

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора

ФГУП «ВНИИОФИ»

Р.А. Родин

2018 г.



Государственная система обеспечения единства измерений

Средство измерений угла расходимости лазерного пучка СИР

Методика поверки

МП 036.Ф2-18

Главный метролог

ФГУП «ВНИИОФИ»

С.Н. Негода

« 2 » 2018 г.

Начальник лаборатории Ф-2

ФГУП «ВНИИОФИ»

С.А. Москалюк

« 2 » 2018 г.

г. Москва

2018 г.

1 Введение

1.1 Настоящая методика распространяется на средство измерений угла расходимости лазерного пучка СИР (далее СИР), предназначенного для измерений угла расходимости на длине волны лазерного излучения 0,532 мкм в динамическом диапазоне от 48 до 145 и от 485 до 970 мкрад в нано- и пикосекундном диапазоне длительностей импульса при частоте повторения до 50 Гц и устанавливает методы его первичной и периодической поверок.

1.2 Интервал между поверками 1 год.

1.3 В тексте приняты следующие сокращения:

ЛИ – лазерное излучение;

ВЭПЭХ – Государственный вторичный эталон пространственно-энергетических характеристик импульсного лазерного излучения в диапазоне плотности энергии от $1 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ Дж/см², при значениях углов расходимости от 5 до 300 угл. с на длинах волн 1,064 и 0,532 мкм (2.1.ZZA.0097.2017);

НСП – неисключенная систематическая погрешность;

СКО – среднеквадратическое отклонение;

СИР – средство измерений угла расходимости лазерного излучения;

БИ – блок измерительный.

2 Операции поверки

2.1 При проведении первичной и периодической поверок выполняются операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции	Номер пункта методики	Обязательность выполнения операции	
		При первичной поверке	При периодической поверке
1	2	3	4
Внешний осмотр	8.1	Да	Да
Опробование	8.2	Да	Да
Подтверждение соответствия программного обеспечения	8.3	Да	Нет

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Определение метрологических характеристик	8.4		
Определение рабочего диапазона углов расходимости	8.4.1	Да	Нет
Определение предела допускаемой относительной погрешности измерения угла расходимости	8.4.2	Да	Да

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

2.3 Поверку средств измерений осуществляют аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели.

3 Средства поверки

При проведении первичной и периодической поверок применяется Государственный вторичный эталон пространственно-энергетических характеристик импульсного лазерного излучения в диапазоне плотности энергии от $1 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ Дж/см², при значениях углов расходимости от 5 до 300 угл. с на длинах волн 1,064 и 0,532 мкм (ВЭПЭХ). Основные метрологические характеристики:

- диапазон значений плотности энергии от $1 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ Дж/см²;
- диапазон значений углов расходимости от 5 до 300 угл. с;
- значения длительности импульса от $7 \cdot 10^{-11}$ и $7 \cdot 10^{-9}$ с;
- значения рабочих длин волн 1,064 и 0,532 мкм;
- суммарная погрешность измерений плотности энергии и углов расходимости, выраженная в виде СКО, не более $2,0 \cdot 10^{-2}$;
- погрешность передачи единиц плотности энергии и угла расходимости, не более $1,0 \cdot 10^{-2}$.

3.1 Средства поверки должны быть поверены и аттестованы в установленном порядке. Допускается также применение других средств поверки

обеспечивающих определение (контроль) метрологических характеристик поверяемого оборудования с требуемой точностью.

4 Требования к квалификации поверителей

4.1 К проведению поверки допускают лиц, изучивших настоящую методику поверки, ГОСТ 31581-2012, а также эксплуатационную документацию на СИР, имеющих квалификационную группу не ниже III в соответствии с правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, указанными в приложении к приказу Министерства труда и социальной защиты РФ от 24.07.13 № 328Н, прошедшие полный инструктаж по технике безопасности, а также прошедших обучение на право проведения поверки по требуемому виду измерений.

5 Требования безопасности

5.1 При проведении поверки следует соблюдать требования, установленные ГОСТ Р 12.1.031-2010, ГОСТ 12.1.040-83, правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, указанных в приложении к приказу Министерства труда и социальной защиты РФ от 24.07.13 № 328Н. 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.

5.2 Система электрического питания средств поверки и СИР измерителя должна быть защищена от колебаний и пиков сетевого напряжения.

5.3 При проведении поверки должны соблюдаться требования безопасности при эксплуатации лазерных изделий согласно ГОСТ 31581-2012, а также требованиям эксплуатационной документации.

5.4 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.

6 Условия проведения поверки

6.1 Все этапы поверки проводят в нормальных условиях окружающей среды в соответствии с ГОСТ 8.395-80 при следующих условиях:

- температура окружающего воздуха, °С 20 ± 3 ;
- относительная влажность воздуха, %, не более. от 30 до 80;
- атмосферное давление, кПа 100 ± 4 .

6.2 Помещение, где проводится поверка, должно быть чистым и сухим, а также должны отсутствовать вибрация, воздействие электрических помех и акустические шумы.

6.3 Рядом с СИР должны отсутствовать интенсивные воздушные потоки.

7 Подготовка к поверке

7.1 Перед проведением поверки необходимо ознакомиться с настоящей методикой поверки и Руководством по эксплуатации и формуляром на СИР.

7.2 Выполнить мероприятия по обеспечению условий безопасности согласно пункту 5 настоящей методики поверки.

7.3 После транспортирования или хранения при температуре отличной от температуры эксплуатации, необходимо СИР распаковать, снять крышку с входного окна БИ, и выдержать не менее одного часа в нормальных условиях окружающей среды по п.6.1 настоящей методики поверки.

7.4 В соответствии с руководством по эксплуатации соединяют составные части СИР. С помощью USB кабеля блок измерительный (БИ) подключают к ноутбуку.

7.5 Блок измерительный подключают к источнику питания и устанавливают тумблер сети на задней панели БИ в положение ВКЛ., при этом индикатор светится зеленым цветом. СИР готов к работе.

7.6 ВЭПЭХ включают, и в соответствии с его Правилами содержания и применения подготавливают к работе.

7.7 СИР устанавливают в оптический тракт ВЭПЭХ и проводят процедуру юстировки, изменяя высоту БИ с помощью юстировочных винтов,

таким образом, чтобы центр углубления на крышке БИ совпал с осью пучка юстировочного лазера из состава ВЭПЭХ.

7.8 Затем в корпус для ослабителей БИ устанавливается специальная кассета из состава СИР с нанесенным на лицевую поверхность перекрестием. После чего визуально изменяют положение БИ СИР в пространстве, до тех пор, пока луч юстировочного лазера не совместится с перекрестием на кассете.

7.9 В составе СИР, имеются наборы ослабителей, которые необходимо установить в БИ из набора №1 для обеспечения безопасного уровня плотности мощности для оптической системы, а также из второго набора ослабителей №2 обеспечивающие защиту ПЗС-матрицы и требуемый диапазон СИР.

7.10 Уровень энергии, в импульсе подаваемый на СИР, должен быть не более 3 мДж, и выбирается таким образом, чтобы рассчитанная плотность мощности, не превышала лучевой стойкости оптических элементов СИР, и не привела к физическому разрушению оптических элементов и выходу из строя СИР.

7.11 В зависимости от длительности входных импульсов дополнительно устанавливается либо ослабитель №1 (для длительности импульса от нано- до микросекунд), либо №2 (для длительности от пико- до наносекунд).

7.12 При работе с импульсным лазерным излучением с частотой следования импульсов до 2 кГц, в БИ необходимо установить дополнительный фильтр из набора 2 с ослаблением 14,6х (для уровня энергии в импульсе 1 мДж) или с ослаблением 22х (для уровня энергии в импульсе 3 мДж).

7.13 После того как в корпус СИР устанавливаются штатные ослабители, юстировочная кассета извлекается, СИР считается съюстированным и готовым к работе.

8 Проведение поверки

8.1 Внешний осмотр

8.1.1 СИР должно быть укомплектован всеми составными частями и документацией в соответствии с его формуляром.

8.1.2 Составные части СИР не должны иметь механических повреждений и дефектов покрытия.

8.1.3 Проверяется надежность межблочных соединений составных частей СИР.

8.1.4 СИР считается прошедшим операцию поверки, если он представлен комплектно, и на нем отсутствуют какие-либо повреждения, а также на БИ отсутствуют дефекты покрытия.

8.2 Опробование

8.2.1 Проверка работоспособности СИР осуществляется в соответствии с Руководством по эксплуатации, с целью проверки его пригодности к поверке.

8.2.2 Чтобы подаваемое ЛИ не привело к разрушению приемной поверхности ПЗС-матрицы и выходу СИР из строя, убедиться, что в СИР установлены ослабители.

8.2.3 На СИР съюстированным и подготовленным к работе в соответствии с пунктом 7 настоящей методики поверки, в соответствии с алгоритмом работы ВЭПЭХ, подают ЛИ.

8.2.4 СИР считается прошедшим операцию поверки, если после подачи ЛИ, СИР произведет съемку одного кадра распределения и отобразит на экране ноутбука результат в 2D- проекции, 3D- проекции, а также позволяет выбрать интересующий уровень интенсивности.

8.3 Подтверждение соответствия программного обеспечения

8.3.1 Идентификация данных встроенного программного обеспечения предусмотрена только при подключении БИ к ноутбуку с установленным на него внешним ПО с помощью специального USB-кабеля, входящих в состав СИР. Идентификационные данные версии установленного ПО отображаются в диалоговом окне на экране ноутбука в разделе «свойства».

8.3.2 СИР считается прошедшим операцию поверки, если идентификационные данные встроенного программного обеспечения соответствуют идентификационным данным, приведенным в таблице 2.

Таблица 2 - Идентификационные данные

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование внешнего ПО	SiR.exe
Номер версии (идентификационный номер внешнего ПО)	1.0 и выше
Цифровой идентификатор внешнего ПО	-

8.4 Определение метрологических характеристик

8.4.1 Определение рабочего диапазона углов расходимости

8.4.1.1 Проверку значений рабочего диапазона углов расходимости проводят путем измерения угла расходимости излучения лазера из состава ВЭПЭХ.

8.4.1.2 ВЭПЭХ и СИР подготавливают к работе в соответствии с правилами содержания и применения и руководством по эксплуатации соответственно.

8.4.1.3 Устанавливают СИР в оптический тракт ВЭПЭХ и проводят юстировку согласно пункту 7 настоящей методики поверки.

8.4.1.4 Нажимают программную кнопку «Расходимость» в ПО на ноутбуке из состава СИР, и в соответствии с алгоритмом работы ВЭПЭХ подают однократный импульс лазерного излучения, который принимается преобразователем и регистрируется измерительным блоком.

8.4.1.5 После измерения, оператор нажатием программных кнопок на ноутбуке из состава СИР, может выбрать различные типы отображения результатов: «2D- проекция», «3D- проекция» либо «Отчет».

8.4.1.6 Нажав программную кнопку «Отчет» вызывают программное окно с результатами измерений, сведенными в таблицу значений диаметров и углов расходимости, как показано на рисунке 1.

Результаты измерений:

Уровень→	0	0,1	0,5	0,865	0,9
σ_x , мм	6,125	6,125	6,264	6,079	6,383
σ_y , мм	6,029	6,029	6,042	5,923	6,135
d_x , мм	13,040	13,040	12,674	6,728	4,506
θ_x , мрад	2,389	2,389	2,322	1,233	0,826
θ_x , угл. с	492,733	492,733	478,887	254,226	170,274
d_y , мм	13,924	13,924	13,929	13,935	13,607
θ_y , мрад	2,551	2,551	2,552	2,553	2,493
θ_y , угл. с	526,119	526,119	526,321	526,567	514,140
Max , ЕМР	5441,0	5441,0	5441,0	5441,0	5441,0
$K_{x\ max}$, мм	5,773	5,773	5,773	5,773	5,773
$K_{y\ max}$, мм	6,371	6,371	6,371	6,371	6,371

Рисунок 1 – Внешний вид таблицы с результатами измерений СИР

8.4.1.7 СИР считают прошедшим операцию поверки, если зарегистрированы и обработанные результаты измерений угла расходимости импульсного лазерного излучения в диапазоне от 48 до 145 и от 485 до 970 мкрад.

8.4.2 Определение предела допускаемой относительной погрешности измерения угла расходимости

8.4.2.1 Расчет предела допускаемой основной относительной погрешности измерения угла расходимости СИР проводится на длине волны 0,532 мкм с помощью ВЭПЭХ. При этом диаметр пучка лазерного излучения должен находиться в пределах от 3 до 30 мм и определяется диафрагмой, либо расширителем ЛИ, входящими в состав ВЭПЭХ. Для поверки СИР производится его подготовка к работе согласно руководству по эксплуатации.

8.4.2.2 В соответствии с алгоритмом работы ВЭПЭХ на СИР подаются последовательно по 10 импульсов с энергией не более 3 мДж и длительностью импульсов 7 нс. Значения измеренных углов расходимости по 10 импульсам, зарегистрированные СИР, выводятся на экране ноутбука из состава СИР и заносятся в протокол поверки.

8.4.2.3 По значениям, полученным в процессе измерений, рассчитывают предел допускаемой основной относительной погрешности измерений угла расходимости по формуле 1:

$$\delta_0 = 2\sqrt{\frac{1}{3}\theta_{СИ}^2 + \sigma_{СИ}^2 + S_{\Sigma}^2 + S_{II}^2}, \quad (1)$$

где, $\theta_{СИ}$ - НСП измерений угла расходимости СИР, %;

$\sigma_{СИ}$ - СКО измерений угла расходимости СИР, %;

S_{Σ} - суммарная погрешность измерений плотности энергии и углов расходимости ВЭПЭХ, выраженная в виде СКО ($S_{\Sigma} = 2,0 \%$);

S_{II} - погрешность передачи единиц плотности энергии и угла расходимости ВЭПЭХ ($S_{II} = 1,0 \%$).

8.4.2.5 НСП измерений угла расходимости СИР определяется по формуле 2:

$$\theta_{СИ} = \left| \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} \right| \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где, A_{\max} - максимальное значение отношения $\theta_{СИР} / \theta_{ВЭПЭХ}$, отн. ед.;

A_{\min} - минимальное значение отношения $\theta_{СИР} / \theta_{ВЭПЭХ}$, отн. ед.;

$\theta_{СИР}$ - значение угла расходимости, зарегистрированное СИР, мкрад;

$\theta_{ВЭПЭХ}$ - значение угла расходимости, воспроизведенное ВЭПЭХ, мкрад.

8.4.2.6 СКО измерений угла расходимости СИР определяется по формуле 3:

$$\sigma_{СИ} = \frac{1}{A} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n(n-1)}} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где, A_i - i -ое значение отношения $\theta_{СИР} / \theta_{ВЭПЭХ}$, отн. ед.;

\bar{A} - среднее значение отношения $\theta_{СИР} / \theta_{ВЭПЭХ}$, отн. ед.;

$\theta_{СИР}$ - значение угла расходимости, зарегистрированное СИР, мкрад;

$\theta_{ВЭПЭХ}$ - значение угла расходимости, воспроизведенное ВЭПЭХ, мкрад;

n - число импульсов ($n=10$).

8.4.2.7 СИР считается прошедшим операцию поверки, если значение предела допускаемой относительной погрешности измерения угла расходимости на длине волны 0,532 мкм в динамическом диапазоне от 48 до 145 мкрад не превышает 10 %, а в динамическом диапазоне от 485 до 970 мкрад не превышает 5 %.

9 Оформление результатов поверки

9.1 Результаты поверки заносятся в протокол (рекомендуемая форма протокола приведена в приложении А, к настоящей методике поверки), который хранится в организации, проводившей поверку не менее трех интервалов поверки.

9.2 СИР, прошедшее поверку с положительным результатом, признается годным и допускается к применению и эксплуатации. Выдаётся свидетельство о поверке установленной формы с указанием полученных по п.8.4 фактических значений метрологических характеристик и наносится знак поверки согласно Приказу Министерства промышленности и торговли Российской Федерации №1815 от 02.07.2015 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

9.3 СИР, прошедшее поверку с отрицательным результатом, признается непригодным, не допускается к применению и на него выдается извещение о непригодности с указанием причин. Свидетельство о предыдущей поверке и знак поверки аннулируются и выписывают «Извещение о непригодности» с указанием причин в соответствии с требованиями Приказа Министерства промышленности и торговли Российской Федерации №1815 от 02.07.2015.

Старший научный сотрудник ФГУП «ВНИИОФИ»

 К.Ш. Абдрахманов

Инженер 1 категории ФГУП «ВНИИОФИ»

 Е. Г. Мезенцева

Приложение А
(рекомендуемое)

ПРОТОКОЛ

первичной / периодической поверки

от « _____ » _____ 20__ года

Средство измерений: _____

(Наименование СИ, тип (если в состав СИ входит несколько автономных блоков

то приводят их перечень (наименования) и типы с разделением знаком «косая дробь» /)

Зав. № _____

Заводские номера блоков

Принадлежащее _____

Наименование юридического лица, ИНН

Поверено в соответствии с методикой поверки _____

Наименование документа на поверку, кем утвержден (согласован), дата

С применением эталонов _____

(наименование, заводской номер, разряд, класс точности или погрешность)

При следующих значениях влияющих факторов:

(приводят перечень и значения влияющих факторов, нормированных в методике поверки)

- температура окружающего воздуха, °С 20 ± 3 ;
- относительная влажность, %, не более 80;
- атмосферное давление, кПа 100 ± 4 .

Получены результаты поверки метрологических характеристик:

Показания эталона	Показания поверяемого СИ	Результат $\delta_0, \%$	Требования методики поверки

Рекомендации _____

Средство измерений признать пригодным (или непригодным) для применения

Исполнители: _____

_____ подписи, ФИО, должность