

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени Д.И. Менделеева»
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

А.Н. Пронин

М.п.

«01» 02 2024 г.

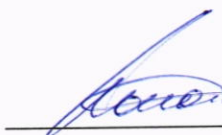


Государственная система обеспечения единства измерений
Система лазерная измерительная ХМ-60

Методика поверки

МП 2511-0002-2024

Руководитель отдела геометрических измерений

 Н.А. Кононова

Старший научный сотрудник

 З.В. Фомкина

г. Санкт-Петербург
2024

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на систему лазерную измерительную ХМ-60, зав. № 22UJ97, изготовленную компанией «Renishaw plc», Великобритания (далее систему), и устанавливает методы и средства ее первичной и периодической поверок.

1.2 В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические требования

Наименование характеристики	Значение
Номинальное значение длины волны в вакууме лазерного излучения стабилизированного гелий-неонового лазера, нм	633
Диапазон измерений линейных перемещений, м	от 0 до 4
Диапазон измерений угловых перемещений (тангаж, рысканье)	$\pm 100''$
Диапазон измерений углов поворота относительно продольной оси	$\pm 100''$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений линейных перемещений, мкм: - в поддиапазоне от 0 до 0,04 м включ. - в поддиапазоне св. 0,04 до 4 м	$\pm 0,02$ $\pm 0,5 \cdot L^1)$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений угловых перемещений (тангаж, рысканье)	$\pm (0,006 \cdot A^2) + 0,1 + 0,02 \cdot M^3)$ "
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений углов поворота относительно продольной оси	$\pm (0,01 \cdot B^4) + 1,82)$ "
¹⁾ L – измеренное перемещение в метрах; ²⁾ A – измеренное угловое перемещение в угловых секундах; ³⁾ M – расстояние от излучателя до приемника в метрах; ⁴⁾ B – измеренное значение угла поворота в угловых секундах.	

1.3 Методика поверки обеспечивает прослеживаемость системы к Государственному первичному эталону единицы длины – метра ГЭТ 2-2021 в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм, утвержденной Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2018 г. № 2840, и к Государственному первичному эталону единицы плоского угла ГЭТ 22-2014 в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений плоского угла, утвержденной приказом Росстандарта от 26 ноября 2018 г. № 2482.

1.4 Метод, обеспечивающий реализацию методики поверки: непосредственное сличение.

1.5 Методикой поверки предусмотрена возможность периодической поверки отдельных измерительных каналов из состава средства измерений для меньшего числа измеряемых величин. Методикой поверки не предусмотрена возможность периодической поверки на меньшем числе поддиапазонов измерений.

1.6 При пользовании настоящей методикой поверки целесообразно проверить действие ссылочных документов по соответствующему указателю стандартов, составленному по состоянию на 1 января текущего года и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящей методикой следует руководствоваться заменяющим (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

2 Перечень операций поверки средства измерений

2.1 При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень операций поверки

Наименование операции	Обязательность выполнения операции при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
1. Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
2. Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	8
3. Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	9
4. Определение длины волны в вакууме лазерного излучения стабилизированного гелий-неонового лазера	Да	Да	10
5. Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям:			11
5.1. Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений линейных перемещений	Да	Да	11.1
5.2. Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений угловых перемещений (тангаж, рысканье)	Да	Да	11.2
5.3. Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений углов поворота относительно продольной оси	Да	Да	11.3

2.2 Поверка прекращается при получении отрицательных результатов по одному из пунктов.

3 Требования к условиям проведения поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- диапазон температуры окружающего воздуха $20,0 \pm 0,5$;
- диапазон атмосферного давления, кПа..... 100 ± 6 ;
- диапазон относительной влажности воздуха, % 60 ± 20 .

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 К работе со средствами поверки допускаются лица, прошедшие обучение и проверку знаний требований безопасности.

4.2 К работе по поверке системы должны допускаться лица, имеющие необходимую квалификацию, ознакомленные с эксплуатационной документацией на поверяемую систему и средства поверки, допущенные к поверке средств измерений геометрических величин.

Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 При проведении поверки системы должны применяться средства измерений, указанные в таблице 3.

Таблица 3 – Метрологические и технические требования к средствам поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 8.2 Контроль параметров окружающей среды	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от 19,5 °С до 20,5 °С с абсолютной погрешностью не более $\pm 0,05$ °С	Термометр лабораторный электронный ЛТ-300, рег. № 61806-15
	Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 40 % до 80 % с абсолютной погрешностью не более ± 2 %	Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7, рег. № 71394-18
	Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 94 до 106 кПа с абсолютной погрешностью не более 3 гПа	Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7, рег. № 71394-18
п. 10 Определение длины волны в вакууме лазерного излучения стабилизированного гелий-неонового лазера	Государственный первичный эталон единицы длины – метра в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм, утвержденной Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2018 г. № 2840	Государственный первичный эталон единицы длины – метра ГЭТ 2-2021
п. 11.1 Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений линейных перемещений	Государственный первичный эталон единицы длины – метра в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм, утвержденной Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2018 г. № 2840	Государственный первичный эталон единицы длины – метра ГЭТ 2-2021
п. 11.2 Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений угловых перемещений (тангаж, рысканье)	Государственный первичный эталон единицы плоского угла в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений плоского угла, утвержденной приказом Росстандарта от 26 ноября 2018 г. № 2482	Государственный первичный эталон единицы плоского угла ГЭТ 22-2014; рулетка измерительная металлическая Geobox PK 2-8, рег. № 36016-07

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 11.3 Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений углов поворота относительно продольной оси	Государственный первичный эталон единицы плоского угла в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений плоского угла, утвержденной приказом Росстандарта от 26 ноября 2018 г. № 2482; плоское зеркало диаметром 30 мм (вспомогательное оборудование)	Государственный первичный эталон единицы плоского угла ГЭТ 22-2014; рулетка измерительная металлическая Geobox РК 2-8, рег. № 36016-07
Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.		

5.2 Применяемые средства поверки должны быть поверены согласно порядку, установленному приказом Минпромторга РФ от 31.07.2020 № 2510, или аттестованы согласно порядку, установленному приказом Минпромторга РФ от 11.02.2020 № 456.

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены требования безопасности, изложенные в технической документации на систему и средства поверки, а также требования ГОСТ 12.2.003-91.

7 Внешний осмотр средства измерений

Внешний осмотр производится визуально.

При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие системы следующим требованиям:

- соответствие внешнего вида системы паспорту;
- соответствие комплектности системы паспорту;
- отсутствие механических повреждений, влияющих на правильность функционирования и метрологические характеристики;
- наличие обозначения типа, заводского номера, наименования предприятия-изготовителя.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Перед проведением поверки системы необходимо ознакомиться с технической документацией на нее.

8.2 Провести контроль параметров окружающей среды (температура, влажность, давление окружающего воздуха) в помещении, где проводится поверка. Условия поверки должны соответствовать требованиям п. 3 настоящей методики.

8.3 Выдержать поверяемую систему не менее 3 часов при условиях, указанных в п. 3.

8.4 Подготовить средства поверки к работе в соответствии с эксплуатационной документацией на них.

8.5 При опробовании проверяют функционирование системы в соответствии с требованиями, изложенными в паспорте.

Для этого подготавливают систему к работе, устанавливают излучатель напротив приемника, подключают ноутбук с программным обеспечением и блок компенсации

параметров окружающей среды ХС-80. Включают питание и проверяют наличие лазерного излучения. Включают ноутбук, запускают программное обеспечение «Renishaw CARTO». Проводят юстировку в соответствии с паспортом, а затем в рабочем окне программы запускают процесс измерений. Плавно перемещая приемник вдоль оси измерения, проверяют, что в рабочем окне программы изменяются показания системы.

9 Проверка программного обеспечения средства измерений

Информация о наименовании и номере версии программного обеспечения «Renishaw CARTO» (далее ПО) доступна в окне «О программе». Идентификационные данные должны соответствовать данным, приведенным в таблице 4.

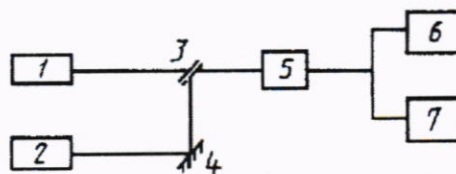
Таблица 4 – Идентификационные данные ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	Renishaw CARTO
Номер версии (идентификационный номер) ПО	4.X SPX*
* «X» не относится к метрологически значимой части ПО и принимает значение от 0 до 9.	

10 Определение длины волны в вакууме лазерного излучения стабилизированного гелий-неонового лазера

Длину волны в вакууме лазерного излучения стабилизированного гелий-неонового лазера определяют с помощью He-Ne/I₂ лазера, стабилизированного по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде 127, и установки для измерения разности частот источников лазерного излучения (далее установки) из состава Государственного первичного эталона единицы длины – метра ГЭТ 2-2021 (далее ГЭТ 2-2021).

Для этого излучатель устанавливают на оптический стол, включают оборудование в соответствии с эксплуатационной документацией и проводят юстировку согласно схеме системы гетеродинамирования, приведенной на рисунке 1.



1 – He-Ne/I₂ лазер, стабилизированный по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде 127; 2 – излучатель поверяемой системы; 3 – полупрозрачное зеркало; 4 – зеркало; 5 – фотоприемное устройство; 6 – частотомер; 7 – анализатор спектра

Рисунок 1 – Схема системы гетеродинамирования

После включения и юстировки необходимо выдержать оборудование во включенном состоянии в течение времени, указанного в эксплуатационной документации, но не менее 30 минут.

После прогрева источников лазерного излучения добиться при помощи юстировки положения зеркал наибольшего значения амплитуды сигнала разностной частоты на экране анализатора спектра. Провести измерения разностной частоты Δf , снимая показания с частотомера.

Значение частоты лазерного излучения стабилизированного гелий-неонового лазера определяют по формуле

$$f_c = f_m + \Delta f, \quad (1)$$

где f_m – значение частоты He-Ne/I₂ лазера из состава ГЭТ 2-2021;

Δf – значение разностной частоты.

Длину волны в вакууме лазерного излучения стабилизированного гелий-неонового лазера λ_c вычисляют по формуле

$$\lambda_c = \frac{c}{f_c}, \quad (2)$$

где $c=299792458$ м/с – скорость света в вакууме.

Относительная нестабильность частоты лазерного излучения не должна превышать ± 5 МГц.

11 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

11.1 Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений линейных перемещений

Диапазон и абсолютную погрешность измерений линейных перемещений определяют с помощью компаратора универсального интерференционного метрового (далее метрового компаратора) и компаратора лазерного интерференционного тридцатиметрового (далее тридцатиметрового компаратора) из состава ГЭТ 2-2021. Для этого необходимо выполнить следующие операции.

11.1.1 Определение абсолютной погрешности с помощью метрового компаратора.

11.1.1.1 Излучатель установить на неподвижном основании метрового компаратора таким образом, чтобы излучение проходило вдоль оси компаратора.

11.1.1.2 Приемник системы закрепить на каретке метрового компаратора.

11.1.1.3 В соответствии с паспортом подготовить систему для выполнения измерений линейных перемещений.

11.1.1.4 Провести одновременно при помощи метрового компаратора и системы измерения перемещений в следующих точках диапазона или близким к ним: 0,04; 0,1; 0,5; 1,0 м.

11.1.1.5 Определить абсолютную погрешность измерений линейных перемещений Δ_X для каждого из значений, указанных в п. 11.1.1.4, по формуле

$$\Delta_X = X_{изм} - X_{эт}, \quad (3)$$

где $X_{изм}$ – значение линейного перемещения, измеренное системой;

$X_{эт}$ – значение линейного перемещения, измеренное компаратором.

11.1.2 Определение абсолютной погрешности с помощью тридцатиметрового компаратора.

11.1.2.1 Излучатель установить на неподвижном основании тридцатиметрового компаратора таким образом, чтобы излучение проходило вдоль оси компаратора.

11.1.2.2 Приемник системы закрепить на каретке тридцатиметрового компаратора.

11.1.2.3 В соответствии с паспортом подготовить систему для выполнения измерений линейных перемещений.

11.1.2.4 Провести одновременно при помощи тридцатиметрового компаратора и системы измерения перемещений в следующих точках диапазона или близким к ним: 2; 3; 4 м.

11.1.2.5 Определить абсолютную погрешность измерений линейных перемещений Δ_X для каждого из значений, указанных в п. 11.1.2.4, по формуле 3, приведенной в п. 11.1.1.5.

11.1.3 Система считается выдержавшей поверку, если диапазон и абсолютная погрешность измерений линейных перемещений соответствуют данным, приведенным в таблице 1.

11.2 Проверка диапазона и определение диапазона и абсолютной погрешности измерений угловых перемещений (тангаж, рысканье)

Диапазон и абсолютную погрешность измерений угловых перемещений (тангаж, рысканье) определяют с помощью стола поворотного из состава Государственного первичного эталона единицы плоского угла ГЭТ 22-2014 (далее ГЭТ 22-2014). Для этого необходимо выполнить следующие операции.

11.2.1 Закрепить приемник системы на столе поворотном таким образом, чтобы измерение угловых перемещений осуществлялось относительно поперечной оси (тангаж).

11.2.2 Излучатель установить на неподвижном основании на расстоянии $(1 \pm 0,1)$ м от оси стола поворотного. Расстояние измерить с помощью рулетки измерительной металлической.

11.2.3 В соответствии с паспортом подготовить систему для выполнения угловых измерений.

11.2.4 Провести одновременно при помощи стола поворотного и системы измерение угловых перемещений в следующих точках диапазона измерений или близким к ним: $\pm 20''$, $\pm 40''$, $\pm 60''$, $\pm 80''$, $\pm 100''$.

11.2.5 Определить абсолютную погрешность измерений угловых перемещений (тангаж) Δ_α для каждого из значений, указанных в п. 11.2.4, по формуле

$$\Delta_\alpha = \alpha_{изм} - \alpha_{эт}, \quad (4)$$

где $\alpha_{изм}$ – значение углового перемещения, измеренное системой;

$\alpha_{эт}$ – значение углового перемещения, измеренное с помощью стола поворотного.

11.2.6 Закрепить приемник системы с отражателями на столе поворотном таким образом, чтобы измерение угловых перемещений осуществлялось относительно вертикальной оси (рысканье).

11.2.7 Излучатель установить на неподвижном основании на расстоянии $(1 \pm 0,1)$ м от оси стола поворотного. Расстояние измерить с помощью рулетки измерительной металлической.

11.2.8 В соответствии с паспортом подготовить систему для выполнения угловых измерений.

11.2.9 Провести одновременно при помощи стола поворотного и системы измерение угловых перемещений в следующих точках диапазона измерений или близким к ним: $\pm 20''$, $\pm 40''$, $\pm 60''$, $\pm 80''$, $\pm 100''$.

11.2.10 Определить абсолютную погрешность измерений угловых перемещений (рысканье) Δ_α для каждого из значений, указанных в п. 11.2.9, по формуле 4, приведенной в п. 11.2.5.

11.2.11 Система считается выдержавшей поверку, если диапазон и абсолютная погрешность измерений угловых перемещений (тангаж, рысканье) соответствуют данным, приведенным в таблице 1.

11.3 Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений углов поворота относительно продольной оси

Диапазон и абсолютную погрешность измерений углов поворота относительно продольной оси определяют с помощью автоколлиматора из состава ГЭТ 22-2014. Для этого необходимо выполнить следующие операции.

11.3.1 Установить приемник на стойке из состава системы.

11.3.2 Излучатель установить на неподвижном основании на расстоянии $(0,5 \pm 0,1)$ м. Расстояние измерить с помощью рулетки измерительной металлической.

11.3.3 В соответствии с паспортом подготовить систему для выполнения угловых измерений.

11.3.4 На приемнике системы закрепить плоское зеркало.

11.3.5 Установить автоколлиматор на неподвижном основании на расстоянии $(1,0 \pm 0,1)$ м напротив плоского зеркала. Расстояние измерить с помощью рулетки измерительной металлической.

11.3.6 В соответствии с паспортом подготовить автоколлиматор для выполнения измерений.

11.3.7 Задавая с помощью регулятора приемника углы поворота относительно продольной оси в следующих точках диапазона измерений или близким к ним: $\pm 20''$, $\pm 50''$, $\pm 100''$, провести одновременные измерения углов поворота при помощи автоколлиматора и системы.

11.3.8 Определить абсолютную погрешность измерений углов поворота относительно продольной оси Δ_α для каждого из значений, указанных в п. 11.3.7, по формуле

$$\Delta_\alpha = \alpha_{изм} - \alpha_{эт}, \quad (5)$$

где $\alpha_{изм}$ — значение угла поворота относительно продольной оси, измеренное системой;

$\alpha_{эт}$ — значение угла поворота относительно продольной оси, измеренное с помощью автоколлиматора.

11.3.9 Система считается выдержавшей поверку, если диапазон и абсолютная погрешность измерений углов поворота относительно продольной оси соответствуют данным, приведенным в таблице 1.

12 Оформление результатов поверки

12.1 При проведении поверки системы оформляют протокол поверки. Рекомендуемая форма протокола поверки приведена в Приложении А.

12.2 Систему, удовлетворяющую требованиям настоящей методики поверки, признают годной к применению. При отрицательных результатах поверки по одному из пунктов методики система не допускается к применению.

12.3 Результаты поверки вносят в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. По заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, на средство измерений выдается свидетельство о поверке или извещение о непригодности. Знак поверки наносится на свидетельство о поверке (в случае его оформления).

12.4 Нанесение знака поверки на систему не предусмотрено.

Приложение А
Форма протокола поверки (рекомендуемая)

Протокол поверки № _____

Наименование средства измерения, тип	
Регистрационный номер в Федеральном информационном фонде	
Заводской (серийный) номер или буквенно-цифровое обозначение	
Изготовитель	
Год выпуска	
Заказчик (наименование и юридический адрес)	
Серия и номер знака предыдущей поверки (при наличии)	
Дата предыдущей поверки	

Вид поверки: _____.

Методика поверки: МП 2511-0002-2024 «ГСИ. Система лазерная измерительная ХМ-60. Методика поверки», согласованная ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» 01 февраля 2024 г.

Средства поверки: _____.

Условия проведения поверки

Параметры	Требования НД	Измеренные значения
Температура окружающего воздуха, °С	20,0±0,5	
Относительная влажность воздуха, %	60±20	
Атмосферное давление, кПа	100±6	

Результаты поверки

- 1 Внешний осмотр
- 2 Опробование
- 3 Подтверждение соответствия программного обеспечения
- 4 Определение длины волны в вакууме лазерного излучения
- 5 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение

соответствия средства измерений метрологическим требованиям

5.1 Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений линейных перемещений

Таблица 1 – Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений линейных перемещений

Номинальное значение линейного перемещения, м	Значение линейного перемещения, измеренное эталоном $X_{эт}$, мм	Значение линейного перемещения, измеренное системой $X_{изм}$, мм	Абсолютная погрешность измерений линейных перемещений Δx , мкм

5.2 Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений угловых перемещений (тангаж, рысканье)

Таблица 2 – Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений угловых перемещений (тангаж)

Номинальное значение углового перемещения	Значение углового перемещения, измеренное эталоном $\alpha_{\text{эт}}$	Значение углового перемещения, измеренное системой $\alpha_{\text{изм}}$	Абсолютная погрешность измерений угловых перемещений $\Delta \alpha$

Таблица 3 – Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений угловых перемещений (рысканье)

Номинальное значение углового перемещения	Значение углового перемещения, измеренное эталоном $\alpha_{\text{эт}}$	Значение углового перемещения, измеренное системой $\alpha_{\text{изм}}$	Абсолютная погрешность измерений угловых перемещений $\Delta \alpha$

5.3 Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений углов поворота относительно продольной оси

Таблица 4 – Проверка диапазона и определение абсолютной погрешности измерений углов поворота относительно продольной оси

Номинальное значение угла поворота	Значение угла поворота относительно продольной оси, измеренное эталоном $\alpha_{\text{эт}}$	Значение угла поворота относительно продольной оси, измеренное системой $\alpha_{\text{изм}}$	Абсолютная погрешность измерений угла поворота относительно продольной оси $\Delta \alpha$

Заключение: система соответствует (не соответствует) предъявляемым требованиям и признана годной (не годной) к применению.

На основании результатов поверки выдано (по заявлению владельца СИ):

Свидетельство о поверке № _____ от _____
(извещение о непригодности)

Поверку произвел

ФИО

Подпись

Дата