

СОГЛАСОВАНО

Заместитель директора  
ФГУП «ВНИИОФИ»



И.С. Филимонов

2022 г.

**«ГСИ. Системы измерительные волоконно-оптические Si.**

**МЕТОДИКА ПОВЕРКИ**

**МП 009.Ф3-22**

Главный метролог  
ФГУП «ВНИИОФИ»

С.Н. Негода

« / » 2022 г.

Главный научный  
сотрудник  
ФГУП «ВНИИОФИ»

В.Н. Крутиков

« / » 2022 г.

Москва  
2022 г.

## 1 Общие положения

1.1 Настоящая методика распространяется на системы измерительные волоконно-оптические Si (далее – системы) и устанавливает методы и средства первичной и периодической поверки. Системы, состоящие из блока измерительного устройства и комплекта волоконно-оптических датчиков на основе решёток Брэгга (брэгговских датчиков), предназначены для измерений длины волны отражения брэгговских датчиков, а также для измерений, воздействующих на брэгговские датчики, температуры и деформации.

1.2 По итогам проведения поверки должна обеспечиваться прослеживаемость в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 05.12.2019 № 2862, к государственному первичному специальному эталону единиц длины и времени распространения сигнала в световоде, средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем передачи информации ГЭТ 170-2011, в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 29.12.2018 № 2840, к государственному первичному эталону единицы длины – метра ГЭТ 2-2021, в соответствии с государственной поверочной схемой ГОСТ 8.558-2009 к государственному первичному эталону единицы температуры в диапазоне от 0 до 3200 °С ГЭТ 34-2020 и государственному первичному эталону единицы температуры – кельвина в диапазоне от 0,3 до 273,16 К ГЭТ 35-2021.

Поверка систем выполняется методами сличений при помощи компаратора и прямых измерений.

1.3 Метрологические характеристики систем приведены в приложении Б.

## 2 Перечень операций поверки средства измерений

2.1 При проведении первичной и периодической поверок должны быть выполнены операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	8
Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	9
Определение метрологических характеристик средства измерений			10
Определение диапазона и пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений длин волн	Да	Да	10.1
Определение диапазона и пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры	Да	Нет	10.2

Определение диапазона и пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений деформации	Да	Нет	10.3
Подтверждение соответствия средства измерения метрологическим требованиям	Да	Да	11

2.2 При получении отрицательных результатов при проведении хотя бы одной операции поверка прекращается.

2.3 Поверку средства измерений осуществляют аккредитованные в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели.

### **3 Требования к условиям поверки**

3.1 Все операции поверки, за исключением особо оговоренных, проводят при следующих условиях:

- температура окружающей среды, °С от 15 до 25;
- относительная влажность воздуха, % не более 70;
- атмосферное давление, кПа от 96 до 104;
- напряжение питающей сети, В от 198 до 242;
- частота питающей сети, Гц от 49 до 51.

3.2 Помещение, где проводится поверка, должно быть чистым и сухим, свободным от пыли, паров кислот и щелочей. Допускаемый перепад температуры при проведении поверки – не более 2 °С.

### **4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку**

К проведению поверки допускают лиц, изучивших настоящую методику поверки и руководства по эксплуатации (далее – РЭ) поверяемой системы и средств поверки, а также их правила хранения и применения, имеющих квалификационную группу не ниже III в соответствии с правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, указанных в приложении к приказу Министерства труда и социальной защиты РФ от 15.12.2020 № 903н, и имеющих опыт работы с высокоточными средствами измерений в области волоконно-оптических систем передачи информации; прошедших обучение на право проведения поверки по требуемому виду измерений.

### **5 Метрологические и технические требования к средствам поверки**

5.1 При проведении первичной и периодической поверок применяются средства поверки, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства поверки

Операция поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	<p>Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне от 15 до 25 °С с абсолютной погрешностью не более 0,2 °С;</p> <p>Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне до 80 % с абсолютной погрешностью не более 2 %;</p> <p>Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 84 до 106 кПа с абсолютной погрешностью не более 0,13 кПа</p>	Приборы контроля параметров воздушной среды «Метеометр МЭС-200А», рег. № 27468-04
	<p>Средства измерений частоты переменного тока от 40 до 60 Гц с относительной погрешностью не более 0,01 %;</p> <p>Средства измерений напряжения переменного тока до 600 В с относительной погрешностью не более 0,1 %</p>	Вольтметры универсальные НМ8112-3S, рег. № 50576-12
п. 10.1 Определение диапазона измерений длин волн и пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений длин волн	<p>Эталон единицы длины волны оптического излучения в волоконно-оптических системах передачи, не ниже уровня Государственного первичного специального эталона по государственной поверочной схеме, утвержденной приказом Росстандарта от 05.12.2019 № 2862, в диапазоне воспроизведения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- единицы длины волны оптического излучения от 0,6 до 1,7 мкм;</li> <li>- неисключенная систематическая погрешность при воспроизведении единицы длины волны: <math>1,17 \cdot 10^{-7}</math> мкм;</li> <li>- среднее квадратическое отклонение при воспроизведении единицы длины волны, не более: <math>5,31 \cdot 10^{-9}</math> мкм.</li> </ul>	Государственный первичный специальный эталон единиц длины и времени распространения сигнала в световоде, средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем передачи информации ГЭТ 170-2011 (далее – ГЭТ 170)
	<p>Эталоны средней мощности оптического излучения в волоконно-оптических системах передачи, не ниже уровня рабочего эталона по государственной поверочной схеме, утвержденной приказом Росстандарта от 05.12.2019 №2862, в диапазоне измерений:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- средней мощности оптического излучения: <math>10^{-10}</math> – 1 Вт;</li> <li>- длин волн исследуемого излучения: 0,5 – 1,7 мкм;</li> <li>- пределы допускаемой относительной погрешности измерений средней мощности оптического излучения в рабочем спектральном диапазоне: <math>\pm 5</math> %.</li> </ul>	Государственный рабочий эталон единиц средней мощности и ослабления оптического излучения в волоконно-оптических системах передачи в диапазоне значений от $10^{-10}$ до 1 Вт на длинах волн от 500 до 1700 нм (далее – РЭСМ), рег. № 3.1.ZZA.0100.2017

п. 10.3 Определение диапазона и пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений деформации	Эталоны единицы длины, не ниже уровня 2-го разряда по государственной поверочной схеме, утвержденной приказом Росстандарта от 29.12.18 № 2840, в диапазоне измерений линейных перемещений от 0 до 80000 мм с абсолютной погрешностью не более $\pm (0,02 + 0,5 \cdot L)$ мкм, где $L$ – измеряемое перемещение, м.	Система лазерная измерительная XL-80, рег. № 35362-13
п. 10.2 Определение диапазона и пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры	Эталоны единицы температуры, не ниже уровня-рабочего эталона третьего разряда по ГОСТ 8.558-2009, в диапазоне измерений температуры от минус 80 до плюс 200 °С с абсолютной погрешностью не более $\pm (0,02 + 5 \cdot 10^{-5} \cdot t)$ °С, где $t$ – значение температуры, °С	Термометр сопротивления платиновый вибропрочный ТСРВ-1, рег. № 50256-12
п. 10.2 Определение диапазона и пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры	Средства измерений температуры в диапазоне от минус 200 до плюс 500 °С с абсолютной погрешностью не более $\pm (0,004 + 10^{-5} \cdot t)$ °С, где $t$ – значение температуры, °С	Измеритель температуры двухканальный прецизионный МИТ 2.05, рег. № 46432-11
<b>Вспомогательное оборудование</b>		
	Волоконный интерферометр FFP-I. Рабочий диапазон длин волн от 1500 до 1600 нм	
	Термостат жидкостной лабораторный HUBER CC-410. Рабочий диапазон температур от минус 40 до плюс 160 °С	
	Модуль линейного перемещения с диапазоном перемещений подвижной части не менее 10 мм	
	Спирт изопропиловый по ГОСТ 9805-84	

5.2 Допускается применение других средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых средств измерений с требуемой точностью.

5.3 Средства поверки, используемые при проведении поверки, должны быть аттестованы (поверены) в установленном порядке.

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

6.1 При проведении поверки соблюдают требования, установленные ГОСТ 12.1.040-83, правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, указанными в приложении к приказу Министерства труда и социальной защиты РФ от 15.12.2020 № 903н, нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров по ГОСТ 31581-2012. Оборудование, применяемое при поверке, должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003-91. Воздух рабочей зоны должен соответствовать ГОСТ 12.1.005-88 при температуре помещения, соответствующей условиям испытаний для легких физических работ.

6.2 Система электрического питания системы должна быть защищена от колебаний и пиков сетевого напряжения, искровые генераторы не должны устанавливаться вблизи поверяемой системы.

6.3 Помещение, в котором проводится поверка, должно соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83.

## **7 Внешний осмотр средства измерений**

7.1 Комплектность поверяемой системы должна соответствовать комплектности, приведенной в нормативной документации (РЭ и описание типа (далее – ОТ)).

7.2 При внешнем осмотре должно быть установлено:

- наличие маркировки, подтверждающей тип и идентифицирующей поверяемой системы;
- отсутствие на наружных поверхностях поверяемой системы повреждений, влияющих на его работоспособность;
- отсутствие ослаблений элементов конструкции, сохранность пломб, чистота разъемов;
- целостность волоконно-оптических кабелей и разъемов поверяемой системы.


7.3 Система считается прошедшей операцию поверки с положительным результатом, если корпус, внешние элементы, органы управления и индикации не повреждены, отсутствуют механические повреждения и ослабления элементов конструкции, а комплектность системы соответствует таблице состава РЭ и ОТ.

## **8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений**

8.1 Устанавливают на рабочем месте систему, а также измеритель мощности и аттенуатор из состава РЭСМ-ВС; волоконно-оптический интерферометр Фабри-Перо, перестраиваемый лазер OSICS-T100 и измеритель длины волны WS Ultimate 2 IR из состава ГЭТ 170. Соединяют систему с помощью кабеля Ethernet RJ45 с персональным компьютером (ПК).

Протирают специальным тампоном, смоченным изопропиловым спиртом по ГОСТ 9805-84, оптические разъемы поверяемой системы, а также аттенуатора и измерителя мощности из состава РЭСМ-ВС, измерителя длины волны, перестраиваемого лазера, интерферометра Фабри-Перо. Протирают специальной салфеткой, смоченной изопропиловым спиртом, торцы волоконно-оптических кабелей, и ответвителей волоконно-оптических PLC с коэффициентом деления 50/50, используемых при проведении поверки.

8.2 Подготавливают систему к работе согласно её РЭ. С помощью персонального компьютера (ПЭВМ) запускают программное обеспечение (ПО) системы. Осуществляют настройку подключения системы к ПЭВМ согласно РЭ. Проводят прогрев всех включенных приборов в течение получаса если иное не указано в их РЭ.

8.3 Подключают к измерительному устройству брэгговский датчик (при первичной поверке) с помощью волоконно-оптического кабеля. Проводят одиночное сканирование, нажав на кнопку , и убеждаются в наличии пика отражения от подключённого брэгговского датчика (см. рисунок 1).

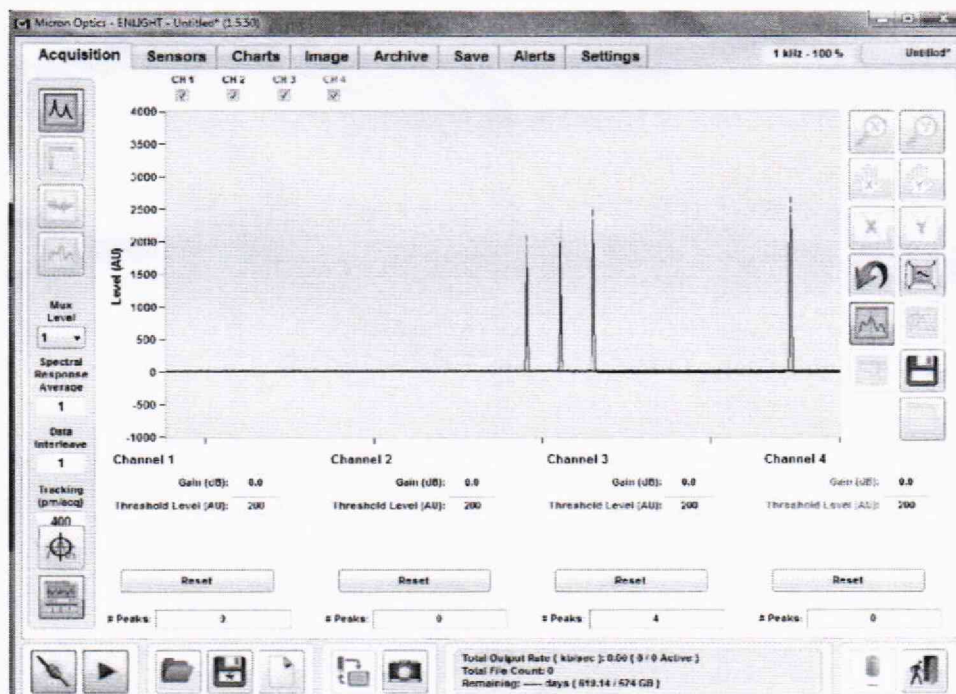


Рисунок 1 – Внешний вид главного окна ПО

8.4 Система считается прошедшей операцию поверки с положительным результатом, если его ПО запускается и отображается на экране ПЭВМ в виде соответствующего окна приложения согласно описанию в РЭ, установлена связь системы с ПЭВМ в соответствии с описанием в РЭ, в графической части окна приложения присутствует пик отражения от подключенного датчика.

## 9 Проверка программного обеспечения средства измерений

9.1 Проверяют соответствие заявленных идентификационных данных ПО сведениям, приведенным в ОТ на системы. Для этого включают системы и ПК, запускают файл ПО ENLIGHT, в появившемся главном окне активируют раздел меню со значком «Settings» (см. рисунок 2) и в выпадающем окне находят идентификационные данные ПО.

9.2 Система считается прошедшей операцию поверки с положительным результатом, если идентификационные данные ПО соответствуют значениям, приведенным в таблице 3.

Таблица 3 – Идентификационные данные ПО

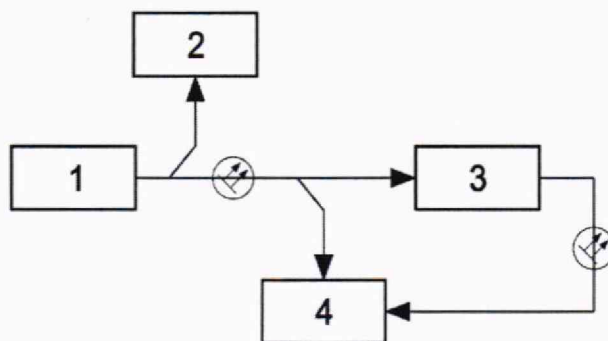
Идентификационные данные (признаки) ПО	Значение
Идентификационное наименование ПО	ENLIGHT
Номер версии (идентификационный номер) ПО	1.18.1 и выше
Цифровой идентификатор ПО	—

## 10 Определение метрологических характеристик средства измерений

### 10.1 Определение диапазона измерений длин волн и пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений длин волн

Для определения диапазона и пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений длин волн с помощью системы используют эталонную аппаратуру для воспроизведения единицы длины волны из состава ГЭТ 170, эталонное средство измерений (СИ) средней мощности оптического излучения из состава РЭСМ-ВС и волоконно-оптический интерферометр Фабри-Перо.

10.1.1 Собирают установку согласно схеме, приведенной на рисунке 1. Подключают выходной волоконно-оптический разъем перестраиваемого лазера OSICS T100 с помощью двух волоконно-оптических ответвителей к входному волоконно-оптическому разъему эталонного измерителя длины волны (ИДВ) из состава ГЭТ 170, к первому каналу эталонного СИ средней мощности оптического излучения из состава РЭСМ и к одному из волоконно-оптических разъемов интерферометра Фабри-Перо. Второй волоконно-оптический разъем интерферометра Фабри-Перо подключают ко второму каналу эталонного СИ средней мощности оптического излучения из состава РЭСМ.



1 – перестраиваемый лазер OSICS T100; 2 – эталонный измеритель длины волны из состава ГЭТ 170; 3 – интерферометр Фабри-Перо; 4 – эталонное СИ средней мощности оптического излучения из состава РЭСМ

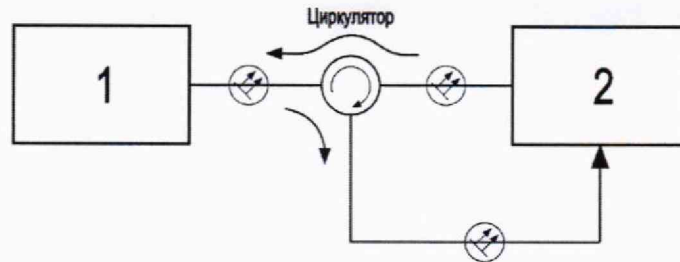
Рисунок 2 – Схема установки для измерений длин волн резонансных пиков интерферометра Фабри-Перо с помощью эталонной аппаратуры ГЭТ 170

10.1.2 Выбирают резонансный пик интерферометра Фабри-Перо с ближайшей длиной волны к нижнему краю диапазона поверяемой системы,  $\lambda_{min}$ , нм. В окрестности выбранного пика производят сканирование по длине волны с помощью перестраиваемого лазера OSICS T100. Диапазон сканирования устанавливают в зависимости от ширины резонансного пика таким образом, чтобы на полученной зависимости уровня средней мощности от длины волны отражался весь пик целиком. Для получения максимальной точности определения длины волны резонансного пика используют минимальный шаг перестройки длины волны, обеспечиваемый перестраиваемым лазером OSICS T100. Фиксируют актуальные значения длины волны и уровня средней мощности лазера  $\lambda_L$ , нм, и  $P_L$ , мВт, с помощью ИДВ и первого канала эталонного СИ средней мощности из состава РЭСМ соответственно, а также уровень средней мощности оптического излучения на выходе фильтра Фабри-Перо  $P_K$ , мВт, с помощью второго канала эталонного СИ средней мощности оптического излучения из состава РЭСМ при каждом приращении длины волны во время сканирования. Полученные результаты измерений загружают в программу математической обработки данных, где строят массивы полученных данных  $\lambda_L$ , нм,  $P_L$ , мВт,  $P_K$ , мВт. Производят деление  $P_K$ , мВт, на  $P_L$ , мВт, получая значения  $P_{K\_N}$ , чтобы избавиться от влияния на результат измерений нестабильности уровня средней мощности перестраиваемого лазера и систематической погрешности эталонного СИ средней мощности оптического излучения из состава РЭСМ во время сканирования. Полученную нормированную зависимость  $P_{K\_N}$  от  $\lambda_L$ , нм, аппроксимируют функцией Гаусса в диапазоне полуширины резонансного пика согласно РЭ программы математической обработки данных. Определяют значение из массива  $\lambda_L$ , нм, которому соответствует максимум аппроксимирующей кривой  $P_{K\_N\_A}$  согласно РЭ программы математической обработки данных. Фиксируют длину волны резонансного пика  $\lambda_{ref\_i}$ , нм, соответствующую  $\lambda_L$ , нм, где  $i$  – номер измерения.



10.1.3 Повторяют операции по п. 10.1.2, каждый раз измеряя длины волн резонансных пиков  $\lambda_{ref\_i}$ , нм, где  $i = (1; 5)$ , 5 раз.

10.1.4 Собирают установку согласно схеме, приведенной на рисунке 3. Подключают выходной волоконно-оптический разъем поверяемой системы к интерферометру Фабри-Перо с помощью волоконно-оптического циркулятора.



1 – поверяемая система; 2 – интерферометр Фабри-Перо

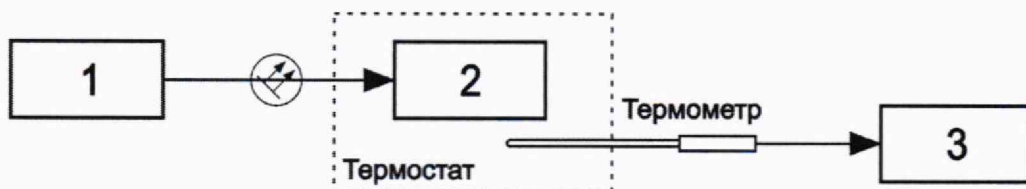
Рисунок 3 – Схема установки для измерений длин волн резонансных пиков интерферометра Фабри-Перо с помощью системы

10.1.5 Проводят измерения длин волн резонансных пиков  $\lambda_i$ , нм, где  $i = (1; 5)$ , 5 раз, согласно РЭ. Резонансный пик интерферометра Фабри-Перо выбирают аналогично п. 10.1.2.

10.1.6 Повторяют операции по п. 10.1.2 – 10.1.5 для резонансных пиков интерферометра Фабри-Перо, соответствующих середине и верхней границе диапазона измерений длин волн поверяемой системы  $\lambda_{mid}$ , нм, и  $\lambda_{max}$ , нм, соответственно.

## 10.2 Определение диапазона и пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры

10.2.1 Собирают установку согласно схеме, приведенной на рисунке 4. Для этого опускают брэгговский датчик температуры (2) из состава поверяемой системы в жидкостной термостат и подключают его с помощью волоконно-оптического соединительного кабеля к измерительному устройству (1) из состава поверяемой системы.



1 – измерительное устройство из состава поверяемой системы; 2 – брэгговский датчик температуры из состава поверяемой системы; 3 – измеритель температуры МИТ 2.05

Рисунок 4 – Блок-схема установки для измерений температуры.

10.2.2 Вставляют в соответствующее отверстия в крышке жидкостного термостата термометр сопротивления ТСРВ-1 и подключают его к измерителю температуры МИТ 2.05. Опускают температуру в жидкостном термостате до минус 40 °С в соответствии с его РЭ. Скорость снижения температуры задают не более 10 °С в час. Выжидают 30 минут после достижения заданной температуры и измеряют её значение в жидкостном термостате с помощью МИТ 2.05 в соответствии с его РЭ  $T-40\_ref_i$ , °С, где  $i = (1; n)$ , где  $n$  – количество измерений температуры. Указанные измерения проводят  $n \geq 5$  раз.

10.2.3 Проводят измерения температуры датчика с помощью измерительного устройству из состава поверяемой системы. Для этого в окне запущенного на ПК приложения ENLIGHT нажимают кнопку «Старт» и фиксируют полученное значение  $T-40_{i.}$ , где  $i = (1; n)$ .

10.2.4 Повторяют операции п.п. 10.2.2-10.2.3 для значений температуры в середине диапазона измерений поверяемой системы (20 - 30 °С) и в конце (120 °С). Фиксируют полученные значения результатов измерений.

### 10.3 Определение диапазона и пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений деформации

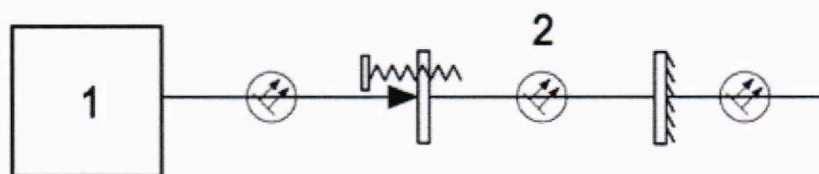
10.3.1 Собирают установку согласно схеме, приведенной на рисунке 5. Измерения деформации проводят во всех диапазонах измерений деформации (на растяжение: от 50 до 2500 млн<sup>-1</sup>; на сжатие от минус 50 до минус 2500 млн<sup>-1</sup>) на краях и в середине диапазонов. Закрепляют брэгговский датчик деформации из состава поверяемой системы на неподвижную и подвижную часть модуля линейного перемещения (на рисунке 5 показаны схематично) с помощью соответствующих оправок с винтами и подключают его к поверяемой системе согласно её РЭ. Перемещение каретки с микрометрическим винтом модуля линейного перемещения контролируют с помощью системы лазерной измерительной XL-80, для чего устанавливают на каретку отражатель из состава системы лазерной измерительной XL-80 и измеряют его перемещение согласно РЭ системы лазерной измерительной XL-80.

10.3.2 Производят установку нуля системы лазерной измерительной XL-80 в соответствии с РЭ на нее.

10.3.3 Посредством перемещения каретки с микрометрическим винтом и контроля величины перемещения с помощью системы лазерной измерительной XL-80 производят растяжение датчика на величину  $D_{эм} = 50$  млн<sup>-1</sup>, что соответствует перемещению каретки с микрометрическим винтом на величину  $L_{эм}$ , мм, вычисляемую по формуле

$$L_{эм} = \frac{D_{эм} \cdot l_{ВОД}}{10^6}, \quad (1)$$

где  $l_{ВОД}$  – длина базы датчика, мм, указанная в его паспорте.



1 – поверяемая система; 2 – волоконно-оптический брэгговский датчик деформации

Рисунок 5 – Блок-схема установки для измерений деформации

Проводят измерение удлинения датчика  $L_i$ , мм, где  $i = (1; n)$ ,  $n \geq 5$  раз с помощью поверяемой системы в соответствии с её РЭ, где  $n$  – количество измерений деформации. Указанные измерения проводят  $n \geq 5$  раз.

10.3.4 Повторяют операции п. 10.3.3 для значений деформации в середине и на краю диапазона измерений поверяемой системы.

10.3.5 Повторяют операции п.п. 10.3.3-10.3.4, производя сжатие датчика, для значений деформации от минус 50 до минус 2500 млн<sup>-1</sup> (начиная с  $D_{эм} = -50$  млн<sup>-1</sup>).

## 11 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

### 11.1 Обработка результатов измерений длин волн

11.1.1 Вычисляют средние значения длины волны резонансного пика, полученные с помощью эталонного ИДВ из состава ГЭТ 170  $\lambda_{ref}$ , нм, и с помощью поверяемой системы  $\lambda_{сред}$ , нм, по формулам

$$\lambda_{ref} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{ref\_i}}{n}; \quad (2)$$

$$\lambda_{сред} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n}, \quad (3)$$

где  $n$  – количество измерений ( $n = 5$ ).

11.1.2 Вычисляют среднее квадратическое отклонение (СКО) среднего арифметического результатов измерений длины волны резонансного пика интерферометра Фабри-Перо эталонным ИДВ из состава ГЭТ 170  $S_{\lambda\_ref}$ , нм, и поверяемой системой  $S_{\lambda}$ , нм, по формулам

$$S_{\lambda} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (\lambda_i - \lambda_{сред})^2}; \quad (4)$$

$$S_{\lambda\_ref} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (\lambda_{ref\_i} - \lambda_{ref})^2}. \quad (5)$$

11.1.3 Определяют границы систематической погрешности (СП) оценки длины волны резонансного пика интерферометра Фабри-Перо поверяемой системой без учета знака  $\Theta_{\lambda}$ , нм, по формуле

$$\Theta_{\lambda} = |\Theta_{\lambda 1}| + |\Theta_{\lambda 2}|. \quad (6)$$

где  $\Theta_{\lambda 1}$  – границы СП измерений длины волны поверяемой системой, нм, определяемые как разность между средними арифметическими значениями длин волн  $\lambda_{сред}$ , нм, и эталонными значениями длин волн резонансного пика интерферометра Фабри-Перо  $\lambda_{ref}$ , нм;

$\Theta_{\lambda 2}$  – границы неисключенной систематической погрешности при воспроизведении единицы длины волны с помощью ГЭТ 170, нм, указанной в паспорте ГЭТ 170.

11.1.4 Определяют пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений длин волн с помощью системы  $\Delta_{\lambda}$ , нм, по формуле

$$\Delta_{\lambda} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\Theta_{\lambda}^2}{3} + S_{\lambda}^2 + S_{\lambda\_ref}^2}. \quad (7)$$

11.1.5 Система считается прошедшей операцию поверки с положительным результатом, если полученные значения абсолютной погрешности измерений длин волн не превышают значения, указанного в таблице 4, в соответствующем диапазоне измерений длин волн, указанном в таблице 4.

Таблица 4 – Модификации измерительных устройств из состава поверяемой системы

Модификации систем Si- (NT Si-)			
155-ST, 255-ST	155-EV, 255-EV	155-HS, 255-HS	155-EG
Диапазон измерений длин волн <sup>1</sup> , нм			
от 1500 до 1600	от 1500 до 1600	от 1510 до 1590	от 1500 до 1600
от 1463 до 1617	от 1463 до 1617		от 1463 до 1617
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений длин волн, нм			
± 0,003	± 0,002	± 0,005	± 0,003
<sup>1</sup> – возможны указанные варианты диапазона измерений, не влияющих на иные метрологические характеристики			

## 11.2 Обработка результатов измерений температуры

11.2.1 Среднее значение температуры датчика, измеренное поверяемой системой,  $Tx_{сред}$ , °C, ( $x$  – номинальное значение измеряемой температуры) и измерителем температуры МИТ 2.05  $Tx_{ref}$ , °C, вычисляют по формуле:

$$Tx_{сред} = \frac{\sum_{i=1}^n Tx_i}{n}, \quad (8)$$

$$Tx_{ref} = \frac{\sum_{i=1}^n Tx_{ref_i}}{n}, \quad (9)$$

где  $Tx_i$  – полученные значения температуры.

11.2.2 Вычисляют СКО среднего арифметического результатов измерений температуры поверяемой системой  $S_T$ , °C, и измерителем температуры МИТ 2.05  $S_{T_{ref}}$ , °C, по формулам:

$$S_T = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (Tx_i - Tx_{сред})^2}, \quad (10)$$

$$S_{T_{ref}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (Tx_{ref_i} - Tx_{ref})^2}, \quad (11)$$

11.2.3 Определяют границы СП оценки температуры датчика поверяемой системой без учета знака  $\Theta_T$ , °C, по формуле

$$\Theta_T = 1,1 \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^3 \Theta_{T_j}}, \quad (12)$$

где  $\Theta_1$  – границы НСП измерений температуры испытываемой системой, °C, определяемые как разность между средним арифметическим значением измеряемых температур  $Tx_{сред}$ , °C, и средним арифметическим значением температур, полученных с помощью МИТ 2.05,  $Tx_{ref}$ , °C;

$\Theta_2$  – границы абсолютной погрешности измерений температуры с помощью измерителя температуры МИТ 2.05, °C, указанные в описании типа на него;

$\Theta_3$  – границы абсолютной погрешности измерений температуры с помощью термометра сопротивления платинового вибропрочного ТСПВ-1, °C, указанные в описании типа на него.

11.2.4 Определяют пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры с помощью поверяемой системы  $\Delta_T$ , °C, (при доверительной вероятности  $P = 0,95$ ) по формуле

$$\Delta_T = 2 \cdot \sqrt{\frac{\Theta_T^2}{3} + S_T^2 + S_{T_{ref}}^2}. \quad (13)$$

11.2.5 Система считается прошедшей операцию поверки с положительным результатом, если полученные значения пределов абсолютной погрешности измерений температуры не превышают значений, указанных в таблице 5, в диапазоне измерений температуры от минус 40 до плюс 120 °С.

Таблица 5 – Модификации измерительных устройств из состава поверяемой системы

Модификации систем Si- (NT Si-)			
155-ST, 255-ST	155-EV, 255-EV	155-HS, 255-HS	155-EG
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры, °С			
± 0,6		± 1,0	± 0,6

### 11.3 Обработка результатов измерений деформации

11.3.1 Вычисляют среднее арифметическое измеренных с помощью поверяемой системы значений деформации  $D_{\text{сред}}$ , млн<sup>-1</sup>, по формуле

$$D_{\text{сред}} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}. \quad (14)$$

11.3.2 Вычисляют СКО среднего арифметического результатов измерений деформации поверяемой системой  $S_D$ , млн<sup>-1</sup>, по формуле

$$S_D = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (D_i - D_{\text{сред}})^2}. \quad (15)$$

11.3.3 Определяют границы СП оценки деформации датчика без учета знака  $\Theta_D$ , млн<sup>-1</sup>, по формуле

$$\Theta_D = |D_{\text{сред}} - D_{\text{эм}}|. \quad (16)$$

11.3.4 Определяют пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений деформации датчика поверяемой системой  $\Delta_D$ , млн<sup>-1</sup>, (при доверительной вероятности  $P = 0,95$ ) по формуле

$$\Delta_D = 2 \cdot \sqrt{\frac{\Theta_D^2}{3} + S_D^2}. \quad (17)$$

11.3.5 Система считается прошедшей операцию поверки с положительным результатом, если полученные значения пределов абсолютной погрешности измерений деформации не превышают значений, указанных в таблице 6, в диапазоне измерений деформации от минус 2500 до минус 50 млн<sup>-1</sup> и от 50 до 2500 млн<sup>-1</sup> при сжатии и растяжении датчика соответственно.

Таблица 6 – Модификации измерительных устройств из состава поверяемой системы

Модификации систем Si- (NT Si-)			
155-ST, Si-255-ST	155-EV, Si-255-EV	155-HS, Si-255-HS	155-EG
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений деформации, млн <sup>-1</sup>			
± 20		± 50	± 20

## 12 Оформление результатов поверки

12.1 Результаты поверки оформляются протоколом поверки. Рекомендуемая форма протокола поверки приведена в приложении А. Протокол может храниться на электронных носителях.

12.2 Система считается прошедшей поверку с положительным результатом и допускается к применению, если все операции поверки пройдены с положительным результатом и полученные значения метрологических характеристик удовлетворяют требованиям к системе в соответствии с его ОТ. В ином случае система считается прошедшей поверку с отрицательным результатом и не допускается к применению.

12.2 При положительных результатах поверки по запросу заказчика может быть оформлено свидетельство о поверке в установленной форме.

12.3 При отрицательных результатах поверки по запросу заказчика может быть оформлено извещение о непригодности в установленной форме с указанием причин непригодности.

12.4 Сведения о результатах поверки передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Начальник сектора лаборатории Ф-3

А.К. Митюрёв

Младший научный сотрудник лаборатории Ф-3

А.О. Погонишев

**Приложение А**

(Рекомендуемое)

Форма протокола поверки

**ПРОТОКОЛ ПЕРВИЧНОЙ (ПЕРИОДИЧЕСКОЙ) ПОВЕРКИ №**

от \_\_\_\_ \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Системы измерительные волоконно-оптические СИ**

(регистрационный № \_\_\_\_\_, год выпуска)

Заводской номер:

Владелец СИ:

Изготовитель:

Применяемые эталоны:

Государственный первичный специальный эталон единицы длины и времени распространения сигнала в световоде, средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем передачи информации ГЭТ 170-2011; Государственный рабочий эталон единиц средней мощности и ослабления оптического излучения в волоконно-оптических системах передачи в диапазоне значений от  $10^{-10}$  до 1 Вт на длинах волн от 500 до 1700 нм (РЭСМ-ВС), рег.№ 3.1ZZA.0100.2017; Система лазерная измерительная XL-80, рег. № 35362-13; Термометр сопротивления платиновый вибропрочный ТСПВ-1, рег. № 50256-12, измеритель температуры двухканальный прецизионный МИТ 2.05, рег. № 46432-11

Применяемая методика поверки:

МП 009.Ф3-22 «ГСИ. Системы измерительные волоконно-оптические Si. Методика поверки»

Место проведения поверки:

Условия поверки:

- температура окружающей среды:
- относительная влажность воздуха:
- атмосферное давление:
- напряжение сети питания:
- частота сети питания:

Проведение поверки:

1. Внешний осмотр:
2. Опробование:
3. Идентификация программного обеспечения:
4. Определение метрологических характеристик:

Полученные результаты измерений метрологических характеристик:

Таблица А1 – Результаты измерений длин волн резонансных пиков интерферометра Фабри-Перо на краях и в середине диапазона измерений поверяемого СИ

Обозначение резонансного пика	$\lambda_{ref\_i}$ , нм	$\lambda_{ref}$ , нм	$\lambda_i$ , нм	$\lambda_{сред}$ , нм	$S_{\lambda\_ref}$ , нм	$S_{\lambda}$ , нм	$\Theta_{\lambda}$ , нм	$\Delta_{\lambda}$ , нм

Таблица А2 – Результаты измерений температуры на краях и в середине диапазона измерений поверяемого СИ

Номинальное значение, °С	$Tx_{ref_i}$ , °С	$Tx_{ref}$ , °С	$Tx_i$ , °С	$Tx_{сред}$ , °С	$S_{T\_ref}$ , °С	$S_T$ , °С	$\Theta_T$ , °С	$\Delta_T$ , °С

Таблица А3 – Результаты измерений деформации на краях и в середине диапазона измерений поверяемого СИ

Номинальное значение, млн <sup>-1</sup>	$D_{эт}$ , млн <sup>-1</sup>	$D_i$ , млн <sup>-1</sup>	$D_{сред}$ , млн <sup>-1</sup>	$S_D$ , млн <sup>-1</sup>	$\Theta_D$ , млн <sup>-1</sup>	$\Delta_D$ , млн <sup>-1</sup>

Таблица А4 – Результаты определения метрологических характеристик

Метрологическая характеристика	Требования технической документации	Полученные значения	Результат (соответствие)
Диапазон измерений длин волн, нм			
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений длин волн, нм			
Диапазон измерений температуры, °С			
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры, °С			
Диапазон измерений деформации, млн <sup>-1</sup>			
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений деформации, млн <sup>-1</sup>			

## 5. Заключение по результатам поверки:

Поверитель:

\_\_\_\_\_  
Подпись                      Фамилия И.О.

Руководитель  
отделения:

\_\_\_\_\_  
Подпись                      Фамилия И.О.



**Приложение Б**  
Метрологические характеристики систем

Таблица Б1 – Метрологические характеристики систем (в настольном исполнении)

Наименование характеристики	Значение							
	Si-155-ST-01	Si-155-ST-04	Si-155-EV-01	Si-155-EV-04	Si-155-HS-01	Si-155-HS-04	Si-155-EG-01	Si-155-EG-04
Диапазон измерений длин волн, нм <sup>1</sup>	от 1500 до 1600		от 1500 до 1600		от 1510 до 1590		от 1500 до 1600	
	от 1463 до 1617		от 1463 до 1617				от 1463 до 1617	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений длин волн, нм	± 0,003		± 0,002		± 0,005		± 0,003	
Диапазон измерений температуры, °С	от - 40 до + 120							
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры <sup>2</sup> , °С	±0,6		±0,6		±1,0		±0,6	
Диапазон измерений деформации <sup>3</sup> , млн <sup>-1</sup>	± (от 50 до 2500)							
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений деформации <sup>2,3</sup> , млн <sup>-1</sup>	± 20		± 20		± 50		± 20	
<sup>1</sup> – Возможны указанные варианты диапазона измерений, не влияющих на иные метрологические характеристики <sup>2</sup> – Без учёта дрейфа длины волны отражения брэгговского датчика <sup>3</sup> – В диапазоне температур от -40 до +80 °С.								

Таблица Б2 – Метрологические и технические характеристики систем (в стоечном исполнении)

Наименование характеристики	Значение								
	Si-255-ST-04	Si-255-ST-08	Si-255-ST-16	Si-255-EV-04	Si-255-EV-08	Si-255-EV-16	Si-255-HS-04	Si-255-HS-08	Si-255-HS-16
Диапазон измерений длин волн, нм <sup>1</sup>	от 1500 до 1600			от 1500 до 1600			от 1510 до 1590		
	от 1463 до 1617			от 1463 до 1617					
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений длин волн, нм	± 0,003			± 0,002			± 0,005		
Диапазон измерений температуры, °С	от - 40 до + 120								
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры <sup>2</sup> , °С	± 0,6			± 0,6			± 1,0		
Диапазон измерений деформации <sup>3</sup> , млн <sup>-1</sup>	±(от 50 до 2500)								
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений деформации <sup>2,3</sup> , млн <sup>-1</sup>	± 20			± 20			± 50		
<sup>1</sup> – Возможны указанные варианты диапазона измерений, не влияющих на иные метрологические характеристики <sup>2</sup> – Без учёта дрейфа длины волны отражения брэгговского датчика <sup>3</sup> – В диапазоне температур от -40 до +80 °С.									