |\gamma_i|_{\max}.$$

8.5.5 Результаты поверки считают удовлетворительными, если неравномерность амплитудно-частотной характеристики не превышает значений, указанных в таблице 3.

Таблица 3 – Неравномерность амплитудно-частотной характеристики вибропреобразователя

Наименование характеристики	Значение
	ZET 101
Неравномерность амплитудно-частотной характеристики в диапазоне частот:	
от 5 до 1000 Гц, %, не более	2,0
от 3 до 5000 Гц, %, не более	4,0
от 3 до 10000 Гц, %, не более	6,0

8.6 Определение нелинейности амплитудной характеристики

8.6.1 Нелинейность амплитудной характеристики вибропреобразователя определяют на виброустановке вторичного эталона в соответствии с руководством по эксплуатации на виброустановку.

8.6.2 Вибропреобразователь закрепляют на измерительном столе виброустановки вторичного эталона в соответствии с технической документацией на вибропреобразователь. Выход вибропреобразователя подключают соединительным кабелем к входу согласующего усилителя, выход которого соединяют с входом вольтметра.

8.6.3 Нелинейность амплитудной характеристики определяют не менее чем при пяти значениях виброускорения, одно из которых должно быть минимальным, другое максимально возможным в зависимости от амплитудных возможностей вибростенда, но не менее 100 м/с². Минимальное значение виброускорения должно быть меньше максимального (в зависимости от возможности вибростенда) в три-четыре раза.

8.6.4 Последовательно задают виброускорение на выбранной частоте.

8.6.5 Считывают значение напряжения с выходов согласующих усилителей встроенного виброметра виброустановки вторичного эталона и поверяемого вибропреобразователя. Используя полученные значения коэффициентов преобразования, определяют среднее арифметическое значение коэффициента преобразования вибропреобразователя.

8.6.6 За нелинейность амплитудной характеристики вибропреобразователя принимают максимальное значение, рассчитанное по формуле (5), %:

$$\Delta\delta_a = \frac{K_{Dmax} - K_{Dmin}}{2K_{Dmin}} \cdot 100, \quad (5)$$

где K_{Dmax} – максимальное значение коэффициента преобразования поверяемого вибропреобразователя, мВ/м/с²;

K_{Dmin} – минимальное значение коэффициента преобразования поверяемого вибропреобразователя, мВ/м/с².

8.6.7 Результаты проверки считают удовлетворительными, если максимальное значение нелинейности амплитудной характеристики не превышает 2%.

8.7 Определение относительного коэффициента поперечного преобразования

8.7.1 Относительный коэффициент поперечного преобразования вибропреобразователя определяют на фиксированной частоте от 10 до 200 Гц.

8.7.2 Вибропреобразователь устанавливают на вибростол виброустановки вторичного эталона с помощью специального устройства таким образом, чтобы главная ось его чувствительности была перпендикулярна к направлению колебаний. Выход

вибропреобразователя подключают соединительным кабелем к входу согласующего усилителя, выход которого соединяют с входом вольтметра, входящий в состав виброустановки вторичного эталона. Специальное устройство должно обеспечивать поворот вибропреобразователя вокруг его оси чувствительности на 360° с интервалом не более 30° .

8.7.3 Вибростолу задают виброускорение от 20 до 50 м/с^2 на частоте от 10 до 200 Гц. Значение виброускорения для вибропреобразователя не должно превышать предельно допустимых значений в поперечном направлении. Значение виброускорения выбирают таким образом, чтобы при направлении вибрации вибростола, совпадающем с направлением максимума коэффициента поперечной чувствительности вибропреобразователя, отношение значения, измеренного на выходе согласующего усилителя напряжения к значению шума, на его выходе было не менее 14 дБ (≈ 5 раз).

8.7.4 Считывают показания вольтметра для каждого положения вибропреобразователя, соответствующего повороту вокруг оси чувствительности на $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ, 210^\circ, 240^\circ, 270^\circ, 300^\circ, 330^\circ$. Повторяют процедуру еще раз и считывают показания вольтметра. Вычисляют среднее арифметическое значение показаний вольтметра $U_{i \text{ ср}}$, мВ, по формуле (6):

$$U_{i \text{ ср}} = 0,5 (U_i + U_i^n), \quad (6)$$

где U_i - показания вольтметра для каждого положения вибропреобразователя, мВ.

8.7.5 Относительный коэффициент поперечного преобразования для каждого положения вибропреобразователя вычисляют по формуле (7), %:

$$K_{\text{оп}i} = \frac{U_{i \text{ ср}}}{a_d K_d} \cdot 100, \quad (7)$$

где K_d – действительное значение коэффициента преобразования вибропреобразователя, определенное по формуле (1), мВ/м/с^2 .

8.7.6 В качестве относительного коэффициента поперечного преобразования принимают максимальное значение, %, вычисленное по формуле (7)

$$K_{\text{оп}} = (K_{\text{оп}i})_{\text{max}}.$$

8.7.7 Результаты поверки считаются удовлетворительными, если максимальное значение коэффициента поперечного преобразования вибропреобразователя не превышает значения, ± 5 %.

8.8 Определение нестабильности коэффициента преобразования

8.8.1 Нестабильность коэффициента преобразования определяют только при периодической поверке на основании полученного коэффициента преобразования при предыдущей поверке и вычисляют по формуле (8), %:

$$\Delta_{\text{он}} = \frac{K_d - K'_d}{K'_d} \cdot 100, \quad (8)$$

где K_d - действительное значение коэффициента преобразования вибропреобразователя при текущей поверке, мВ/м/с^2 ;

K'_d - действительное значение коэффициента преобразования вибропреобразователя при предыдущей поверке, мВ/м/с^2 .

8.8.2 Результат поверки считается удовлетворительным, если нестабильность коэффициента преобразования поверяемого вибропреобразователя не превышает 1,0 %.

9 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

9.1 Проводится определение отклонения действительного значения коэффициента преобразования вибропреобразователя от номинального значения, выраженного в процентах. Полученные значения отклонения действительного значения коэффициента преобразования вибропреобразователя от номинального значения не должны превышать значения $\pm 10\%$.

9.2 Проводится определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики вибропреобразователя, выраженного в процентах. Полученные значения неравномерности амплитудно-частотной характеристики не должны превышать значений, указанных в таблице 3,

9.3 Проводится определение нелинейности амплитудной характеристики вибропреобразователя, выраженного в процентах. Полученные значения нелинейности амплитудной характеристики не должны превышать значения 2%.

9.4 Проводится проверка подтверждения соответствия вибропреобразователя рабочему эталону 1 разряда по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта № 2772 от 27.12.2018 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений виброперемещения, виброскорости, виброускорения и углового ускорения».

10 Оформление результатов поверки

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

Нанесение знака поверки на вибропреобразователь не предусмотрено.

10.2. Результат поверки вибропреобразователя оформляется передачей сведений о поверке в ФГИС «Аршин» со сроком действия, совпадающим со сроком действия сведений о поверке на вибропреобразователь в целом.

10.3. При отрицательных результатах вибропреобразователь к применению не допускается и результаты оформляются в соответствии с действующими нормативными документами Российской Федерации с указанием причин о непригодности.