

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии  
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.

«30» января 2024 г.

«ГСИ. Установка с балками постоянного сечения,  
нагружаемыми по схеме чистого изгиба.

Методика поверки»

МП 112-233-2023

г. 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 Трибушевская Л.А.

Согласована: УНИИМ – филиалом ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Введена впервые

## Содержание

<b>1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>4</b>
<b>2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ .....</b>	<b>5</b>
<b>3 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ .....</b>	<b>5</b>
<b>4 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ .....</b>	<b>6</b>
<b>5 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ .....</b>	<b>6</b>
<b>6 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ....</b>	<b>6</b>
<b>7 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ .....</b>	<b>8</b>
<b>8 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....</b>	<b>9</b>
<b>9 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....</b>	<b>9</b>
<b>10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ .....</b>	<b>11</b>
<b>11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ .....</b>	<b>16</b>

Государственная система обеспечения единства измерений  
**Установка с балками постоянного сечения, нагружаемыми по схеме чистого изгиба**  
 Методика поверки

Дата введения в действия « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ г.

## 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на Установку с балками постоянного сечения, нагружаемыми по схеме чистого изгиба (далее – установка), заводской № 07, предназначенную для воспроизведения и измерений деформации при определении характеристик тензорезисторов при градуировке, поверке и испытаниях.

1.2 Поверка установки должна проводиться в соответствии с требованиями настоящей методики.

1.3 При проведении поверки должна обеспечиваться прослеживаемость установки к Государственному первичному эталону единицы длины – метра ГЭТ 2-2021 путем применения исходного эталона единицы деформации в диапазоне значений от минус 5000 до 5000 млн<sup>-1</sup> 3.1.ZZB.0402.2021 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.

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

1.5 Настоящая методика поверки применяется для поверки установки в качестве рабочего эталона 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. В результате поверки должны быть подтверждены метрологические и технические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические и технические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Пределы измерений деформации при нормальных условиях, млн <sup>-1</sup>	± 3000
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений деформации в поддиапазоне измерений от -1000 до 1000 млн <sup>-1</sup> включ., млн <sup>-1</sup>	± 8
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений деформации в поддиапазонах измерений от -3000 до -1000 млн <sup>-1</sup> включ. и св. 1000 до 3000 млн <sup>-1</sup> включ., %	± 0,5
Временная нестабильность поддержания деформации 1000 млн <sup>-1</sup> при нормальных условиях, млн <sup>-1</sup> , не более	1
Гистерезис при нормальных условиях, млн <sup>-1</sup>	± 2
Пределы измерений деформации при высокотемпературных испытаниях, млн <sup>-1</sup>	± 1000
Неравномерность поля деформации рабочей зоны балки для высокотемпературных испытаний, млн <sup>-1</sup> , не более	20
Временная нестабильность поддержания деформации 1000 млн <sup>-1</sup> при максимальной температуре, млн <sup>-1</sup> , не более	85
Гистерезис при максимальной температуре, млн <sup>-1</sup>	± 20



Наименование характеристики	Значение
Номинальные размеры балки для нормальных условий, мм	
- длина	530
- ширина	14
- толщина	6
Номинальные размеры балки для высокотемпературных испытаний, мм	
- длина	600
- ширина	12
- толщина	6
Номинальная база при измерении прогиба (расстояние между опорами прогибомера), мм	200
Длина рабочих участков балок, мм, не менее	185
Допуск параллельности рабочих граней балок, мм	0,01
Допуск параллельности боковых граней балок, мм	0,01
Допуск плоскостности рабочих граней балок, мм	0,08

## 2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

2.1 В настоящей методике использованы ссылки на следующие документы:

ГОСТ 166-89	Штангенциркули. Технические условия;
ГОСТ 10905-86	Плиты поверочные и разметочные. Технические условия (с Изменением N 1);
ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002	Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2.

*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.*

## 3 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

3.1 Первичную поверку установки выполняют до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта и замены отдельных блоков, балок.

3.2 Периодическую поверку выполняют в процессе эксплуатации установки.

3.3 При проведении первичной и периодической поверок установки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 - Операции поверки

Наименование операции	Обязательность проведения операций при		Пункт методики поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	да	да	8
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	да	да	9
Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	да	да	10
Определение метрологических характеристик средства измерений при нормальных условиях	да	да	10.1
Определение диапазона измерений и погрешности измерений деформации при нормальных условиях	да	да	10.1.1
Определение нестабильности поддержания деформации $1000 \text{ млн}^{-1}$ при нормальных условиях	да	да	10.1.2
Определение гистерезиса при нормальных условиях	да	да	10.1.3
Определение метрологических характеристик средства измерений для высокотемпературных испытаний	да	да	10.2
Определение неравномерности поля деформации рабочей зоны балки для высокотемпературных испытаний	да	да	10.2.1

#### 4 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

4.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия, если не оговорено особо:

- температура окружающего воздуха, °С от + 15 до + 25;
- изменение температуры окружающего воздуха в течение часа, °С, не более 1,0;
- относительная влажность воздуха, %, не более 80.

#### 5 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

5.1 К проведению работ по поверке установки допускаются лица, прошедшие специальное обучение на поверителя, ознакомившиеся с эксплуатационной документацией на установку, прошедшие инструктаж по технике безопасности, работающие в метрологической службе предприятия, аккредитованной на право поверки средств измерений, ознакомившиеся с настоящей методикой поверки и руководством по эксплуатации (РЭ) установки.

#### 6 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки должны быть использованы средства поверки, указанные в таблице 3.



Таблица 3 - Средства поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
Раздел 9 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	<p>Средство измерений температуры и относительной влажности с диапазонами измерений, охватывающими условия по п. 4.1;</p> <p>Оптиметр электронный горизонтальный, диапазон измерений (0-500) мм, <math>\Delta = \pm 0,3</math> мкм;</p> <p>Щупы, (0,02-0,5) мм, отклонения толщины в пределах <math>\pm 16</math> мкм, желобчатость не превышает 12 мкм;</p> <p>Плита поверочная и разметочная 630×400 мм, класс точности 2 по ГОСТ 10905-86;</p> <p>Линейка измерительная металлическая, диапазон измерений (0-1000) мм, <math>\Delta = \pm 0,2</math> мм;</p> <p>Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 по ГОСТ 166, диапазон измерений от 0 до 250 мм, <math>\Delta = \pm 0,05</math> мм.</p>	<p>Термогигрометр электронный CENTER-313, рег. № 22129-09</p> <p>Оптиметр электронный горизонтальный ИКГ-3э, рег. №52617-13;</p> <p>Щупы, (0,02-0,5) мм, 2 класс точности, рег. № 369-89;</p> <p>Плита поверочная и разметочная 1600×2500 мм, класс точности 2, рег. № 11605-00;</p> <p>Линейка измерительная металлическая, диапазон измерений (0-1000) мм, <math>\Delta = \pm 0,2</math> мм, рег. № 18756-99;</p> <p>Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 по ГОСТ 166, диапазон измерений от 0 до 250 мм, <math>\Delta = \pm 0,05</math> мм, рег. № 22088-07.</p>
п. 10.1.1 Определение диапазона измерений и погрешности измерений деформации при нормальных условиях	<p>Эталон единицы деформации в диапазонах значений от минус 3000 до минус 1000 и от 1000 до 3000 млн<sup>-1</sup>, <math>\delta = \pm 0,2</math> % и в диапазоне от минус 1000 до 1000 млн<sup>-1</sup>, <math>\Delta = \pm 4</math> млн<sup>-1</sup>;</p> <p>Средство измерений длины от 0 до 25 мм, <math>\Delta = \pm 4</math> мкм;</p> <p>Линейка измерительная металлическая, диапазон измерений (0-1000) мм, <math>\Delta = \pm 0,2</math> мм;</p> <p>Плита поверочная и разметочная 630×400 мм, класс точности 2 по ГОСТ 10905-86.</p>	<p>Исходный эталон по ЛПС* единицы деформации в диапазоне значений от минус 5000 до 5000 млн<sup>-1</sup>, 3.1.ZZB.0402.2021;</p> <p>Микрометр МК 25, диапазон измерений (0-25) мм, <math>\Delta = \pm 4</math> мкм, рег. № 32779-06;</p> <p>Линейка измерительная металлическая, диапазон измерений (0-1000) мм, <math>\Delta = \pm 0,2</math> мм, рег. № 18756-99;</p> <p>Плита поверочная и разметочная 1600×2500 мм, класс точности 2, рег. № 11605-00.</p>
п. 10.1.2 Определение нестабильности поддержания деформации 1000 млн <sup>-1</sup> при нормальных условиях	<p>Секундомер механический СОСпр-26-2, Диапазон измерений от 0 до 600 с, <math>\Delta = \pm 0,6</math> с;</p> <p>Эталон единицы деформации в диапазонах значений от минус 3000 до минус 1000 и от 1000 до 3000 млн<sup>-1</sup>, <math>\delta = \pm 0,2</math> % и в диапазоне от минус 1000 до 1000 млн<sup>-1</sup>; <math>\Delta = \pm 4</math> млн<sup>-1</sup>;</p>	<p>Секундомер механический СОСпр-26-2, диапазон измерений от 0 до 600 с, <math>\Delta = \pm 0,6</math> с, рег. № 11519-11;</p> <p>Исходный эталон по ЛПС* единицы деформации в диапазоне значений от минус 5000 до 5000 млн<sup>-1</sup>, 3.1.ZZB.0402.2021;</p>
п. 10.1.3 Определение гистерезиса при нормальных условиях	<p>Эталон единицы деформации в диапазонах значений от минус 3000 до минус 1000 и от 1000 до 3000 млн<sup>-1</sup>, <math>\delta = \pm 0,2</math> % и в диапа-</p>	<p>Исходный эталон по ЛПС* единицы деформации в диапазоне значений от минус 5000 до 5000 млн<sup>-1</sup>,</p>



Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	зоне от минус 1000 до 1000 млн <sup>-1</sup> ; $\Delta = \pm 4$ млн <sup>-1</sup> .	3.1.ZZB.0402.2021.
п. 10.2.1 Определение неравномерности поля деформации рабочей зоны балки для высокотемпературных испытаний	Эталон единицы деформации в диапазонах значений от минус 3000 до минус 1000 и от 1000 до 3000 млн <sup>-1</sup> , $\delta = \pm 0,2$ % и в диапазоне от минус 1000 до 1000 млн <sup>-1</sup> ; $\Delta = \pm 4$ млн <sup>-1</sup>	Исходный эталон по ЛПС* единицы деформации в диапазоне значений от минус 5000 до 5000 млн <sup>-1</sup> , 3.1.ZZB.0402.2021
* - 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.		

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

6.3 Для проведения поверки допускается применение других средств поверки, не приведенных в таблице 3, утвержденных и аттестованных эталонов единиц величин, средств измерений утвержденного типа и поверенных, удовлетворяющих метрологическим требованиям, указанным в таблице 3, обеспечивающих не менее чем двукратный запас по точности передачи единицы деформации установкам.

## 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 поверяемую установку.

7.2 Запрещается проводить какие-либо работы, в том числе подготовительные с установкой и установленной в ней нагруженной балкой и балкой под напряжением.

7.3 Меры предосторожности при наклейке и монтаже тензорезисторов:

- работы с легковоспламеняющимися веществами допускается производить только в спецодежде при наличии вытяжной вентиляции. Необходимо избегать близости открытого огня и нагретых поверхностей;

- при наклейке тензорезисторов быстросхватывающими клеями необходимо избегать попадания клея на участки кожи. При попадании на кожу указанных веществ необходимо смыть их проточной водой, не втирая в кожу. После окончания наклейки необходимо обязательно вымыть руки с мылом;

- помещение, в котором производится наклейка тензорезисторов должно быть оборудовано средствами пожаротушения и водоснабжением;

- электромонтаж измерительной схемы должен производиться только после удаления легковоспламеняющихся веществ из зоны производимых работ;

- перед началом монтажа необходимо проверить наличие заземления объекта наклейки (монтажа);

- при выявлении отклонений в работе установки, необходимо немедленно отключить ее от электросети, выявить причины и устранить дефекты.



## 8 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Провести визуальную проверку внешнего вида и комплектности установки. При внешнем осмотре устанавливают соответствие установки следующим требованиям:

- корпуса составных частей, элементы измерительной схемы и органы управления установки не должны иметь механических повреждений;
- токопроводящие кабели не должны иметь повреждений электрической изоляции;
- установка должна иметь заземляющие устройства;
- комплектность установки должна соответствовать комплектности, указанной в РЭ;
- маркировка установки должна содержать заводской номер;
- индикатор часового типа торговой марки "NORGAU" серии 042 042 входящий в состав установки (далее – индикатор) должен быть поверен;
- измеритель-регулятор микропроцессорный ТРМ210 и преобразователь термоэлектрический ТП-К, используемые для регулировки и измерений температуры балки для высокотемпературных испытаний должны быть поверены.

8.2 В случае если при внешнем осмотре установки 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 *Подготовка к поверке*

9.1.1 Перед поверкой средства поверки и установка должны быть выдержаны в условиях поверки не менее двух часов.

9.1.2 Проводят контроль условий поверки с помощью термогигрометра на соответствие требованиям п. 4.1 настоящей методики.

9.1.3 При первичной поверке проводят определение базы прогибомера с помощью штангенциркуля, посредством прямых измерений. Рабочая зона определяется участком балки, который находится в состоянии чистого изгиба между опорами прогибомера за вычетом толщины балки от краев этого участка.

9.1.4 Длину базы прогибомера и рабочую зону балки заносят в протокол.

9.1.5 При первичной поверке, обусловленной заменой или ремонтом балки, а также вводом в эксплуатацию новой балки, проводят проверку на соответствие геометрических параметров балки техническим требованиям с помощью оптиметра в следующей последовательности:

- достать балку из установки и разместить на ровной устойчивой поверхности;
- разметку балки выполнить карандашом с твердостью грифеля «Т» («Н») с помощью металлической линейки;
- количество поперечных сечений не менее 10 в рабочей зоне балки, при этом рабочая зона определяется участком балки, который находится в состоянии чистого изгиба за вычетом двукратной толщины балки от краев этого участка;
- по ширине балки обозначить продольное сечение по центру;
- толщину балки измерить три раза в точках пересечения продольного и поперечных сечений, ширину балки измеряют однократно в тех же поперечных сечениях;
- длину балки определить с помощью линейки измерительной, методом однократных прямых измерений.

9.1.6 Ширину балки определить по формуле

$$b = \frac{\sum_{j=1}^M b_j}{M}, \quad (1)$$

где  $b$  – общая средняя ширина балки, мм;  
 $b_j$  – ширина балки в  $j$ -ом сечении, мм;  
 $M$  – количество сечений в рабочей зоне балки.

9.1.7 Толщину балки определить для каждого сечения, как среднее арифметическое значение толщины балки на рабочем участке балки, по формуле

$$h = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N h_{ji}}{M \cdot N}, \quad (2)$$

где  $h$  – общая средняя толщина балки, мм;  
 $h_{ji}$  – результат измерений толщины балки в  $j$ -ом сечении в условиях повторяемости, мм;  
 $M$  – количество сечений в рабочей зоне балки;  
 $N$  – количество определений толщины балки в  $j$ -ом сечении в условиях повторяемости;  
 $i$  – индекс, соответствующий порядковому номеру определения параметра в условиях повторяемости.

9.1.8 Непараллельность оценить путем определения максимальной разности (по модулю) значений толщины (ширины) балки.

9.1.9 Непараллельность рабочих и боковых граней балки в рабочей зоне должна соответствовать РЭ.

9.1.10 Для определения первоначального изгиба и отклонений от плоскостности балки в вертикальной плоскости, балку поместить на плиту поверочную и разметочную. Затем, подбирая щуп, определить максимальный изгиб между поверхностью балки и плитой поверочной. Первоначальный изгиб балки соответствует толщине щупа.

9.1.11 Отклонения от плоскостности рабочей поверхности балки не должны превышать 80 мкм.

9.1.12 Результаты проверки признают положительными, если длина базы прогибомера и геометрические параметры балки соответствуют значениям, указанным в РЭ.

## 9.2 *Опробование средства измерений*

9.2.1 Руководствуясь указаниями эксплуатационной документации (ЭД), подготовить установку к работе и проверить:

- положение балки на опорах. Торцы балки должны находиться на одинаковом расстоянии относительно нижних опор. Контакт верхних и нижних роликов с поверхностью балки должен исключать наличие световых клиньев при оценке на просвет. Операцию повторяют перед каждым нагружением;

- возможность нагружения и разгрузки балки в рабочем диапазоне деформации;
- изменение показаний индикатора при деформировании балки;
- плавность нагружения – при нагружении балки показания индикатора плавные и поступательные.



9.2.2 Работоспособность системы температурной допускается провести после проверки установки при нормальных условиях, так как требуется переустановка опорных роликов с регулировкой.

9.2.3 Диапазон рабочих температур балки для высокотемпературных испытаний подтверждается:

- использованием средств регулировки и измерений температуры утвержденного типа. Средства измерений должны быть поверены;

- возможностью регулировки температуры балки в рабочем диапазоне по показаниям измерителя-регулятора микропроцессорного при воспроизведении температур балки до 900 °С, нижняя граница диапазона соответствует температуре окружающего воздуха.

9.2.4 Если не выполняются требования пп. 9.2.1 -9.2.3 установку признают непригодной к применению, дальнейшие операции поверки не производят.

## **10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ**

10.1 **Определение метрологических характеристик средства измерений при нормальных условиях**

10.1.1 *Определение диапазона измерений и погрешности измерений деформации при нормальных условиях*

Определить действительные размеры поперечного сечения балки с помощью микрометра в следующей последовательности:

- достать балку из установки и разместить на поверхности контрольно-разметочной плиты;

- разметку градуировочной балки выполнить карандашом «Т» («Н») с помощью металлической линейки;

- количество поперечных сечений не менее 10 в рабочей зоне балки, при этом рабочая зона определяется участком балки, который находится в состоянии чистого изгиба за вычетом двукратной толщины балки от краев этого участка;

- по ширине балки нанести три продольных сечения с отступом от краев балки;

- толщину балки  $h$  измерить три раза в точках пересечения продольных и поперечных сечений, ширину балки измерить однократно в тех же поперечных сечениях.

Разность между результатами отдельного наблюдения и средним арифметическим значением толщины балки не должна быть более 10 мкм.

Наклеить на градуировочную балку не менее 10 штук тензорезисторов из состава рабочего эталона деформации. Произвести монтаж тензорезисторов на рабочей и компенсационной балках и сборку измерительной схемы полумост с одним компенсационным на группу. Выбрать тензорезистор, используемый в качестве компенсационного. Тензорезистор, используемый в качестве компенсационного, наклеить на образец из того же материала и поперечного сечения, что и балка.

Наклейку и контроль ее качества произвести в соответствии с нормативной документацией по наклейке используемых тензорезисторов. Главные оси тензорезисторов должны быть параллельны продольной оси балки, допускаемое отклонение должно быть не более  $\pm 1,5^\circ$ .

Измерить микрометром толщину балки вместе с наклеенными тензорезисторами в трех точках на каждом из пяти случайно выбранных тензорезисторах. Рассчитать среднее арифметическое значение толщины балки с тензорезисторами.



Определить расстояние от поверхности балки до середины высоты чувствительного элемента тензорезистора по формуле

$$\Delta h = \bar{h}_1 - h - h_2 - h_3, \quad (3)$$

где  $\Delta h$  – расстояние от поверхности балки до середины высоты чувствительного элемента тензорезистора, мм;  
 $h$  – толщина балки, определенная в п. 9.1.6, мм;  
 $\bar{h}_1$  – среднее арифметическое значение толщины балки с тензорезисторами, мм;  
 $h_2$  – толщина защитного элемента тензорезистора (при наличии), мм;  
 $h_3$  – половина толщины чувствительного элемента тензорезистора, мм.

Расчетное значение прогиба определяют по формулам:

$$f_j = \frac{A - \sqrt{A^2 - \varepsilon_{nj}^2 \cdot L^2}}{2 \cdot \varepsilon_{nj}}; \quad (4)$$

$$A = h + 2\Delta h - \varepsilon_{nj} \cdot h, \quad (5)$$

где  $f_i$  – расчетное значение прогиба, мм;  
 $\varepsilon_{nj}$  – номинальное значение деформации для  $j$ -ой ступени нагружения, млн<sup>-1</sup>;  
 $L$  – расстояние между верхними нажимными роликами, мм;  
 $h$  – толщина балки, определенная, мм;  
 $\Delta h$  – расстояние от поверхности балки до середины высоты чувствительного элемента тензорезистора, мм.

Установить балку свободно на опорах.

Балку подвергнуть трем тренировочным (без измерения выходных сигналов) циклам нагрузки деформацией близкой к 3000 млн<sup>-1</sup> и последующей разгрузкой.

Установить предварительный натяг, выбрав за начало отсчета момент изменения показаний индикатора, что соответствует касанию балкой неподвижных опор. Привести измерительный наконечник в контакт с градуировочной балкой. Произвести опрос измерительных каналов и принять в дальнейшем за нулевую ступень нагружения.

Произвести три цикла нагружения – разгрузки балки от деформации  $\varepsilon = 0$  млн<sup>-1</sup> до деформации  $\varepsilon = (3000 \pm 50)$  млн<sup>-1</sup> ступенями  $\varepsilon = 500$  млн<sup>-1</sup>, используя расчетные значения прогиба, и разгрузить теми же ступенями до  $\varepsilon = 0$  млн<sup>-1</sup>.

На каждой ступени нагружения – разгрузки балки производить опрос измерительных каналов.

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

Рассчитать изменение показаний для каждого измерительного канала по формуле

$$N_{ijkn} = N_{tijkn} - N_{0ijkn}, \quad (6)$$

где  $i$  – индекс, соответствующий порядковому номеру измерительного канала;  
 $j$  – индекс, соответствующий ступени нагружения;  
 $k$  – индекс, соответствующий порядковому номеру цикла нагружения;  
 $n$  – индекс, соответствующий порядковому номеру измерения в цикле;  
 $N_t$  – показания измерительного канала, мкВ/В (мкОм/Ом);  
 $N_0$  – показания измерительного канала при положении балки, принятом за нулевое, мкВ/В (мкОм/Ом).

Оценить средние значения изменения показаний для каждого измерительного канала в зависимости от ступени нагружения и дисперсию этих значений по формулам:

$$N_{ij} = \frac{1}{KU} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^U N_{ijkn}; \quad (7)$$

$$S_{ij}^2 = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^U (N_{ijkn} - N_{ij})^2}{K \cdot (U - 1)}, \quad (8)$$

- где  $N_{ij}$  – средние значения изменения показаний для каждого измерительного канала в зависимости от ступени нагружения, мкВ/В (мкОм/Ом);  
 $S_{ij}^2$  – дисперсия значений изменения показаний для каждого измерительного канала в зависимости от ступени нагружения, мкВ/В (мкОм/Ом).  
 $i$  – индекс, соответствующий порядковому номеру измерительного канала для одного из видов деформации (растяжение или сжатие);  
 $j$  – индекс, соответствующий ступени нагружения;  
 $k$  – индекс, соответствующий порядковому номеру цикла нагружения;  
 $n$  – индекс, соответствующий порядковому номеру измерения в цикле;  
 $K$  – количество циклов;  
 $U$  – количество измерений в цикле.

Проверка гипотезы о равенстве генеральных дисперсий, используя критерий Кохрена. Значение критерия Кохрена рассчитать по формуле

$$G_{j(\max)} = \frac{(S_{ij}^2)_{\max}}{\sum_{i=1}^i S_{ij}^2}, \quad (9)$$

- где  $S_{ij}^2$  – дисперсия значений изменения показаний для каждого измерительного канала в зависимости от ступени нагружения, мкВ/В (мкОм/Ом);  
 $i$  – индекс, соответствующий порядковому номеру измерительного канала;  
 $j$  – индекс, соответствующий ступени нагружения.

Полученные значения сравнить с значением этого критерия  $G_{\text{табл}}$ , представленным в ГОСТ Р ИСО 5725 (таблица 4). Если  $G_{m(\max)} > G_{\text{табл}}$ , то соответствующее  $(S_{ij}^2)_{\max}$  из дальнейших расчётов исключить и провести проверку для оставшихся дисперсий.

Неисключенные из расчетов каналы считать однородными и по ним произвести проверку средних значений, на наличие выбросов по критерию Граббса.

Для результатов анализа найти максимальные и минимальные значения изменений показаний измерительных каналов в зависимости от ступени нагружения. Рассчитать общее среднее значение результатов измерений и среднее квадратическое отклонение по формулам:

$$\bar{N}_j = \frac{\sum_{i=1}^I N_{ij}}{I}; \quad (10)$$

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^I (N_{ij} - \bar{N}_j)^2}{I - 1}}, \quad (11)$$

- где  $\bar{N}_j$  – общее среднее значение результатов измерений в зависимости от ступени нагружения, мкВ/В (мкОм/Ом);  
 $S_j$  – среднее квадратическое отклонение значение результатов измерений в зависимости от ступени нагружения, мкВ/В (мкОм/Ом);  
 $N_{ij}$  – средние значения изменения показаний для каждого измерительного канала в зависимости от ступени нагружения, мкВ/В (мкОм/Ом);



- $l$  – количество каналов после исключения из расчетов по критерию Кохрена;  
 $i$  – индекс, соответствующий порядковому номеру измерительного канала;  
 $j$  – индекс, соответствующий ступени нагружения.

Рассчитать критерий Граббса по формулам:

$$GR_{x(\max)} = \frac{\max_{1 \leq i \leq l} N_{ij} - \bar{N}_j}{S_j}; \quad (12)$$

$$GR_{x(\min)} = \frac{\bar{N}_j - \min_{1 \leq i \leq l} N_{ij}}{S_j}, \quad (13)$$

- где  $\bar{N}_j$  – общее среднее значение результатов измерений в зависимости от ступени нагружения, мкВ/В (мкОм/Ом);  
 $S_j$  – среднее квадратическое отклонение значение результатов измерений в зависимости от ступени нагружения, мкВ/В (мкОм/Ом);  
 $N_{ij}$  – средние значения изменения показаний для каждого измерительного канала в зависимости от ступени нагружения, мкВ/В (мкОм/Ом);  
 $i$  – индекс, соответствующий порядковому номеру измерительного канала;  
 $j$  – индекс, соответствующий ступени нагружения.

Полученные значения сравнить с критическим значением этого критерия  $GR_{\text{табл}}$ , представленным в ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002 (таблица 5). В случае если  $GR_{x(\max)} > GR_{\text{табл}}$  или (и)  $GR_{x(\min)} > GR_{\text{табл}}$ , то соответствующее  $\min_{1 \leq i \leq l} N_{ij}$  и (или)  $\max_{1 \leq i \leq l} N_{ij}$  из дальнейших расчётов исключают.

Определить абсолютную и относительную погрешности измерений деформации для каждой ступени деформации по формулам:

$$S_{\varepsilon j} = \frac{S_j}{k_j}; \quad (14)$$

$$\Delta_j = \frac{2,262 \cdot S_{\varepsilon j} + \theta_{\text{эт}}}{S_{\varepsilon j} + \sqrt{\frac{\theta_{\text{эт}}^2}{3}}} \cdot \sqrt{\frac{\theta_{\text{эт}}^2}{3} + S_{\varepsilon j}^2}; \quad (15)$$

$$\delta_j = \frac{\Delta_j}{j}, \quad j > 500 \text{ млн}^{-1}, \quad (16)$$

- где  $S_{\varepsilon j}$  – среднее квадратическое отклонение задания деформации для  $j$ -ой ступени деформации, млн<sup>-1</sup>;  
 $S_j$  – среднее квадратическое отклонение значение результатов измерений в зависимости от ступени нагружения, мкВ/В (мкОм/Ом);  
 $k_j$  – коэффициент преобразования компаратора для  $j$ -ой ступени нагружения;  
 $\Delta_j$  – абсолютная погрешность измерений деформации, млн<sup>-1</sup>;  
 $\theta_{\text{эт}}$  – предел допускаемой абсолютной погрешности эталона для  $j$ -ой ступени деформации, млн<sup>-1</sup>;  
 $\delta_j$  – относительная погрешность измерений деформации, млн<sup>-1</sup>;  
 $j$  – индекс, соответствующий ступени нагружения.

Абсолютная и относительная погрешности измерений деформации находятся в диапазоне значений, указанных в таблице 1.



### 10.1.2 *Определение нестабильности поддержания деформации 1000 млн<sup>-1</sup> при нормальных условиях*

Установить предварительный натяг, выбрав за начало отсчета момент изменения показаний индикатора, что соответствует касанию балкой неподвижных опор. Привести измерительный наконечник в контакт с градуировочной балкой и принять в дальнейшем за нулевую ступень нагружения.

Балку последовательно нагрузить от деформации  $\varepsilon = 0$  млн<sup>-1</sup> до  $\varepsilon = (1000 \pm 50)$  млн<sup>-1</sup>, снимая показания с индикатора. Время, затрачиваемое на нагружение балки до заданных деформаций, не должно превышать 2 мин.

Показания индикатора и измерительных каналов зарегистрировать через 60 мин.

Разгрузить балку до деформации  $\varepsilon = 0$  млн<sup>-1</sup>.

Результаты проверки признают положительными, если изменение показаний индикатора не превышает значений 2 мкм от начальных значений (соответствует изменению деформации балки 1 млн<sup>-1</sup>).

### 10.1.3 *Определение гистерезиса при нормальных условиях*

Установить предварительный натяг, выбрав за начало отсчета момент изменения показаний индикатора, что соответствует касанию балкой неподвижных опор. Привести измерительный наконечник в контакт с градуировочной балкой и принять в дальнейшем за нулевую ступень нагружения.

Балку последовательно нагрузить от деформации  $\varepsilon = 0$  млн<sup>-1</sup> до  $\varepsilon = (3000 \pm 50)$  млн<sup>-1</sup> и разгрузить до деформации  $\varepsilon = 0$  млн<sup>-1</sup>, снимая на каждом значении деформации показания с индикатора и измерительных каналов. Время, затрачиваемое на нагружение балки до заданных деформаций, не должно превышать 2 мин.

Результаты проверки признают положительными, если изменение показаний индикатора после нагружения не превышает  $\pm 3,5$  мкм (соответствует изменению деформации балки  $\pm 2$  млн<sup>-1</sup>).

## 10.2 **Определение метрологических характеристик средства измерений для высокотемпературных испытаний**

### 10.2.1 *Определение неравномерности поля деформации рабочей зоны балки для высокотемпературных испытаний*

Наклеить на балку для высокотемпературных испытаний не менее 10 штук тензорезисторов из состава рабочего эталона деформации. Произвести монтаж тензорезисторов согласно п. 10.1.1.

Подготовить установку к высокотемпературным испытаниям (замена балки и опорных роликов с регулировкой, закрепление защитных экранов).

Установить балку свободно на опорах.

Произвести три тренировочных цикла нагружения – разгружения от деформации  $\varepsilon = 0$  млн<sup>-1</sup> до  $\varepsilon = (1100 \pm 50)$  млн<sup>-1</sup>. Балку выдержать в разгруженном состоянии не менее пяти минут.

Установить предварительный натяг, выбрав за начало отсчета момент изменения показаний индикатора, что соответствует касанию балкой неподвижных опор. Привести измерительный наконечник в контакт с градуировочной балкой и принять в дальнейшем за нулевую ступень нагружения.

Произвести три цикла нагружения – разгружения балки от деформации  $\varepsilon = 0$  млн<sup>-1</sup> до деформации  $\varepsilon = (1000 \pm 50)$  млн<sup>-1</sup> ступенями  $\varepsilon = 500$  млн<sup>-1</sup>, используя ориентировочные значе-

ния прогиба, рассчитанные по формуле (4), и разгрузить теми же ступенями до  $\varepsilon = 0$  млн<sup>-1</sup>.

На каждой ступени нагружения – разгружения балки производить опрос измерительных каналов.

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

Рассчитать изменение показаний для каждого измерительного канала по формуле

$$N_{ijkn} = N_{tijkn} - N_{0ijkn}, \quad (17)$$

где  $i$  – индекс, соответствующий порядковому номеру измерительного канала;  
 $j$  – индекс, соответствующий ступени нагружения;  
 $k$  – индекс, соответствующий порядковому номеру цикла нагружения;  
 $n$  – индекс, соответствующий порядковому номеру измерения в цикле;  
 $N_t$  – показания измерительного канала, мкВ/В (мкОм/Ом);  
 $N_0$  – показания измерительного канала при положении балки, принятом за нулевое, мкВ/В (мкОм/Ом).

Для результатов анализа найти максимальные и минимальные значения изменений показаний измерительных каналов в зависимости от ступени нагружения.

Результаты проверки признают положительными, если разница между максимальным и минимальным значениями показаний измерительных каналов не превышает  $\pm 20$  млн<sup>-1</sup>.

## 11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

11.1 Результаты поверки оформляются протоколом произвольной формы.

11.2 При положительных результатах поверки установку признают пригодной 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 действующими на момент проведения поверки нормативно-правовыми актами в области обеспечения единства измерений.

И.о. заведующего лабораторией 233



Трибушевская Л.А.