

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-
исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»
Уральский научно-исследовательский институт метрологии - филиал
Федерального государственного унитарного предприятия
«Всероссийский научно-исследовательский институт
метрологии им. Д.И. Менделеева»
(УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»)

СОГЛАСОВАНА:



Директор УНИИМ – филиала
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Собина Е.П.

«28» 12 2024 г.

ГСИ. Тензорезисторы ВЖ.

Методика поверки

МП 81-233-2024

Екатеринбург

2024 г.

Разработана: Уральским научно-исследовательским институтом метрологии – филиалом
Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский
научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»
(УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»)

Исполнители: И.о. заведующего лабораторией 233 УНИИМ – Трибушевская Л.А.
филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Инженер II кат. лаборатории 233 УНИИМ – Осипов Л.Е.
филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Согласована УНИИМ – филиалом ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

« 28 » 12 2024 г.

Введена впервые

СОДЕРЖАНИЕ

1	ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	1
2	НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	2
3	ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	3
4	ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ	4
5	ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ	4
6	МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ	5
7	ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ	7
8	ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	7
9	ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	8
10	ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ	8
10.1	Определение относительного отклонения электрического сопротивления тензорезисторов в партии от номинального.....	8
10.2	Определение среднего значения чувствительности и среднего квадратического отклонения чувствительности в партии при нормальных условиях.....	9
10.3	Определение среднего относительного значения часовой ползучести и СКО часовой ползучести в партии при нормальных условиях.....	11
10.4	Определение ТХС, СКО погрешности аппроксимации ТХС, максимального абсолютного значения ТХС в рабочей области значений температуры и СКО значения ТХС при максимальной температуре.....	12
10.5	Определение среднего значения ТКЧ при максимальной (минимальной) температуре и СКО ТКЧ при максимальной (минимальной) температуре.....	13
10.6	Проверка воспроизводимости среднего значения чувствительности и СКО чувствительности в партии при нормальных условиях.....	14
11	ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ	16
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	17

Государственная система обеспечения единства измерений

Тензорезисторы ВЖ

Методика поверки

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на тензорезисторы ВЖ (далее - тензорезисторы), изготавливаемые ООО Торговый Дом «ЮгВесСтрой», Россия и ООО «Высокоточные измерения», Россия и устанавливает объем и последовательность операций первичной поверки.

1.2 При проведении поверки должна обеспечиваться прослеживаемость тензорезисторов к Государственному первичному эталону единицы длины – метра ГЭТ 2-2021 путем применения эталона единицы деформации в диапазоне значений от минус 5000 до плюс 5000 млн^{-1} в соответствии с документом СМК 02 СТО 47-2020 «Метрологическое обеспечение. Локальная поверочная схема для средств измерений деформации», утвержденным УНИИМ - филиалом ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» в 2021 г.

1.3 Методы, обеспечивающие реализацию методики поверки – методы прямых и косвенных измерений.

1.4 Настоящая методика поверки применяется для поверки тензорезисторов ВЖ, используемых в качестве рабочего средства измерений.

1.5 В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение для исполнений		
	ВЖФ, ВЖЖ	ВЖН	ВЖП
Диапазон измерений деформации, млн^{-1}	от -2000 до +2000		
Номинальное электрическое сопротивление, Ом*	от 60 до 350		от 60 до 120
Предельное относительное отклонение электрического сопротивления в партии от номинального, %	$\pm 3,0$		
Среднее значение чувствительности при нормальных условиях**	от 1,8 до 2,8		от 3,3 до 4,5
Среднее квадратическое отклонение (СКО) чувствительности в партии при нормальных условиях**, %, не более	3,0		
Пределы относительного среднего значения часовой ползучести, при нормальных условиях**, %	$\pm 2,0$		
СКО часовой ползучести, при нормальных условиях**, %, не более	1,0		
Температурная характеристика сопротивления (ТХС), млн^{-1}	$\xi(t) = C_0 + C_1 \cdot t + C_2 \cdot t^2 + C_3 \cdot t^3 + \dots + C_n \cdot t^n$ где t – температура в $^{\circ}\text{C}$; $C_0, C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ – коэффициенты		

Наименование характеристики	Значение для исполнений		
	ВЖФ, ВЖЖ	ВЖН	ВЖП
СКО погрешности аппроксимации ТХС, млн ⁻¹	1000		
Максимальное абсолютное значение ТХС в рабочей области значений температуры, млн ⁻¹	20000	50000	300000
СКО значения ТХС при максимальной температуре, млн ⁻¹	10000		
Пределы среднего значения температурного коэффициента чувствительности (ТКЧ) при максимальной (минимальной) температуре, %·°C ⁻¹	от -0,036 до -0,018	от -0,008 до 0,003	от - 0,07 до -0,04
Среднее квадратическое отклонение ТКЧ при максимальной (минимальной) температуре, %·°C ⁻¹ , не более	0,02		
*Фактические значения технических характеристик приводятся в паспорте на партию тензорезисторов; **Нормальные условия согласно ГОСТ 21616-91			

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

2.1 В настоящей методике использовались ссылки на следующие документы:

ГОСТ 12.1.004-91	Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования;
ГОСТ 12.2.003-91	ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности;
ГОСТ 12.2.007.0-75	ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности;
ГОСТ 20420-75	Тензорезисторы. Термины и определения;
ГОСТ 21616-91	Тензорезисторы. Общие технические условия;
ГОСТ Р ИСО 2859-1-2007	Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 1. Планы выборочного контроля последовательных партий на основе приемлемого уровня качества

Примечание - При использовании настоящей методики целесообразно проверить действие ссылочных документов. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящей методикой следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то раздел, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

2.2 В настоящей методике используются термины и определения, приведённые в ГОСТ 20420, а также приняты следующие сокращения:

СКО – среднее квадратическое отклонение;

ТХС – температурная характеристика сопротивления;

ТКЧ – температурный коэффициент чувствительности.

3 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

3.1 Первичную поверку тензорезисторов выполняют при выпуске из производства до ввода в эксплуатацию в срок не превышающий гарантийный срок, установленный производителем, 1 год.

3.2 Периодическую поверку выполняют по истечению срока действия первичной поверки до ввода в эксплуатацию.

3.3 При проведении первичной поверки тензорезисторов должны быть выполнены операции, указанные в таблице 3.1.

3.4 Число тензорезисторов (объем выборки) подвергающихся проверке, в зависимости от операций поверки, должно составлять:

- 100 % партии для проведения операций по 8, 9, 10.1 МП;
- не менее 8 шт. для проведения операций по 10.2 - 10.5 таблицы 3.1.

3.5 При поверке для проведения операций по 8, 10.1, таблицы 3.1 допускается проведение поверки на основании выборки, формируемой на основе нормального контроля при общем уровне контроля III ГОСТ Р ИСО 2859-1-2007 (одноступенчатый выборочный плану с приемочным числом 0, с предельно допустимым уровнем несоответствий $AQL = 0,010$ % (приложение А)).

3.6 Порядок операций поверки не является обязательным. Операции допускается совмещать. Допускается использовать одни и те же тензорезисторы для различных операций поверки, если исключены демонтаж, повторный монтаж тензорезисторов.

Таблица 3.1 – Операции поверки

Наименование операции	Обязательность проведения операций при		Номер пункта методики поверки
	первичной поверке	периодической поверки	
Внешний осмотр	Да	Да	8
Подготовка к поверке	Да	Да	9
Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия метрологическим требованиям	Да	Да	10
Определение относительного отклонения электрического сопротивления тензорезисторов в партии от номинального	Да	Да	10.1
Определение среднего значения чувствительности и СКО чувствительности в партии при нормальных условиях	Да	Да	10.2

Наименование операции	Обязательность проведения операций при		Номер пункта методики поверки
	первичной поверке	периодической поверки	
Определение среднего относительного значения часовой ползучести и СКО часовой ползучести в партии при нормальных условиях	Да	Да	10.3
Определение ТХС, СКО погрешности аппроксимации ТХС, максимального абсолютного значения ТХС в рабочей области значений температуры и СКО значения ТХС при максимальной температуре	Да*	Да*	10.4
Определение среднего значения ТКЧ при максимальной (минимальной) температуре и СКО ТКЧ при максимальной (минимальной) температуре	Да*	Да*	10.5
Проверка воспроизводимости среднего значения чувствительности и СКО чувствительности в партии при нормальных условиях	Нет	Да	10.6
* – характеристики ТХС и ТКЧ определяют при температурах выше 20 °С. Характеристики ТХС и ТКЧ в рабочей области значений температур, включая отрицательные температуры, определяют по заявке. Рабочая область значений температуры может быть уточнена в сторону её уменьшения по заявке заказчика.			

4 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

4.1 При выполнении испытаний должны соблюдаться следующие условия, если иное не оговорено особо:

- температура окружающей среды, °С от 18 до 25;
- относительная влажность, % от 30 до 80;
- атмосферное давление, кПа от 96 до 104;
- изменение температуры за время измерений, °С ± 2;
- изменение влажности за время измерений, % ± 5.

4.2 Вибрация, тряска, удары, магнитные поля, должны отсутствовать, что оценить по отсутствию изменений показаний индикатора установки с балками постоянного сечения.

5 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

5.1 К проведению работ по поверке тензорезисторов допускаются лица, прошедшие специальное обучение на поверителя, ознакомившиеся с эксплуатационной документацией на тензорезисторы, работающие в метрологической службе предприятия, аккредитованной на право поверки средств измерений, ознакомившиеся с настоящей методикой поверки.

5.2 Персонал, выполняющий поверку, должен иметь опыт практической работы с аналогичными средствами измерений.

5.3 К работам по поверке могут быть допущены лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности и безопасной работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В.

5.4 Монтаж тензорезисторов может быть осуществлен силами заказчика.

6 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки тензорезисторов должны применяться средства поверки, указанные в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
Раздел 9 Подготовка к поверке и опробование средства измерений; Раздел 10 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия метрологическим требованиям	Средства измерений температуры, относительной влажности и атмосферного давления с диапазонами измерений, охватывающими условия раздела 4, пределы основной абсолютной погрешности измерения влажности $\pm 2\%$, пределы абсолютной погрешности измерения температуры $\pm 1^\circ\text{C}$, пределы абсолютной погрешности измерения атмосферного давления $\pm 3\text{ кПа}$	Прибор комбинированный для контроля параметров окружающей среды MeteoSmart, мод. MeteoSmart 1.3, исполнение Пп, рег. № 76455-19, диапазон измерения относительной влажности от 5 % до 95 %, $\Delta = \pm 2\%$, диапазон измерения температуры от -10°C до $+60^\circ\text{C}$, $\Delta = \pm 0,4^\circ\text{C}$, диапазон измерений абсолютного давления от 300 до 1200 гПа, $\Delta = \pm 3\text{ гПа}$
10.1 Определение относительного отклонения электрического сопротивления тензорезисторов в партии от номинального	Омметр, диапазон измерений от 50 до 1000 Ом; $\delta = \pm 0,1\%$	Мультиметры цифровые DMM4040, DMM4050, мод. DMM 4050, рег. № 43826-10, диапазон измерений электрического сопротивления от $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^9$ Ом, $\delta = \pm (2,01 \cdot 10^{-2})\%$
10.2 Определение среднего значения чувствительности и СКО чувствительности в партии при нормальных условиях; 10.3 Определение среднего относительного значения часовой ползучести и СКО часовой ползучести в партии при нормальных условиях	Установка с балками постоянного сечения, нагружаемыми по схеме чистого изгиба, $\delta = \pm 1\%$ в диапазонах измерений от 500 до 1000 млн⁻¹ и от -500 до -1000 млн⁻¹; Секундомер, диапазон измерений от 0 до 600 с, $\Delta = \pm 0,6\text{ с}$	Исходный эталон по ЛПС* единицы деформации в диапазоне значений от -5000 до +5000 млн⁻¹, рег. № 3.1.ZZB.0402.2021 Секундомеры механические СОПр и СОСпр, мод. СОСпр-26-2, рег. № 11519-11, диапазон измерений от 0 до 600 с, $\Delta = \pm 0,6\text{ с}$
10.4 Определение ТХС, СКО погрешности аппроксимации ТХС, максимального абсолютного значения	Термокриокамера: точность поддержания температуры $\pm 2^\circ\text{C}$ в диапазоне от -70°C до $+20^\circ\text{C}$; печь: диапазон воспроизведения	Термокриокамера с диапазоном температур, соответствующим рабочему диапазону тензорезисторов, точность

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
ТХС в рабочей области значений температуры и СКО значения ТХС при максимальной температуре	температур от 20 °С до 1200 °С, точность поддержания температуры ± 2 °С в диапазоне до 223 °С и $\pm 0,01 \cdot (t - 23)$ °С в диапазоне свыше 223 °С; образец с коэффициентом линейного расширения близким к значению $12 \cdot 10^{-6}$, не должен иметь остаточных напряжений, при испытаниях в нем не должно возникать температурных напряжений; Вместо печи и образца допускается использовать средства поверки по 10.6.	поддержания температуры ± 2 °С в диапазоне от -70 °С до +100 °С; Установка с балками постоянного сечения, нагружаемыми по схеме чистого изгиба, рег. № 92055-24, диапазон измерений при высокотемпературных испытаниях от -1000 до +1000 млн ⁻¹ , предел неравномерности поля деформации рабочей зоны балки ± 20 млн ⁻¹ ; диапазон рабочих температур соответствует рабочему диапазону тензорезисторов
10.5 Определение среднего значения ТКЧ при максимальной (минимальной) температуре и СКО ТКЧ при максимальной (минимальной) температуре	Установка с балками постоянного сечения, нагружаемыми по схеме чистого изгиба, с диапазоном измерений от -1000 до +1000 млн ⁻¹ . Предел неравномерности поля деформации рабочей зоны балки ± 20 млн ⁻¹ . Погрешность задания среднего значения деформации ± 5 млн ⁻¹ , а погрешность определения выходных сигналов тензорезисторов ± 5 мкОм/Ом. Диапазон воспроизводимых температур балки, соответствующий рабочему диапазону тензорезисторов, точность поддержания температуры ± 2 °С в диапазоне до 223 °С и $\pm 0,01 \cdot (t - 23)$ °С в диапазоне свыше 223 °С.	Установка с балками постоянного сечения, нагружаемыми по схеме чистого изгиба, рег. № 92055-24, диапазон измерений при высокотемпературных испытаниях от -1000 до +1000 млн ⁻¹ , предел неравномерности поля деформации рабочей зоны балки ± 20 млн ⁻¹ ; диапазон рабочих температур соответствует рабочему диапазону тензорезисторов

Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.

6.2 Эталоны, применяемые для поверки, должны быть поверены (аттестованы), средства измерений – поверены, испытательное оборудование - аттестовано.

7 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

7.1 При проведении поверки должны выполняться требования безопасности указанные в эксплуатационной документации на применяемые средства поверки и поверяемое СИ, а также общие требования безопасности по ГОСТ 12.2.007.0, ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.2.003, Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок, а также требования безопасности, изложенные в руководстве по эксплуатации, на средства поверки, и требования безопасности, действующие на месте поверки.

7.2 Опасным производственным фактором при проведении поверки является повышенное напряжение электрической цепи, замыкание, которое может пройти через тело человека. Источником повышенной опасности являются токоведущие части средств измерений и испытательного оборудования, применяемых при проведении поверки.

7.3 Работа с незаземленным испытательным оборудованием и средствами измерений запрещается.

7.4 Монтаж тензорезисторов должен проводиться в помещении, снабженном приточно-вытяжной вентиляцией, средствами пожаротушения и водоснабжения.

7.5 Предельно допустимые концентрации растворителей (ацетона, спирта этилового) в рабочей зоне при монтаже тензорезисторов должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.004.

7.6 После окончания монтажа тензорезисторов обязательно вымыть руки с мылом, рот прополоскать питьевой водой.

8 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Проверку внешнего вида, комплектности, маркировки производят визуально на соответствие технической документации фирмы-изготовителя.

8.2 При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие внешнего вида, комплектности сведениям, приведенным в описании типа, отсутствие видимых механических повреждений, загрязнений поверхностей.

8.3 На упаковке партии (потребительской таре) тензорезисторов должны быть указаны:

- «Сделано в России»;
- «условия хранения: температура от 5 °С до 35 °С, относительная влажность до 80 % при температуре 35 °С, при отсутствии в атмосфере паров агрессивных веществ»;
- товарный знак завода-изготовителя;
- знак утверждения типа средств измерений;
- наименование и условное обозначение тензорезисторов;
- обозначение технических условий;
- серийный номер;
- количество тензорезисторов в партии;
- предельные значения электрических сопротивлений тензорезисторов в упаковке;
- среднее значение чувствительности тензорезисторов;
- штамп ОТК;

- подпись упаковщика;
- дата выпуска.

8.4 Знак предприятия-изготовителя должен присутствовать на каждом тензорезисторе в виде бирки.

8.5 В случае если при внешнем осмотре тензорезисторов выявлены повреждения или дефекты, способные оказать влияние на безопасность проведения поверки или результаты поверки, поверка может быть продолжена только после устранения этих повреждений или дефектов.

9 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

9.1 Проводят контроль условий поверки с помощью термогигрометра в соответствии с таблицей 6.1.

9.2 Перед проведением поверки средства поверки и поверяемые тензорезисторы должны быть подготовлены к работе в соответствии с эксплуатационной документацией на них и выдержаны в помещении, где проводят поверку, в условиях согласно разделу 4 настоящей методики, не менее двух часов.

9.3 При поверке многоэлементных тензорезисторов, конфигурация которых позволяет разделить на несколько одиночных решеток с самостоятельными контактными площадками, допускается их разделение и участие в поверке, как отдельной единицы СИ.

9.4 Для случаев, когда направления главных осей непараллельны и разделение невозможно при поверке исследуется один из элементов, при этом из выборки не менее 8 шт. обеспечивают представительство разных элементов в равных соотношениях.

10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

10.1 **Определение относительного отклонения электрического сопротивления тензорезисторов в партии от номинального**

10.1.1 В зависимости от объема предъявленной партии в соответствии с А.1 Приложения А определить объем выборки и значение приемлемого уровня качества AQL 0,010.

10.1.2 Проверка относительного отклонений сопротивления в партии от номинального осуществляется методом прямых измерений с помощью вольтметра. Результаты измерений заносятся в протокол.

10.1.3 Измерить электрическое сопротивление каждого тензорезистора в выборке. Измерение следует проводить между выводными проводниками тензорезисторов, которые во время измерения должны быть в выпрямленном состоянии.

10.1.4 Повторяемость результата измерения сопротивления при одних и тех же условиях измерений должна находиться в пределах $\pm 0,4\%$. Влияние неплоскостности тензорезистора на результат измерения сопротивления тензорезистора не должно превышать $\pm 0,5\%$ измеряемого значения, в противном случае перед измерением тензорезистор размещают на плоской поверхности и используют прижимное устройство для его выравнивания.

10.1.5 Относительное отклонение сопротивления в партии от номинального определить по формулам:

$$\delta_{Rp1} = \left| \frac{R_{\max} - R_{\text{ном}}}{R_{\text{ном}}} \right| \cdot 100; \quad (1)$$

$$\delta_{Rp2} = \left| \frac{R_{\min} - R_{\text{ном}}}{R_{\text{ном}}} \right| \cdot 100; \quad (2)$$

где $R_{\max}$ и $R_{\min}$ – максимальное и минимальное значение электрического сопротивления тензорезисторов в партии, Ом;

$R_{\text{ном}}$ – номинальное значение электрического сопротивления для данного типоразмера тензорезисторов, Ом;

δ_{Rp1} ; δ_{Rp2} – отклонения электрического сопротивления в партии от номинального, %.

10.1.6 Большую из величин δ_{Rp1} и δ_{Rp2} принять за δ_{Rp} – предельное относительное отклонение электрического сопротивления в партии от номинального

10.1.7 Если относительное отклонение электрического сопротивления от номинального находится в пределах, указанных на упаковке, сделать вывод о возможности принятия результатов.

10.1.8 Если относительное отклонение электрического сопротивления от номинального выходят за пределы, указанные на упаковке, дальнейшие проверки не проводят, тензорезисторы бракуют.

10.2 Определение среднего значения чувствительности и среднего квадратического отклонения чувствительности в партии при нормальных условиях

10.2.1 Чувствительность при нормальных условиях определить на установке с балкой постоянного сечения, нагружаемой по схеме чистого изгиба (далее – установка).

10.2.2 Произвести монтаж тензорезисторов на рабочей и компенсационной балках и сборку измерительной схемы полумост с одним компенсационным на выборку, допускается использовать схему четверть мост.

10.2.3 Выбирают тензорезистор, используемый в качестве компенсационного. Тензорезистор, используемый в качестве компенсационного, установить на образцы из того же материала и поперечного сечения, что и балка.

10.2.4 Циклы деформирования тензорезисторов осуществляют одним из способов:

– балку поочередно нагружают изгибающими моментами противоположных знаков, т. е. сначала изгибают в одну, а затем в противоположную сторону (первый способ);

– балку нагружают изгибающим моментом одного знака, т. е. изгибают только в одну сторону (второй способ).

10.2.5 В первом случае тензорезисторы подвергают следующим циклам деформирования:

Первая сторона балки	Вторая сторона балки
0, + 1100 млн ⁻¹ , - 1100 млн ⁻¹	0, - 1100 млн ⁻¹ , + 1100 млн ⁻¹
+ 1100 млн ⁻¹ , - 1100 млн ⁻¹	- 1100 млн ⁻¹ , + 1100 млн ⁻¹
+ 1100 млн ⁻¹ , - 1100 млн ⁻¹	- 1100 млн ⁻¹ , + 1100 млн ⁻¹
0, + 1000 млн ⁻¹ , - 1000 млн ⁻¹ , 0	0, - 1000 млн ⁻¹ , + 1000 млн ⁻¹ , 0

10.2.6 Во втором случае тензорезисторы подвергают следующим циклам деформирования:

Первая сторона балки	Вторая сторона балки
0, + 1100 млн ⁻¹	0, - 1100 млн ⁻¹
0, + 1100 млн ⁻¹	0, - 1100 млн ⁻¹
0, + 1100 млн ⁻¹	0, - 1100 млн ⁻¹
0, + 1000 млн ⁻¹ , 0	0, - 1000 млн ⁻¹ , 0

10.2.7 Произвести три тренировочных (без измерения выходных сигналов) цикла нагружения с деформацией $\varepsilon = 0$ млн⁻¹; $\varepsilon = \pm (1100 \pm 50)$ млн⁻¹.

10.2.8 После выполнения тренировочных циклов деформирования исключить из выборки тензорезисторы, на которых образовались вздутия, отслаивания от поверхности образца. При выявлении аномальности выходного сигнала у одного тензорезистора или отклонении от среднего значения более чем на 10 % произвести его замену. При выявлении более одного такого тензорезистора, выборку забраковать и выполнить повторную установку.

10.2.9 Провести один рабочий (с измерением выходных сигналов) цикл деформирования:

- разгрузить образец до деформации $\varepsilon = 0$ млн⁻¹;
- нагрузить образец до уровня $\varepsilon_0 = \pm 50$ млн⁻¹, принимаемого за исходный (нулевой) уровень нагружения, и измерить выходные сигналы тензорезисторов;
- нагрузить образец до деформации $\varepsilon_n = \pm (1000 \pm 50)$ млн⁻¹ и измерить выходные сигналы тензорезисторов;
- разгрузить образец до деформации $\varepsilon = 0$ млн⁻¹.

10.2.10 Время, затрачиваемое на нагружение балки до заданных деформаций и определение выходных сигналов тензорезисторов, не должно превышать две минуты.

10.2.11 По полученным данным, определить среднее значение чувствительности и СКО чувствительности по формулам:

$$K_i = \frac{|\xi_i(+\varepsilon_n)| + |\xi_i(-\varepsilon_n)|}{|+\varepsilon_n| + |-\varepsilon_n|}; \quad (3)$$

$$\bar{K} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i; \quad (4)$$

$$S_K = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2}}{\bar{K}} \cdot 100, \quad (5)$$

где K_i – коэффициент чувствительности i -го тензорезистора;

i – номер тензорезистора;

$\xi_i(+\varepsilon_n), \xi_i(-\varepsilon_n)$ – значение выходного сигнала тензорезистора, относительно исходного (нулевого) уровня нагружения, при деформации балки $(+\varepsilon_n)$ и $(-\varepsilon_n)$, соответственно (с учетом коэффициента k , определяемый используемым прибором для измерений сигналов тензорезисторов и схемой их подключения, при необходимости), мВ/В;

n – объем выборки;

$\bar{K}$ – выборочное среднее значение чувствительности;

S_K – выборочное среднее квадратическое отклонение чувствительности в партии, %.

10.2.12 Так как оценка характеристик тензорезисторов осуществляется по выборке из партии, выборочное среднее значение чувствительности соответствует среднему значению чувствительности в партии, а выборочное СКО чувствительности в партии - СКО чувствительности в партии.

10.2.13 Результаты проверки признают положительными, если среднее значение чувствительности и СКО чувствительности в партии при нормальных условиях соответствуют значениям, указанным в таблице 1.1.

10.3 Определение среднего относительного значения часовой ползучести и СКО часовой ползучести в партии при нормальных условиях

10.3.1 Ползучесть при нормальных условиях определить на установке с балкой постоянного сечения, нагружаемой по схеме чистого изгиба. Для определения среднего значения часовой ползучести допускается использовать те же тензорезисторы, что и при определении среднего значения чувствительности.

10.3.2 Тензорезисторы установить на балку аналогично 10.2.

10.3.3 Произвести три тренировочных (без измерения выходных сигналов) цикла нагружения с деформацией $\varepsilon = 0$ млн⁻¹; $\varepsilon = \pm (1100 \pm 50)$ млн⁻¹.

10.3.4 Разгрузить образец до деформации $\varepsilon = 0$ млн⁻¹.

10.3.5 Нагрузить образец до уровня $\varepsilon_0 = \pm 50$ млн⁻¹, принимаемого за исходный (нулевой) уровень нагружения, и измерить выходные сигналы тензорезисторов.

10.3.6 Нагрузить образец с установленными тензорезисторами на установке до деформации $\varepsilon = \pm (1000 \pm 50)$ млн⁻¹ за время не более 60 с и измерить начальные значения $\varepsilon_i(0)$ выходных сигналов тензорезисторов в течение последующего времени не более 60 с.

10.3.7 Выдержать образец в нагруженном состоянии в течение 60 мин, после чего измерить выходные сигналы тензорезисторов $\varepsilon_i(1)$.

10.3.8 Разгрузить образец до деформации $\varepsilon = 0$ млн⁻¹.

10.3.9 По полученным данным для каждого тензорезистора рассчитать среднее значение и СКО ползучести за промежуток времени 60 мин по формулам:

$$\Pi_i = \frac{\varepsilon_i(1) - \varepsilon_i(0)}{\varepsilon_i(0)} \cdot 100; \quad (6)$$

$$\bar{\Pi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Pi_i; \quad (7)$$

$$S_{\Pi} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Pi_i - \bar{\Pi})^2}, \quad (8)$$

где Π_i – значение ползучести за промежуток времени 60 мин для i -го тензорезистора, %;

$\varepsilon_i(0)$ – исходный (нулевой) выходной сигнал i -го тензорезистора, млн⁻¹;

$\varepsilon_i(1)$ – выходной сигнал i -го тензорезистора спустя 60 мин, млн⁻¹;

i – номер тензорезистора;

$\bar{\Pi}$ – выборочное среднее значение часовой ползучести, %;

n – объем выборки;

S_{Π} – выборочное СКО часовой ползучести в партии, %.

10.3.10 Так как оценка характеристик тензорезисторов осуществляется по выборке из партии, выборочное среднее значение часовой ползучести соответствует среднему значению часовой ползучести в партии, а выборочное СКО часовой ползучести – СКО часовой ползучести в партии.

10.3.11 Результаты проверки признают положительными, если среднее значение часовой ползучести и СКО часовой ползучести соответствуют указанным в таблице 1.1.

10.4 Определение ТХС, СКО погрешности аппроксимации ТХС, максимального абсолютного значения ТХС в рабочей области значений температуры и СКО значения ТХС при максимальной температуре

10.4.1 Выборку из числа тензорезисторов установить на образец с известным коэффициентом линейного расширения, если образец изготовлен из того же материала, что и конструкция, на которую будут установлены тензорезисторы, то данное требование не предъявляется.

10.4.2 Образец не должен иметь остаточных напряжений, его форма и размеры должны быть выбраны таким образом, чтобы при испытаниях в нем не возникало температурных напряжений.

10.4.3 Деформация, обусловленная короблением (искривлением) образца, не должна выходить за пределы $\pm 5 \text{ млн}^{-1}$ при нагреве (охлаждении) образца от нормальной температуры до температуры плюс 123°C (минус 77°C) и $\pm 0,05 \text{ млн}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ - при нагреве (охлаждении) до температуры выше плюс 123°C (ниже минус 77°C). В процессе определения ТХС образец не должен подвергаться внешней механической деформации.

10.4.4 Влияние изменения сопротивления линий связи на результаты измерений должно быть исключено, например, методом включения тензорезисторов в измерительную цепь по трехпроводной схеме.

10.4.5 Образец с установленными тензорезисторами нагреть ступенями от температуры $(23 \pm 10)^\circ\text{C}$ до максимальной температуры со скоростью от 1 до $2^\circ\text{C}/\text{мин}$. Число ступеней – не менее четырех. Время выдержки на каждой ступени не более 10 минут.

10.4.6 На каждой ступени после установления температурного равновесия измерить температуру и выходные сигналы тензорезисторов.

10.4.7 Непрерывно охладить образец до температуры $(23 \pm 10)^\circ\text{C}$.

10.4.8 В случае, если также требуется исследование характеристики при отрицательных температурах, образец с тензорезисторами поместить в термодержатель. Измерить начальный выходной сигнал.

10.4.9 Образец с установленными тензорезисторами охладить до нижнего предела рабочего диапазона температур ступенями со скоростью не более $0,15^\circ\text{C}/\text{мин}$. Число ступеней – не менее четырех. Время выдержки на каждой ступени не более 10 минут.

10.4.10 На каждой ступени после установления температурного равновесия измерить температуру и выходные сигналы тензорезисторов.

10.4.11 Непрерывно нагреть образец до температуры $(23 \pm 10)^\circ\text{C}$.

10.4.12 Из значения выходного сигнала каждого тензорезистора, полученного на каждой ступени нагревания (охлаждения), вычесть его начальный выходной сигнал.

10.4.13 По полученным данным определить выборочное среднее значение выходных сигналов $\bar{v}_u(t_j)$, мВ/В, для каждой ступени и выборочное СКО выходных сигналов St , мВ/В, для максимальной температуры.

10.4.14 Используя полученные значения $\overline{v_u}(t_j)$ методом наименьших квадратов рассчитать коэффициенты D_1, D_2, D_3, D_4 аппроксимирующего полинома по формуле

$$\hat{v}_k(t_i) = D_1 \cdot (t - t_n) + D_2 \cdot (t^2 - t_n^2) + \dots + D_n \cdot (t^n - t_n^n) \quad (9)$$

10.4.15 Полином, полученный по формуле (9), преобразовать в полином, приведенный к температуре $(23 \pm 10)^\circ\text{C}$ по формуле

$$\hat{v}_\delta(t_j) = D_0 + D_1 \cdot t + D_2 \cdot t^2 + \dots + D_n \cdot t^n, \quad (10)$$

$$\text{где } D_0 = -(D_1 \cdot 23 + D_2 \cdot 23^2 + \dots + D_n \cdot 23^n)$$

10.4.16 Перевести значения ТХС тензорезистора, полученные по формуле (10), в единицы деформации, млн^{-1} , по формуле

$$\varepsilon_{app} = \frac{\hat{v}_\delta(t_j) \cdot k}{K} = C_0 + C_1 \cdot t + C_2 \cdot t^2 + \dots + C_n \cdot t^n, \quad (11)$$

где k – коэффициент, определяемый используемым прибором для измерений сигналов тензорезисторов и схемой их подключения (например, при четвертьмостовой схеме подключения и коэффициенте усиления 2, $k = 2$);

K – среднее значение чувствительности при нормальных условиях.

10.4.17 Среднее квадратическое отклонение погрешности аппроксимации ТХС тензорезистора рассчитать по формуле

$$S\sigma_{app} = \frac{k}{K} \cdot \sqrt{\frac{1}{m-1} \cdot \sum_{j=1}^m (\hat{v}_\delta(t_j) - \overline{v}_\delta(t_j))^2}, \quad (12)$$

где $\overline{v}_\delta(t_j)$ – среднее значение выходного сигнала на j -ой ступени, млн^{-1} ;

m – число ступеней нагрева (охлаждения);

j – номер ступени, $j = 1, 2 \dots m$.

10.4.18 Максимальное значение ТХС в рабочей области значений температуры определяют из полинома (11) как наибольшее абсолютное значение выходного сигнала в рабочей области значений температуры.

10.4.19 Результаты контроля считаются положительными, если СКО погрешности аппроксимации ТХС, максимальное абсолютное значение ТХС в рабочей области значений температур и СКО значения ТХС при максимальной температуре соответствуют данным, указанным в таблице 1.1.

10.5 Определение среднего значения ТКЧ при максимальной (минимальной) температуре и СКО ТКЧ при максимальной (минимальной) температуре

10.5.1 Для определения среднего значения ТКЧ при максимальной (минимальной) температуре и СКО ТКЧ при максимальной (минимальной) температуре допускается использовать те же тензорезисторы, что и при определении характеристик по 10.2, если исключены демонтаж, повторный монтаж тензорезисторов.

10.5.2 Характеристики, исследуемые в настоящем пункте, определить на установке и в случае, если также требуется исследование характеристики при отрицательных температурах – термодатчике.

10.5.3 Балку с тензорезисторами последовательно нагреть со скоростью от 10 до 20 $^\circ\text{C}/\text{мин}$ ступенями от температуры $(23 \pm 10)^\circ\text{C}$ до верхнего предела рабочего диапазона температур с шагом не более 25 $^\circ\text{C}$ в диапазоне от минус 40 $^\circ\text{C}$ до плюс 100 $^\circ\text{C}$ и не более 40 $^\circ\text{C}$ в диапазоне от 100 $^\circ\text{C}$ до 900 $^\circ\text{C}$.

10.5.4 Провести рабочий цикл нагружения согласно 10.2.9.

10.5.5 Непрерывно охладить образец до температуры $(23 \pm 10)^\circ\text{C}$.

10.5.6 Балку с установленными тензорезисторами охладить до нижнего предела рабочего диапазона температур ступенями со скоростью не более $0,15^\circ\text{C}/\text{мин}$. Число ступеней – не менее четырех. Время выдержки на каждой ступени не более 10 минут.

10.5.7 Провести рабочий цикл нагружения согласно 10.2.9.

10.5.8 Непрерывно нагреть образец до температуры $(23 \pm 10)^\circ\text{C}$.

10.5.9 Для каждого тензорезистора чувствительность при нормальных условиях и для рабочего диапазона температур рассчитать по формуле (13).

10.5.10 Для каждого тензорезистора ТКЧ в процентах на градус рассчитать по формуле

$$\eta_i = \frac{K_{i\,t_M} - K_{i\,t_0}}{K_{i\,t_0}(t_M - t_0)} \cdot 100, \quad (13)$$

где η_i – температурный коэффициент чувствительности, $\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$;

$K_{i\,t_M}$ – чувствительность при максимальной (минимальной) температуре;

$K_{i\,t_0}$ – чувствительность при температуре $(23 \pm 10)^\circ\text{C}$;

t_0 – температура $(23 \pm 10)^\circ\text{C}$;

t_M – максимальная (минимальная) температура, $^\circ\text{C}$.

10.5.11 Рассчитать среднее значение ТКЧ и среднее квадратическое отклонение ТКЧ по формулам:

$$\bar{\eta}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_i; \quad (14)$$

$$S_{\eta_i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\eta_i - \bar{\eta}_i)^2}, \quad (15)$$

где $\bar{\eta}$ – выборочное среднее значение ТКЧ, $\% \cdot (^\circ\text{C})^{-1}$;

S_{η} – выборочное среднее квадратическое отклонение ТКЧ, $\% \cdot (^\circ\text{C})^{-1}$.

10.5.12 Результаты контроля признают положительными, если среднее значение ТКЧ при максимальной (минимальной) температуре и СКО ТКЧ при максимальной (минимальной) температуре соответствуют заявляемым характеристикам, согласно таблице 1.1.

10.6 Проверка воспроизводимости среднего значения чувствительности и СКО чувствительности в партии при нормальных условиях

10.6.1 При периодической поверке по результатам определения среднего значения чувствительности и среднего квадратического отклонения чувствительности в партии при нормальных условиях, согласно 10.2, необходимо проверить гипотезы равенства двух средних значений и двух дисперсий из нормально распределенных генеральных совокупностей для случая независимых выборок по неравенствам:

$$|\bar{X}_p - \bar{X}_c| \leq f \sqrt{\frac{(n_p - 1) \cdot S_{Xp}^2 + (n_c - 1) \cdot S_{Xc}^2}{n_p + n_c - 2}} \cdot \frac{n_p + n_c}{n_p \cdot n_c} + \Delta X_c; \quad (16)$$

$$A \leq \left(\frac{S_{Xp}}{S_{Xc}} \right)^2 \leq B \quad (17)$$

где n_p – объем выборки при первичной поверке, выборочное среднее значение характеристики

- $\bar{X}_p$ – выборочное среднее значение характеристики чувствительности при нормальных условиях, по данным первичной поверки;
 S_{Xp} – выборочное среднее квадратическое отклонение чувствительности в партии, по данным первичной поверки, %;
 n_c – объем выборки при периодической поверке, выборочное среднее значение характеристики
 $\bar{X}_c$ – выборочное среднее значение характеристики чувствительности при нормальных условиях, по данным периодической поверки;
 S_{Xc} – выборочное среднее квадратическое отклонение чувствительности в партии, по данным периодической поверки, %;
 ΔX_c – предел допускаемой систематической погрешности установки и приборов, используемых при первичной поверке
 f – критерий, имеющий распределение Стьюдента с $(n_p + n_c - 2)$ степенями свободы, значения приведены в таблице 10.1;
 A, B – критерий Фишера при двухсторонней проверке ($A = 1/B$);

Таблица 10.1 – Значения критерия f , имеющий распределение Стьюдента с $(n_p + n_c - 2)$ степенями свободы для доверительной вероятности 0,95

$n_p + n_c - 2$	16	18	19	21	22	27	29	33	38	42
f	2,12	2,10	2,09	2,08	2,07	2,05	2,04	2,03	2,02	2,02

Таблица 10.2 – Значения критериев Фишера для доверительной вероятности 0,95 в зависимости от объемов выборки

n_c	Значения критериев B (верхние цифры) и A (нижние цифры)														
	n_p														
	≤ 10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
≤ 10	4,03	3,96	3,91	3,87	3,83	3,80	3,77	3,75	3,72	3,70	3,68	3,67	3,65	3,64	3,62
	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,33	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36	0,37
12	3,59	3,53	3,47	3,43	3,39	3,36	3,33	3,31	3,28	3,26	3,24	3,23	3,21	3,20	3,19
	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38
14	3,31	3,25	3,20	3,15	3,11	3,08	3,05	3,02	3,01	2,98	2,96	2,95	2,93	2,92	2,91
	0,26	0,28	0,29	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39
16	3,13	3,06	3,01	2,96	2,92	2,89	2,86	2,84	2,81	2,79	2,77	2,76	2,74	2,73	2,71
	0,26	0,28	0,30	0,31	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40
18	2,98	2,92	2,87	2,82	2,79	2,75	2,72	2,70	2,67	2,65	2,63	2,62	2,60	2,59	2,57
	0,27	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,40	0,41	0,41
20	2,88	2,82	2,76	2,72	2,68	2,64	2,62	2,59	2,57	2,54	2,53	2,51	2,49	2,48	2,47
	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,40	0,41	0,41	0,42

10.6.2 Результаты периодической поверки признают положительными, если выполняются условия (16) и (17).

11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

11.1 Результаты поверки оформляются протоколом произвольной формы.

11.2 При положительных результатах поверки тензорезисторы признают пригодными к применению.

11.3 Нанесение знака поверки на средство измерений не предусмотрено.

11.4 При отрицательных результатах поверки средство измерений признают непригодным к применению.

11.5 По заявке заказчика при положительных результатах поверки оформляется свидетельство о поверке, при отрицательных – извещение о непригодности.

11.6 Сведения о результатах поверки передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с установленным порядком.

И.о. заведующего лабораторией 233



Трибушевская Л.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ А**(обязательное)****Оценка доли несоответствующих единиц продукции процесса**

А.1 В соответствии с общим уровнем контроля II и объемом партии по таблице А.1 определяют код объема выборки и соответствующий ему объем выборки.

Таблица А.1 – Код объема выборки и уровни контроля

Объем партии	Общий уровень контроля II	Объем выборки	Приемлемый уровень качества $AQL\ 0,010$	
			Приемочное число, A_c	Браковочное число, R_e
от 2 до 8 включ.	A	2	0	1
от 9 до 15 включ.	B	3		
от 16 до 25 включ.	C	5		
от 26 до 50 включ.	D	8		
от 51 до 90 включ.	E	13		
от 91 до 150 включ.	F	20		
от 151 до 280 включ.	G	32		
от 281 до 500 включ.	H	50		
от 501 до 1200 включ.	J	80		

А.2 Если число несоответствующих единиц продукции менее приемочного числа или равно ему, партию признают приемлемой. Если число несоответствующих единиц продукции превышает браковочное число или равно ему, партию признают неприемлемой.