

Федеральное автономное учреждение  
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени профессора Н.Е. Жуковского»  
ФАУ «ЦАГИ»

СОГЛАСОВАНО

Начальник отделения измерительной  
техники и метрологии -  
главный метролог ФАУ «ЦАГИ»

В.В. Петроневич

«10» июля 2023 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

**Датчики силоизмерительные тензорезисторные ДТС**

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП 4.28.032-2023

Заместитель начальника НИО-7

А.И. Самойленко

Начальник сектора № 3 НИО-7

С.В. Дыцков

Инженер сектора № 3 НИО-7

А.А. Колпаков

г. Жуковский  
2023

## 1 Общие положения

Настоящая методика поверки применяется для поверки датчиков силоизмерительных тензорезисторных ДТС (далее – датчики), производства ООО «Метротест», респ. Башкортостан, г. Нефтекамск, используемых в качестве рабочих средств измерений и устанавливает методику их первичной и периодической поверки.

Настоящая методика поверки разработана в соответствии с требованиями Приказа № 2907 от 28.08.2020 «Об утверждении порядка установления и изменения интервала между поверками средств измерений, порядка установления, отмены методик поверки и внесения изменений в них, требований к методикам поверки средств измерений».

При определении метрологических характеристик в рамках проводимой поверки обеспечивается передачи единицы силы в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта № 2498 от 22.10.2019 г. «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений силы», подтверждающая прослеживаемость к государственному первичному эталону ГЭТ32-2011.

Метод, обеспечивающий реализацию методики поверки: метод прямых измерений.

## 2 Перечень операций поверки средства измерений

2.1 При проведении поверки должны быть выполнены 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	6
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	7
Определение метрологических характеристик средства измерений: -определение составляющих погрешности, связанных с воспроизводимостью показаний и повторяемостью показаний датчиков, $b$ и $b'$ ; -определение составляющей погрешности, связанной с дрейфом нуля, $f_0$ ; -определение составляющей погрешности, связанной с гистерезисом, $v$ ; - определение составляющей погрешности, связанной с ползучестью, $c$ ; - определение составляющей погрешности, связанной с интерполяцией, $f_c$ ; - оценка относительной погрешности датчика.	Да	Да	8
Подтверждение соответствия метрологическим требованиям	Да	Да	9
Оформление результатов поверки	Да	Да	10

Допускается проведение периодической поверки на меньшем числе поддиапазонов измерений (сокращенная поверка). Поверка в сокращенном объеме проводится на основании письменного заявления владельца средства измерений или лица, представившего средство измерений на поверку, оформленного в произвольной форме.

Проведение поверки отдельных измерительных каналов и (или) отдельных автономных блоков из состава средств измерений не предусмотрено.

При периодической поверке, в соответствии с заявлением владельца СИ, допускается поверка универсальных датчиков только на один тип нагрузки сжатие или растяжение.

### 3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

Температура воздуха, °С ..... от 15 до 25  
 Изменение температуры в течение поверки, °С ..... не более 2  
 Относительная влажность воздуха, %, не более ..... 80  
 Напряжение сети переменного тока, В .....  $220 \pm 22$   
 Частота сети, Гц .....  $50 \pm 1$

### 4 Метрологические и технические требования к средствам поверки

При проведении поверки применяются средства поверки, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 7 Контроль условий поверки (подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Средства измерений температуры от 15 до 25 °С с абсолютной погрешностью не более 1 °С; Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 20 до 90 %, с погрешностью не более 5 %	Измеритель влажности и температуры ИВТМ
п. 8 Определения метрологических характеристик	Машины силовоспроизводящие, обеспечивающие расширенную относительную неопределенность измерений действительных значений погрешности, не превышающую 1/3 от пределов допускаемой погрешности конкретного датчика согласно государственной поверочной схеме для средств измерений силы, утвержденной приказом Росстандарта № 2498 от 22 октября 2019 г.; Средства измерений электрических сигналов от первичных преобразователей физических величин (тензорезистивная мостовая схема) в виде отношения напряжений мВ/В, верхний предел коэффициента преобразования от $\pm 1$ до $\pm 5$ мВ/В, класс точности 0,002 % или Средства измерений напряжения постоянного тока с диапазоном измерений от 0 до 100 мВ, пределы допускаемой основной абсолютной погрешности $\pm(9 \cdot 10^{-6} \cdot U + 3,5 \cdot 10^{-7})$ В, где U – измеренное значение напряжения, В.	Силовоспроизводящие машины 1-го или 3-го разряда  Аппаратура тензометрическая АИСТ МС-6 (рег. № 79841-20)  Мультиметр 3458А (рег. 77012-19)

	Источник питания постоянного тока с диапазоном выходного напряжения от 5 до 20 В.	Источник питания постоянного тока GPR (рег. № 55898-13)
Примечание – Допускается использовать при поверке другие аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.		

Эталоны единиц величин и средства измерений, применяемые в методике поверки в качестве эталонов единиц величин, должны удовлетворять требованиям по точности государственных поверочных схем.

## **5 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки**

5.1 При проведении поверки соблюдают требования безопасности ГОСТ 12.3.019-80 и требования безопасности, указанные в эксплуатационной документации на поверяемые датчики, а также на используемое поверочное, испытательное и вспомогательное оборудование.

## **6 Внешний осмотр**

6.1 При внешнем осмотре проверяют комплектность поверяемых датчиков, отсутствие видимых повреждений, наличие необходимой маркировки, соответствие внешнего вида требованиям эксплуатационной документации и ее соответствие утвержденному типу.

## **7 Подготовка к поверке и опробование**

7.1 Поверяемые датчики и средства поверки следует подготовить к работе в соответствии с технической документацией на них.

7.2 Проверяют наличие действующей поверки (аттестации) у средств поверки.

7.3 В случае необходимости, выдерживают датчики при постоянной температуре окружающей среды для надежного выравнивания температуры не менее 6 ч., если датчики находились в условиях, отличающихся от указанных в п. 3.

7.4 В помещении где будет проводиться поверка датчиков должен осуществляться контроль внешних условий поверки при помощи средств измерений влажности и температуры.

### **7.6 Опробование**

7.6.1 При опробовании проверяют соответствие функционирования датчиков требованиям эксплуатационной документации.

## **8 Определение метрологических характеристик**

Установить датчик в рабочее пространство силовоспроизводящей машины (далее по тексту – машины) и подобрать оснастку для нагружения. Оснастка для нагружения подбирается таким образом, чтобы линия приложения силы не искажалась. При приложении силы растяжения, как правило, датчики монтируются с помощью оснастки с двумя шаровыми подшипниками. При приложении силы сжатия рекомендуется монтировать датчики с помощью одной или двух силопередающих опор, одна из которых должна иметь в своем составе шарнирное соединение.

Подключить датчик ко вторичной аппаратуре (измерительному усилителю или вольтметру и источнику питания постоянного тока) согласно электрической схеме, приведенной в паспорте.

Провести предварительное нагружение (обжатие) датчика. Для этого необходимо нагрузить датчик силой равной его номинальному усилию в заданном режиме (растяжение или сжатие) и выдержать в течении 20-30 минут.

Показания вторичной аппаратуры при предварительном нагружении (обжатии) не записываются.

Нагрузить датчик двумя сериями эталонных сил только с возрастающими значениями силы при одном положении датчика в рабочем пространстве эталонной машины. Регистрировать соответствующие показания вторичной аппаратуры  $X_1$ ,  $X_2$  на каждой ступени нагрузки.

Затем нагрузить и разгрузить датчик двумя сериями силы с возрастающими и убывающими значениями силы в положениях с поворотом на  $120^\circ$  и  $240^\circ$  (рисунок 1) относительно первоначального положения. Регистрировать соответствующие показания вторичной аппаратуры  $X_3$ ,  $X_5$  (при нагружении) и  $X_4$ ,  $X_6$  (при разгрузении) на каждой ступени нагрузки.

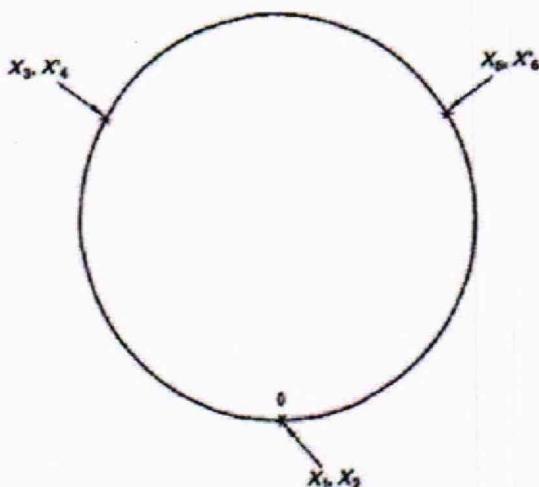


Рисунок 1 – Схема поворотов датчика в рабочем пространстве машины

Каждая серия нагружения (разгружения) должна содержать не менее пяти ступеней, по возможности, равномерно распределенных по диапазону измерений датчика, включая нижний предел измерений (или граница поддиапазона измерений) и номинальное усилие.

Следует соблюдать временной интервал не менее 3 мин и не более 60 мин между последовательными сериями нагрузки. Временные интервалы между двумя последовательными нагружениями должны быть по возможности одинаковыми.

Силвоспроизводящая машина подбирается таким образом, чтобы она могла охватить весь диапазон измерений силы поверяемого датчика. Если диапазоны измерений силы у поверяемого датчика и машины не совпадают, то датчик дополнительно устанавливается на другую машину. Сначала используется машина, которая позволяет обеспечить нагружения до номинального усилия датчика.

Если датчик применяют только для возрастающей нагрузки, то при проверке определяют вместо гистерезиса характеристику ползучести. При этом записывают

показания на 30 с и 300 с после приложения максимальной нагрузки, в каждом из режимов приложения силы. Если ползучесть измеряется при нулевой силе, датчик должен быть предварительно нагружен максимальной силой и выдержан под нагрузкой в течение 60 с. Определение ползучести может проводиться в любое время после предварительной нагрузки.

### 8.1 Определение составляющих погрешностей датчика

8.1.1 Составляющие погрешности  $b$  и  $b'$ , связанные с воспроизводимостью и повторяемостью показаний.

Эти составляющие погрешности рассчитываются для каждой ступени прикладываемой силы при вращении датчика ( $b$ ) и без вращения ( $b'$ ), с помощью следующих уравнений:

$$b = \left| \frac{X_{max} - X_{min}}{\bar{X}_r} \right| \times 100 \%,$$

$$\text{где } \bar{X}_r = \frac{X_1 + X_3 + X_5}{3}$$

$$b' = \left| \frac{X_2 - X_1}{\bar{X}_{wr}} \right| \times 100 \%,$$

$$\text{где } \bar{X}_{wr} = \frac{X_1 + X_2}{2}$$

Результаты вычислений для каждой ступени нагрузки занести в протокол поверки.

### 8.1.2 Составляющая погрешности $f_0$ , связанная с дрейфом нуля.

До и после каждой серии испытаний следует записывать показания без нагрузки. Нулевое показание следует регистрировать примерно через 30 сек. после того, как нагрузка полностью снята.

Составляющая погрешности, связанная с дрейфом нуля рассчитывается по формуле:

$$f_0 = \frac{i_f - i_0}{X_N} \times 100 \%,$$

где  $i_0$  и  $i_f$  – показания датчика до приложения нагрузки и после разгрузки соответственно;

$X_N$  – показания датчика при максимальном усилии.

Результаты вычислений для каждой ступени нагрузки занести в протокол поверки.

### 8.1.3 Составляющая погрешности $v$ , связанная с гистерезисом.

Составляющая погрешности, связанная с гистерезисом определяется при сериях нагружения с возрастающими силами и затем с уменьшающимися силами.

Разность между значениями, полученными для обеих серий с возрастающими силами и с убывающими силами, позволяет рассчитать составляющую погрешности, связанную с гистерезисом, используя следующие уравнения:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2},$$

$$\text{где } v_1 = \left| \frac{X'_4 - X_3}{X_3} \right| \times 100 \% , v_2 = \left| \frac{X'_6 - X_5}{X_5} \right| \times 100 \%$$

Результаты вычислений для каждой ступени нагрузки занести в протокол поверки.

8.1.4 Составляющая погрешности  $c$ , связанная с ползучестью.

Рассчитать разницу выходного сигнала  $i_{30}$ , полученного на 30 с и  $i_{300}$ , полученного на 300 с после приложения или снятия максимальной силы, выразить эту разницу в процентах от максимального отклонения по формуле:

$$c = \left| \frac{i_{300} - i_{30}}{X_N} \right| \times 100 \%$$

Результаты вычислений для каждой ступени нагрузки занести в протокол поверки.

8.1.5 Составляющая погрешности  $f_c$ , связанная с интерполяцией.

Для каждой ступени нагружения относительную погрешность градуировочной характеристики рассчитывают по формуле:

$$f_c = \frac{\bar{X}_r - X_a}{X_a} \times 100 \%,$$

где  $\bar{X}_r$  по 8.1.1;

$X_a$  – значение, рассчитанное по градуировочной характеристике  $X_a = A_0 + A_1 * F + A_2 * F^2 + A_3 * F^3$ , где  $A_0, A_1, A_2, A_3$  – коэффициенты аппроксимирующего полинома, мВ/В;  $F$  – отношение приложенной нагрузки к номинальной  $F_i / F_{ном}$ .

Примечание – Допускается при аппроксимации использовать полином первой или второй степени.

Результаты вычислений для каждой ступени нагрузки занести в протокол поверки.

8.2 Оценка относительной погрешности датчика

Относительная погрешность  $\delta$ , в которой с вероятностью 0,95 лежит значение погрешности оценивается по формуле:

$$\delta = \bar{f}_c \pm W,$$

где  $\bar{f}_c$  – максимальное полученное значение относительной погрешности градуировочной характеристики;

$W$  – относительная расширенная неопределенность определения погрешности градуировочной характеристики датчика, рассчитанная для каждой нагрузки по формуле:

$$W = k \times w_c,$$

$$w_c = \sqrt{w_1^2 + w_2^2 + w_3^2 + w_4^2 + w_5^2 + w_6^2}$$

где  $k = 2$ , для уровня доверия 0,95;

$w_1$  - относительная стандартная неопределенность, связанная с приложенной эталонной силой;

$w_2 = \frac{1}{|X_r|} \times \sqrt{\frac{1}{6} \times \sum_{i=1,3,5} (X_i - \bar{X}_r)^2} \times 100\%$  - относительная стандартная неопределенность, связанная с воспроизводимостью результатов измерений;

$w_3 = \frac{b'}{\sqrt{3}}$  - относительная стандартная неопределенность, связанная с повторяемостью результатов измерений;

$w_4 = \frac{\Delta U_i}{\sqrt{6} \times U_{icp}} \times 100\%$  - относительная стандартная неопределенность, связанная с применяемой вторичной аппаратурой, где  $\Delta U_i$  [мВ/В] - абсолютная погрешность вторичной аппаратуры измерения выходного сигнала датчика на ступени нагрузки,  $U_{icp}$  - среднее значение выходного сигнала датчика на ступени нагрузки;

$w_5 = \frac{v}{\sqrt{3}}$  - относительная стандартная неопределенность, связанная с гистерезисом, учитывается, если поверка датчика проводилась при возрастающей и убывающей нагрузках;

$w_5 = \frac{c}{\sqrt{3}}$  - относительная стандартная неопределенность, связанная с ползучестью, учитывается, если поверка датчика проводилась только при возрастающей нагрузке;

$w_6 = f_0$  - относительная стандартная неопределенность, связанная с дрейфом нуля.

## 9 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

Результаты поверки считаются положительными, если полученные значения не превышают соответствующих пределов допускаемой погрешности ( $\pm 0,36$ ;  $\pm 0,5$ ;  $\pm 1,0$ ;  $\pm 2,0\%$ ), что выражается неравенством:

$$|\bar{f}_c| + W \leq |\delta|,$$

Примечание - Конкретное значение пределов допускаемой относительной погрешности измерений силы указывается в паспорте.

## 10 Оформление результатов поверки

Сведения о результатах поверки датчиков в соответствии с действующем законодательством в области обеспечения единства измерений РФ передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

По заявлению владельца средств измерений или лица, представившего его на поверку, на средство измерений:

- при положительных результатах поверки выдается свидетельство о поверке и (или) в паспорт вносится запись о проведенной поверке, заверяемая подписью поверителя и знаком поверки, с указанием даты поверки.

- при отрицательных результатах поверки выдается извещение о непригодности к применению средства измерений.

Результаты поверки заносят в протокол. Рекомендуемая форма протокола поверки приведена в Приложении А.

