

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. Петров
« 20 » 02 2026 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Датчики силоизмерительные тензорезисторные

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП 4.28.049-2026

Заместитель начальника НИО-7

 А.И. Самойленко

Начальник сектора № 3

 С.В. Дыцков

Инженер 1 категории

 А.А. Колпаков

г. Жуковский
2026

1 Общие положения

Настоящая методика поверки применяется для поверки датчиков силоизмерительных тензорезисторных (далее – датчики), используемых в качестве средств измерений и устанавливает методику их первичной и периодической поверки.

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 передача 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 и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям: -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
Оформление результатов поверки	Да	Да	9

2.2 Поверка для меньшего числа измеряемых величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений (сокращенная поверка) не предусмотрена.

2.3 Для датчиков ДСТУ допускается проведение поверки на один тип нагрузки «сжатие» или «растяжение» с указанием в сведениях о результатах поверки информации о объеме выполненной поверки. Поверка на один тип нагрузки проводится на основании письменного заявления владельца средства измерений или лица, представившего средство измерений на поверку, оформленного в произвольной форме.

2.4 Допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов из состава средства измерений с указанием в сведениях о результатах поверки информации о количестве и обозначении поверенных измерительных каналов. Поверка отдельных измерительных каналов проводится на основании письменного заявления владельца средства измерений или лица, представившего средство измерений на поверку, оформленного в произвольной форме.

3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

Температура воздуха, °C от 15 до 25

Изменение температуры в течение поверки, °C не более 2

Относительная влажность воздуха, %, не более.....80

Напряжение сети переменного тока, В 220 ± 22

Частота сети, Гц 50 ± 1

4 Метрологические и технические требования к средствам поверки

4.1 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 (подготовка к поверке и опробование средства измерений)	Средства измерений температуры от 15 до 25 °C с абсолютной погрешностью не более ± 1 °C; Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 20 до 90 %, с погрешностью не более ± 5 %	Измеритель влажности и температуры ИВТМ (рег. № 71394-18)
п. 8 Определения метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений	Эталоны единицы силы в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений силы, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 октября 2019 г. № 2498, с относительной погрешностью не более $\pm 0,2$ %;	Машины силовоспроизводящие гидравлические МС (рег. № 86729-22)

метрологическим требованиям	Средства измерений электрических сигналов от первичных преобразователей физических величин (тензорезистивная мостовая схема) в виде отношения напряжений мВ/В, верхний предел измерений коэффициента преобразования не менее ± 5 мВ/В, пределы допускаемой приведенной погрешности к верхнему пределу диапазона измерений не более $\pm 0,03$ %.	Комплексы измерительно-вычислительные специализированные ИВК М2М (рег. № 73424-18)
Примечание – по п. 8 соотношение суммарной погрешности средств поверки и поверяемого датчика не должно превышать 1/3.		

4.2 Допускается применять другие средства поверки с метрологическими характеристиками, обеспечивающими требуемую точность.

4.3 Применяемые при поверке средства измерений должны быть утвержденного типа, а сведения о результатах их поверки опубликованы в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений. Срок действия поверки применяемых при поверке средств измерений должен быть действующим на момент проведения поверки.

4.4 Эталоны единиц величин, применяемые при поверке, должны быть аттестованы и иметь действующие свидетельства об аттестации.

5 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

5.1 При проведении поверки соблюдают требования безопасности труда и пожарной безопасности, действующими на месте проведения поверки, а также правила безопасности при эксплуатации эталонных силовоспроизводящих машин и поверяемых датчиков, приведенных в их эксплуатационных документах.

6 Внешний осмотр

6.1 При внешнем осмотре проверяют:

- соответствие внешнего вида и маркировки описанию типа и эксплуатационной документации;
- резьбовые соединения и разъемы должны быть целыми и не иметь дефектов, препятствующих присоединению;
- отсутствие механических повреждений и дефектов, влияющих на работоспособность.

6.2 Результаты внешнего осмотра считаются положительными, если датчик удовлетворяет вышеперечисленным требованиям.

7 Подготовка к поверке и опробование

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

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

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

7.4 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.

7.5 Подключить датчик ко вторичной аппаратуре в соответствии с указанной в эксплуатационной документации электрической схемой;

7.6 Опробование

7.6.1 При опробовании проверяют соответствие функционирования датчиков требованиям эксплуатационной документации, а именно:

- выполнить с помощью машины несколько нагружений силой, не превышающей значение верхнего предела измерений датчика;
- убедиться, что под действием приложенной силы происходит изменение выходного сигнала.

7.6.2 Результаты опробования считаются положительными, если выходной сигнал изменяется пропорционально приложенной силе.

8 Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

Провести предварительное нагружение (обжатие) датчика. Для этого необходимо нагрузить датчик силой равной его верхнему пределу измерений в заданном режиме (растяжение или сжатие) и выдержать в течении 20-30 мин. Показания вторичной аппаратуры при предварительном нагружении (обжатии) не записываются.

После предварительного нагружения (обжатия) произвести обнуление вторичной аппаратуры. В случае отсутствия данной функции у вторичной аппаратуры показания на каждой ступени нагрузки рассчитать по формуле (1):

$$X_i = X_{\text{изм}} - X_0, \quad (1)$$

где X_i – выходной сигнал датчика на i -й ступени с учетом сигнала без нагрузки, мВ/В;
 $X_{\text{изм}}$ – измеренные значения выходного сигнала датчика на i -й ступени, мВ/В;
 X_0 – выходной сигнал датчика без нагрузки, мВ/В.

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° и 240° (рисунок 1) относительно первоначального положения (повороты датчиков ДДР реализованы за счет вращения корпуса с чувствительным элементом, расположенным между двух вилок). Регистрировать соответствующие показания вторичной аппаратуры X_3 , X_5 (при нагружении) и X_4 , X_6 (при разгрузке) на каждой ступени нагрузки.

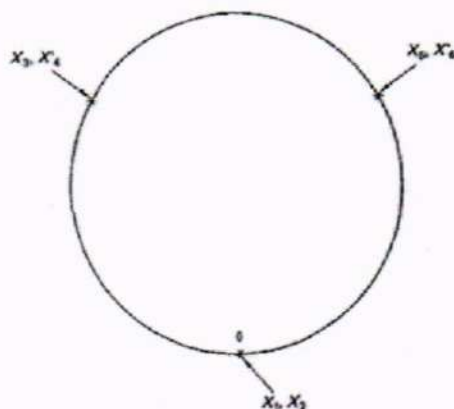


Рисунок 1 – Схема поворотов датчика в рабочем пространстве машины

Каждая серия нагружения (разгружения) должна содержать не менее пяти ступеней, по возможности, равномерно распределенных по диапазону измерений датчика, включая нижний и верхний пределы измерений силы.

Следует соблюдать временной интервал не менее 3 мин и не более 60 мин между последовательными сериями нагружения (разгружения). Временные интервалы между двумя последовательными сериями нагружения (разгружения) должны быть по возможности одинаковыми.

Если датчик применяют только для возрастающей нагрузки, то при поверке 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 предварительного нагружения.

8.1 Определение составляющих погрешности датчика

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

Эти составляющие погрешности рассчитываются для каждой ступени нагрузки при вращении датчика (b) и без вращения (b'), с помощью формул (2) - (5):

$$b = \left| \frac{X_{max} - X_{min}}{\bar{X}_r} \right| \times 100 \%, \quad (2)$$

$$\text{где } \overline{X_r} = \frac{X_1 + X_3 + X_5}{3} \quad (3)$$

$$b' = \left| \frac{X_2 - X_1}{\overline{X_{wr}}} \right| \times 100 \%, \quad (4)$$

$$\text{где } \overline{X_{wr}} = \frac{X_1 + X_2}{2} \quad (5)$$

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 нагружений следует записывать показания без нагрузки. Нулевое показание следует регистрировать через 30 с после того, как нагрузка полностью снята.

Составляющая погрешности, связанная с дрейфом нуля рассчитывается по формуле (6):

$$f_0 = \frac{x_f - x_0}{X_N} \times 100 \%, \quad (6)$$

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

X_N – показания датчика при верхнем пределе измерений.

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 нагрузки 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 формулы (7) – (9):

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2}, \quad (7)$$

$$\text{где } v_1 = \left| \frac{X'_4 - X_3}{X_3} \right| \times 100 \%, \quad v_2 = \left| \frac{X'_6 - X_5}{X_5} \right| \times 100 \% \quad (8); (9)$$

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 (10):

$$c = \left| \frac{i_{300} - i_{30}}{X_N} \right| \times 100 \% \quad (10)$$

Результаты вычислений для каждой ступени нагрузки занести в протокол поверки.

8.1.5 Составляющая погрешности f_c , связанная с интерполяцией

Для каждой ступени нагрузки относительную погрешность градуировочной характеристики рассчитывают по формуле (11):

$$f_c = \frac{\bar{X}_r - X_a}{X_a} \times 100 \%, \quad (11)$$

где $\bar{X}_r$ – среднее значение выходного сигнала в положениях X_1 , X_3 и X_5 на i -й ступени нагрузки;

X_a – значение выходного сигнала, рассчитанное по градуировочной характеристике вида (12):

$$X_a = A_0 + A_1 \cdot F + A_2 \cdot F^2 + A_3 \cdot F^3, \quad (12)$$

где A_0 , A_1 , A_2 , A_3 – коэффициенты аппроксимирующего полинома;
 F – отношение приложенной нагрузки к верхнему пределу измерений датчика $F_i/F_{\text{ном}}$.
Результаты вычислений для каждой ступени нагрузки занести в протокол поверки.

8.2 Оценка относительной погрешности датчика

8.2.1 Относительная погрешность δ , в которой с вероятностью 0,95 лежит значение погрешности оценивается по формуле (13):

$$\delta = \bar{f}_c \pm W, \quad (13)$$

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

W – относительная расширенная неопределенность определения погрешности градуировочной характеристики датчика, рассчитанная для каждой ступени нагрузки по формуле (14):

$$W = k \times w_c, \quad (14)$$

$$\text{где } w_c = \sqrt{w_1^2 + w_2^2 + w_3^2 + w_4^2 + w_5^2 + w_6^2} \quad (15)$$

$k = 2$, для уровня доверия 0,95;

w_1 – относительная стандартная неопределенность, связанная с приложенной эталонной силой, деленной на значение k ;

w_2 – относительная стандартная неопределенность, связанная с воспроизводимостью результатов измерений;

$$w_2 = \frac{1}{|\bar{X}_r|} \times \sqrt{\frac{1}{6} \times \sum_{i=1,3,5} (X_i - \bar{X}_r)^2} \times 100\% \quad (16)$$

w_3 – относительная стандартная неопределенность, связанная с повторяемостью результатов измерений;

$$w_3 = \frac{b}{\sqrt{3}} \quad (17)$$

w_4 — относительная стандартная неопределенность, связанная с применяемой вторичной аппаратурой, где ΔU_i (мВ/В) — абсолютная погрешность вторичной аппаратуры измерения выходного сигнала датчика на ступени нагрузки, U_{icp} — среднее значение выходного сигнала датчика на ступени нагрузки, мВ/В;

$$w_4 = \frac{\Delta U_i}{\sqrt{6} \times U_{icp}} \times 100 \% \quad (18)$$

w_5 — относительная стандартная неопределенность, связанная с гистерезисом, учитывается, если поверка датчика проводилась при возрастающих и убывающих нагрузках;

$$w_5 = \frac{v}{\sqrt[3]{3}} \quad (19)$$

w_5 — относительная стандартная неопределенность, связанная с ползучестью, учитывается, если поверка датчика проводилась только при возрастающей нагрузке;

$$w_5 = \frac{c}{\sqrt{3}} \quad (20)$$

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

8.2.2 Результаты поверки считаются положительными, если полученные значения относительной погрешности не превышают установленных в описании типа пределов ($\pm 1 \%$), что выражается неравенством (21):

$$|\bar{f}_c| + W \leq |\delta| \quad (21)$$

В случае, если неравенства не выполняется, допускается переопределить коэффициенты аппроксимирующего полинома по полученным опытными данным (по всем ступеням нагрузки). Повторить указанные в п. 8.1 – 8.2 расчеты и выполнить проверку соответствия метрологических характеристик поверяемого датчика установленным требованиям неравенства. В случае выполнения неравенства полученные коэффициенты аппроксимирующего полинома внести в паспорт датчика с указанием даты их определения.

Примечание — Допускается при аппроксимации использовать полином первой или второй степени. Для определения градуировочной характеристики в программе зависимости показаний датчика от отношения приложенной нагрузки к верхнему

пределу измерений $F_i/F_{ном}$. В окне диаграммы щелкнуть правой клавишей мыши на полученном графике и в открывшемся меню выбрать пункт «добавить линию тренда», выбрать тип «Полиномиальная», во вкладке «Параметры» поставить галочку рядом с пунктом «Показывать уравнения на диаграмме». В окне диаграммы появится уравнение интерполяции.

9 Оформление результатов поверки

Сведения о результатах поверки датчиков в соответствии с действующим 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 поверки.