

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.
2024 г.

«ГСИ. Тензорезисторы ВТ. Методика поверки»

МП 111-233-2023

Екатеринбург
2024

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

Согласована УНИИМ – филиалом ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
« ____ » _____ 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.....	4
7 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ.....	6
8 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	6
9 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	7
10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ.....	7
11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ.....	14
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	15

Государственная система обеспечения единства измерений

Тензорезисторы ВТ

Методика поверки

Дата введения в действие « ____ » _____ 2024 г.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика распространяется на тензорезисторы ВТ (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 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 косвенных измерений.

1.4 Настоящая методика поверки применяется для поверки тензорезисторов ВТ, 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					
	ВТП	ВТВ	ВТФ	ВТБ	ВТТ	ВТС
Диапазон измерений деформации, млн ⁻¹	от – 3000 до + 3000					
Предельное относительное отклонение электрического сопротивления в партии от номинального, %	± 1,0					
Предельное относительное отклонение электрического сопротивления в группе от среднего, %	± 0,10; ± 0,20; ± 0,50					± 0,15
Среднее значение чувствительности при нормальных условиях*	от 1,86 до 2,20		от 1,8 до 2,2			от 1,75 до 2,05
Среднее квадратическое отклонение чувствительности в партии, %, не более	1,0					
Пределы относительного среднего значения часовой ползучести, при нормальных условиях, %	± 0,3					± 1,5
Среднее квадратическое отклонение часовой ползучести, при нормальных условиях, %, не более	0,2		0,1			0,8
Пределы среднего значения часовой ползучести, при максимальной температуре, %	± 2,0		± 1,5			± 5,0

Наименование характеристики	Значение для исполнений					
	ВТП	ВТВ	ВТФ	ВТБ	ВТТ	ВТС
Среднее квадратическое отклонение часовой ползучести, при максимальной температуре, %, не более	1,0					2,0
Пределы среднего значения температурного коэффициента чувствительности при максимальной (минимальной) температуре, %·°C ⁻¹	± 0,1					
Среднее квадратическое отклонение температурного коэффициента чувствительности при максимальной (минимальной) температуре, %·°C ⁻¹ , не более	0,1					
*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
СМК 02 СТО 47-2020	Метрологическое обеспечение. Локальная поверочная схема для средств измерений деформации, утвержденной УНИИМ - филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» в 2021 г.
ГОСТ 21616-91	Тензорезисторы. Общие технические условия
ГОСТ Р ИСО 3951-2-2015	Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по количественному признаку. Часть 2. Общие требования к одноступенчатым планам на основе AQL при контроле последовательных партий по независимым характеристикам качества

Примечание - При использовании настоящей методике 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, данные в ГОСТ 20420, а также приняты следующие сокращения:

СКО – среднее квадратическое отклонение.

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, 3 года.

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

3.3 При проведении первичной и периодической поверок 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 10 шт. для проведения операций по 10.2 - 10.4 таблицы 3.1;
- не менее 10 шт. для проведения операций по 10.5, 10.6 таблицы 3.1.

3.5 При поверке для проведения операций по 8, 10.1 таблицы 3.1 допускается проведение поверки на основании выборки, используя нормальный контроль при общем уровне контроля II ГОСТ Р ИСО 3951-2 (форма "k", метод "s") с предельно допустимым уровнем несоответствий AQL = 1 % (приложение А).

Таблица 3.1 – Операции поверки

Наименование операции	Обязательность проведения операций при		Номер пункта методики поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
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 характеристик электрического сопротивления тензорезисторов	Да	Да	10.1
Определение среднего значения чувствительности и СКО чувствительности в партии при нормальных условиях	Да	Да	10.2
Проверка воспроизводимости среднего значения чувствительности и СКО чувствительности в партии при нормальных условиях	Нет	Да	10.3
Определение среднего значения часовой ползучести и СКО часовой ползучести в партии при нормальных условиях	Да	Да	10.4
Определение среднего значения часовой ползучести и СКО часовой ползучести при максимальной температуре	Да*	Да*	10.5
Определение среднего значения и СКО температурного коэффициента чувствительности при максимальной (минимальной) температуре	Да*	Да*	10.6

* – характеристики тензорезисторов при максимальной температуре проверяют по заявке заказчика

4 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

4.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С от 18 до 25;
- атмосферное давление, кПа от 96 до 104;
- относительная влажность воздуха, % от 30 до 80.

4.2 Изменение температуры и влажности за время измерений, проводимых при нормальных условиях, не должно выходить за пределы ± 2 °С и ± 5 %.

4.3 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.

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 по п. 4	Измеритель температуры и влажности ИВТМ – 7М, диапазон измерения относительной влажности от 0 % до 99 %, пределы основной абсолютной погрешности измерения ± 2 %, диапазон измерения температуры от минус 20 °С до плюс 60 °С, пределы абсолютной погрешности измерения температуры $\pm 0,2$ °С, диапазон измерений абсолютного давления от 840 до 1060 гПа, пределы абсолютной

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
		погрешности измерения атмосферного давления ± 3 гПа, рег. № 71394-18
п. 10.1 Определение характеристик электрического сопротивления тензорезисторов	Омметр, диапазон измерений от 50 до 1000 Ом; $\delta = \pm 0,1$ %	Мультиметр цифровой DMM 4050, рег. № 43826-10, диапазон измерений электрического сопротивления от $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^9$ Ом, $\delta = \pm (2,01 \cdot 10^{-2})$ %
п. 10.2 Определение среднего значения чувствительности и СКО чувствительности в партии при нормальных условиях; п. 10.3 Проверка воспроизводимости среднего значения чувствительности и СКО чувствительности в партии при нормальных условиях п. 10.4 Определение среднего значения часовой ползучести и СКО часовой ползучести в партии при нормальных условиях	Установка с балками постоянного сечения, нагружаемыми по схеме чистого изгиба, пределы допускаемых относительных погрешностей измерения относительной деформации $\delta = \pm 0,8$ % в диапазонах измерений от 500 до 1000 млн ⁻¹	Исходный эталон по ЛПС* единицы деформации в диапазоне значений от минус 5000 до 5000 млн ⁻¹ , рег. № 3.1.ZZB.0402.2021
п. 10.5 Определение среднего значения часовой ползучести и СКО часовой ползучести при максимальной температуре п. 10.6 Определение среднего значения и СКО температурного коэффициента чувствительности при максимальной (минимальной) температуре	Установка с балками постоянного сечения, нагружаемыми по схеме чистого изгиба, с диапазоном измерений от минус 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	Установка для измерений деформации УТ-66М, рег. № 81751-21

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	± 2 °С в диапазоне до 223 °С и $\pm 0,01 \cdot (t - 23)$ °С в диапазоне свыше 223 °С.	
<i>Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.</i>		

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 (аcetона, спирта этилового) в рабочей зоне при наклейке тензорезисторов должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.004.

7.6 После окончания наклейки 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, расслоений, воздушных пузырьков.

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

- "Сделано в России";
- товарный знак завода-изготовителя;
- знак утверждения типа средств измерений
- наименование и условное обозначение тензорезисторов;

- обозначение технических условий;
- серийный номер;
- количество тензорезисторов в группе;
- предельные значения электрических сопротивлений тензорезисторов в упаковке;
- среднее значение чувствительности тензорезисторов;
- термокомпенсация для материала с номинальным температурным коэффициентом линейного расширения;
- штамп ОТК;
- подпись упаковщика;
- дата выпуска.

8.4 Знак предприятия-изготовителя должен присутствовать на каждом тензорезисторе.

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 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 п. 4 настоящей методики, не менее 2 ч.

9.2 Для поверки тензорезисторных розеток с числом чувствительных элементов от двух и более необходимо произвести их разрез на отдельные чувствительные элементы. При этом в выборке должны быть представлены все чувствительные элементы в равной степени.

9.3 При поверке многоэлементных тензорезисторов, цепочек 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 поверки мембранных тензорезистивных розеток необходимо подобрать одиночные тензорезисторы – свидетели, изготовленные тем же технологическим запуском, с тем же номинальным сопротивлением.

10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

10.1 Определение характеристик электрического сопротивления тензорезисторов

10.1.1 В зависимости от объема предъявленной партии и установленного предельно допустимого уровня несоответствий (AQL) в соответствии с п. А.1 Приложения А определить объем выборки и значение контрольного норматива формы "к".

10.1.2 Проверка среднего значения и предельного относительного отклонений сопротивления в партии 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 Определить величину относительного отклонения электрического сопротивления в партии от номинального и среднего в процентах по формулам:

$$\delta_{R_{п1}} = \frac{R_{\max} - R_{\text{НОМ}}}{R_{\text{НОМ}}} \cdot 100; \quad (1)$$

$$\delta_{R_{п2}} = \frac{R_{\min} - R_{\text{НОМ}}}{R_{\text{НОМ}}} \cdot 100; \quad (2)$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^N R_i}{N}; \quad (3)$$

$$\delta_{\bar{R}1} = \frac{R_{\max} - \bar{R}}{\bar{R}} \cdot 100; \quad (4)$$

$$\delta_{\bar{R}2} = \frac{R_{\min} - \bar{R}}{\bar{R}} \cdot 100, \quad (5)$$

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;

\bar{R} – среднее арифметическое значение электрического сопротивления тензорезисторов, Ом;

R_i – значение электрического сопротивления i -го тензорезистора в партии, Ом;

N – число тензорезисторов в партии;

$\delta_{R_{п1}}$; $\delta_{R_{п2}}$ – отклонения электрического сопротивления в партии от номинального, %;

$\delta_{\bar{R}1}$; $\delta_{\bar{R}2}$ – отклонения электрического сопротивления в группе от среднего значения, %.

10.1.5 Большую из величин $\delta_{R_{п1}}$ и $\delta_{R_{п2}}$ принять за $\delta_{R_{п}}$ – предельное относительное отклонение электрического сопротивления в партии от номинального, большую из величин $\delta_{\bar{R}1}$ и $\delta_{\bar{R}2}$ принять за $\delta_{\bar{R}}$ – предельное относительное отклонение электрического сопротивления в группе от среднего значения.

10.1.6 Повторяемость результата измерения сопротивления при одних и тех же условиях измерений должна находиться в пределах $\pm 0,04$ %. Влияние неплоскостности тензорезистора на результат измерения сопротивления тензорезистора не должно превышать 0,05 % измеряемого значения, в противном случае перед измерением тензорезистор размещают на плоской поверхности и используют прижимное устройство для его выравнивания.

10.1.7 Если относительное отклонение электрического сопротивления от номинального и среднего находятся в пределах, указанных на упаковке, провести обработку результатов измерений относительного отклонения электрического сопротивления в группе от среднего значения тензорезисторов, входящих в выборку, в соответствии с п. А.2 Приложения А. В соответствии с п. А.3 Приложения А сделать вывод о возможности принятия результатов.

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

10.2 Определение среднего значения чувствительности и СКО 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 в соответствии с инструкцией по наклейке и сборку измерительной схемы полумост с одним

компенсационным на группу.

10.2.3 Для каждого 6-10 штук выбрать тензорезистор, используемый в качестве компенсационного. Тензорезистор, используемый в качестве компенсационного, наклеить на образцы из того же материала и поперечного сечением, что и балка (компенсационная балка).

10.2.4 Выборку тензорезисторов установить на одной или двух сторонах градуировочной балки. Главные оси тензорезисторов должны быть направлены параллельно продольной оси балки.

10.2.5 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).

10.2.6 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

10.2.7 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

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

10.2.9 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.

10.2.10 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.

10.2.11 Время, затрачиваемое на нагружение балки до заданных деформаций и определение выходных сигналов тензорезисторов, не должно превышать 2 мин.

10.2.12 По полученным данным, определить среднее значение чувствительности и среднее квадратическое отклонение чувствительности по формулам:

$$K_i = \frac{|\xi_i(+\varepsilon_H)| + |\xi_i(-\varepsilon_H)|}{|+\varepsilon_H| + |-\varepsilon_H|}; \quad (6)$$

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

$$S_K = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2}}{\bar{K}} \cdot 100, \quad (8)$$

где K_i – коэффициент чувствительности i -го тензорезистора;

i – номер тензорезистора;

$\xi_i(+\varepsilon_H), \xi_i(-\varepsilon_H)$ – значение выходного сигнала тензорезистора, относительно исходного (нулевого) уровня нагружения, при деформации балки $(+\varepsilon_H)$ и $(-\varepsilon_H)$, 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, %.

10.2.13 Так как оценка характеристик тензорезисторов осуществляется по выборке из партии, выборочное среднее значение чувствительности соответствует среднему значению чувствительности в партии, а выборочное среднее квадратическое отклонение чувствительности в партии – среднему квадратическому отклонению чувствительности в партии.

10.2.14 Результаты проверки признают положительными, если среднее значение чувствительности и среднее квадратическое отклонение чувствительности в партии при нормальных условиях соответствуют указанным в таблице 1.1.

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

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

$$|\bar{X}_p - \bar{X}_c| \leq f \sqrt{\frac{(n_p - 1) \cdot S_{Xp}^2 + (n_c - 1) \cdot S_{Xc}^2}{n_p + n_c - 2}} \cdot \frac{n_p + n_c}{n_p \cdot n_c} + \Delta X_c; \quad (9)$$

$$A \leq \left(\frac{S_{Xp}}{S_{Xc}} \right)^2 \leq B \quad (10)$$

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

$n_p + n_c - 2$	18	19	21	22	27	29	33	38	42
f	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

10.3.2 Результаты периодической поверки признают положительными, если выполняются условия (9) и (10).

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

10.4.1 Ползучесть при нормальных условиях определить на установке с балкой постоянного сечения, нагружаемой по схеме чистого изгиба.

10.4.2 Тензорезисторы установить на балку аналогично пп. 10.2.2–10.2.3. Для определения ползучести допускается использовать те же тензорезисторы, что и при определении чувствительности.

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

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

10.4.5 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.

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

10.4.7 Разгрузить образец.

10.4.8 По полученным данным для каждого тензорезистора рассчитать среднее значение и СКО ползучести за промежуток времени 1 ч по формулам:

$$\Pi_i = \frac{\varepsilon_i(1) - \varepsilon_i(0)}{\varepsilon_i(0)} \cdot 100; \quad (11)$$

$$\bar{\Pi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Pi_i; \quad (12)$$

$$S_{\Pi} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Pi_i - \bar{\Pi})^2}, \quad (13)$$

где Π_i – ползучесть i -го тензорезистора, %;
 $\varepsilon_i(0)$ – выходной сигнал i -го тензорезистора по пп. 10.4.5, %;
 $\varepsilon_i(1)$ – выходной сигнал i -го тензорезистора по пп. 10.4.6, %;
 $\bar{\Pi}$ – выборочное среднее значение часовой ползучести, %;
 S_{Π} – выборочное среднее квадратическое отклонение часовой ползучести тензорезистора в партии, %.

10.4.9 Так как оценка характеристик тензорезисторов осуществляется по выборке из партии, выборочное среднее значение соответствует среднему значению в партии, а выборочное среднее квадратическое отклонение – среднему квадратическому отклонению в партии.

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

10.5 Определение среднего значения часовой ползучести и СКО часовой ползучести при максимальной температуре

10.5.1 Ползучесть при максимальной температуре определить на установке, обеспечивающей стабильность поддержания заданного уровня деформации в течение 1 ч в диапазоне рабочих температур.

10.5.2 Тензорезисторы установить на балку.

10.5.3 Влияние дрейфа следует исключать введением поправки или методом схемной компенсации (с использованием компенсационных тензорезисторов, устанавливаемых на отдельные образцы, или попарным объединением в полумосты тензорезисторов, расположенных на противоположных сторонах балки), или другим способом.

10.5.4 Образец с установленными тензорезисторами нагреть в температурной камере установки до максимальной температуры со скоростью не более 5 °С/мин.

10.5.5 Выполнить операции по пп. 10.4.4 – 10.4.7.

10.5.6 Непрерывно охладить образец до температуры (23 ± 10) °С.

10.5.7 По полученным данным рассчитать ползучесть при максимальной температуре за промежуток времени 1 ч для каждого тензорезистора, среднее значение и СКО ползучести при максимальной температуре за промежуток времени 1 ч по формулам (11)-(13).

10.5.8 Результаты проверки признают положительными, если среднее значение и СКО часовой ползучести при максимальной температуре соответствуют данным, указанным в таблице 1.1.

10.6 Определение среднего значения и СКО температурного коэффициента чувствительности при максимальной (минимальной) температуре

10.6.1 Среднее значение и СКО температурного коэффициента чувствительности при максимальной (минимальной) температуре определить на установке.

10.6.2 Тензорезисторы установить на балку аналогично пп. 10.2.2–10.2.3.

10.6.3 При температуре $t_0 = (23 \pm 2)$ °С выполнить операции по пп. 10.2.4 – 10.2.10.

10.6.4 Балку с тензорезисторами нагреть (охладить) до максимальной (минимальной) температуры в температурной камере установки со скоростью не более 5 °С/мин, предварительно нагрузив образец до уровня $\varepsilon_0 = \pm 50$ млн⁻¹, принимаемого за исходный (нулевой) уровень нагружения, и измеряют выходные сигналы тензорезисторов.

10.6.5 Провести рабочий цикл нагружения до деформации $\varepsilon = \pm (1000 \pm 50)$ млн⁻¹.

10.6.6 Для каждого тензорезистора чувствительность для температуры t_0 и для максимальной (минимальной) температуры рассчитать по формуле (7).

10.6.7 Для каждого тензорезистора температурный коэффициент чувствительности в процентах на градус рассчитать по формуле

$$\eta_i = \frac{K_{i t_m} - K_{i t_0}}{K_{i t_0}(t_m - t_0)} \cdot 100 \quad (14)$$

где η_i – температурный коэффициент чувствительности, %·°С⁻¹
 $K_{i t_m}$ – чувствительность при максимальной (минимальной) температуре;
 $K_{i t_0}$ – чувствительность при температуре t_0 ;
 t_0 – температура по п. 10.5.3, °С;
 t_m – максимальная (минимальная) температура, °С.

10.6.8 Рассчитать среднее значение и СКО температурного коэффициента чувствительности по формулам:

$$\bar{\eta}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_i; \quad (15)$$

$$S_{\eta_i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\eta_i - \bar{\eta}_i)^2}, \quad (16)$$

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

S_{η} – выборочное СКО температурного коэффициента чувствительности, $\% \cdot (^\circ\text{C})^{-1}$.

10.6.9 Результаты проверки признают положительными, если среднее значение и СКО температурного коэффициента чувствительности при максимальной (минимальной) температуре соответствуют данным, указанным в таблице 1.1.

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 При отрицательных результатах поверки средство измерений признают непригодным к применению.

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

11.5 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

A.1 Исходные данные и определение необходимых параметров

A.1.1 В соответствии с общим уровнем контроля II и объемом партии по таблице A.1 ГОСТ Р ИСО 3951-2-2015 определяют код объема выборки.

Таблица A.1 – Код объема выборки и уровни контроля

Объем партии	Специальные уровни контроля				Общие уровни контроля		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
От 2 до 8 включ.	B	B	B	B	B	B	B
От 9 до 15 включ.	B	B	B	B	B	B	C
От 16 до 25 включ.	B	B	B	B	B	C	D
От 26 до 50 включ.	B	B	B	C	C	D	E
От 51 до 90 включ.	B	B	C	C	C	E	F
От 91 до 150 включ.	B	B	C	D	D	F	G
От 151 до 280 включ.	B	C	D	E	E	G	H
От 281 до 500 включ.	B	C	D	E	F	H	J
От 501 до 1200 включ.	C	C	E	F	G	J	K
От 1201 до 3200 включ.	C	D	E	G	H	K	L
От 3201 до 10000 включ.	C	D	F	G	J	L	M
От 10001 до 35000 включ.	C	D	F	H	K	M	N
От 35001 до 150000 включ.	D	E	G	J	L	N	P
От 150001 до 500000 включ.	D	E	G	J	M	P	Q
Св. 500000	D	E	H	K	N	Q	R

A.1.2 По выбранному коду объема выборки и установленному AQL по таблице A.1 ГОСТ Р ИСО 3951-2-2015 определяют объем выборки (n) и контрольный норматив " k " формы " k " для " s " метода при нормальном контроле.

Таблица А.2 - Одноступенчатые планы формы *k* для нормального контроля (основная таблица), "s" метод

Код объема выборки	AQL (% несоответствующих единиц продукции)															
	0,01	0,015	0,025	0,04	0,065	0,10	0,15	0,25	0,40	0,65	1,0	1,5	2,5	4,0	6,5	10,0
	<i>n</i>															
<i>k</i>																
B	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		3 0,950	4 0,735
C	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	4 1,242	6 1,061	6 0,939
D	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	6 1,476	9 1,323	9 1,218	6 0,887
E	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	9 1,696	13 1,569	13 1,475	9 1,190	9 0,869
F	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	11 1,889	17 1,769	18 1,682	13 1,426	14 1,147	14 0,935
G	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	15 2,079	22 1,972	23 1,893	18 1,659	20 1,411	21 1,227	21 0,945	
H	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	18 2,254	28 2,153	30 2,079	24 1,862	27 1,636	30 1,471	32 1,225	33 0,954	
J	↓	↓	↓	↓	↓	↓	23 2,425	36 2,331	38 2,263	31 2,061	37 1,853	41 1,702	46 1,482	50 1,245	53 1,010	
K	↓	↓	↓	↓	↓	28 2,580	44 2,493	47 2,428	40 2,237	48 2,043	54 1,904	63 1,702	71 1,489	78 1,281	82 1,045	
L	↓	↓	↓	↓	34 2,737	54 2,653	58 2,592	50 2,412	61 2,230	71 2,101	84 1,914	99 1,720	111 1,533	122 1,325	↑	
M	↓	↓	↓	40 2,882	64 2,802	69 2,744	60 2,573	76 2,400	89 2,279	108 2,104	131 1,924	150 1,752	170 1,564	↑	↑	
N	↓	↓	55 3,161	88 3,089	96 3,036	86 2,879	112 2,723	134 2,614	171 2,459	214 2,300	260 2,152	312 2,092	↑	↑	↑	
P	↓	63 3,288	101 3,219	110 3,167	102 3,016	132 2,867	159 2,762	207 2,615	262 2,464	323 2,324	395 2,174	↑	↑	↑	↑	
Q	90 3,408	116 3,351	127 3,301	120 3,156	155 3,012	189 2,912	247 2,771	320 2,628	398 2,495	498 2,354	↑	↑	↑	↑	↑	
R																

Примечание 1 — Коды объема выборки в настоящем стандарте соответствуют приведенным в ИСО 2859-1 и ИСО 3951-1.

Примечание 2 — Обозначения:

↓ — В данной области не существует подходящего плана; следует использовать первый план выборочного контроля ниже стрелки. Если объем выборки равен объему партии или превышает его, выполняют сплошной контроль.

↑ — В данной области не существует подходящего плана; следует использовать первый план выборочного контроля выше стрелки.

А.1.3 Из предъявленной партии отбирают случайную выборку объема n .

А.2 Обработка результатов измерений

А.2.1 Определяют выборочное стандартное отклонение процесса S по формуле

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}, \quad (\text{A.1})$$

где n - объем выборки, определенный в п. А.1.2;

R_i - значение сопротивления i -го тензорезистора в выборке объема n ;

А.2.2 Для каждой поверочной точки вычисляют статистику качества для верхней и нижней границ поля допуска по формулам:

$$Q_U = \frac{U - \bar{R}}{S}; \quad (\text{A.2})$$

$$Q_L = \frac{\bar{R} - L}{S}, \quad (\text{A.3})$$

где Q_U и Q_L - верхняя и нижняя статистики качества, Ом;

U - верхняя граница поля допуска ($U = \bar{R} + 0,005 \cdot \bar{R}$), Ом;

L - нижняя граница поля допуска ($L = \bar{R} - 0,005 \cdot \bar{R}$), Ом.

А.3 Критерии приемки/отклонения партии

А.3.1 Сравнивают Q_U и Q_L (вычисленные в п. А.2.2) с контрольным нормативом формы k , определенным по таблице А.2. Если статистики качества больше или равны контрольному нормативу, партию принимают, в противном случае проводят сплошной контроль.