
Федеральное агентство по техническому регулированию
и метрологии

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

ГОСТ Р
*(ПРОЕКТ,
ПЕРВАЯ
РЕДАКЦИЯ)*

Государственная система обеспечения единства
измерений

**МЕРЫ РЕЛЬЕФНЫЕ НАНОМЕТРОВОГО
ДИАПАЗОНА С ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫМ
ПРОФИЛЕМ ЭЛЕМЕНТОВ**

Методика поверки

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

ГОСТ Р
*(проект, первая
редакция)*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН ОАО «Научно-исследовательский центр по исследованию свойств поверхности и вакуума»

2 ВНЕСЕН ТК по стандартизации № 441 «Наукоемкие технологии »

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от _____ № _____

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок – в ежемесячно издаваемых указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет.

© ИПК Издательство стандартов, 200__

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения национального органа Российской Федерации по стандартизации

Содержание

1	Область применения.....	1
2	Нормативные ссылки.....	2
3	Термины и определения.....	2
4	Средства поверки рельефной меры.....	5
5	Порядок проведения измерений при поверке рельефной меры.....	6
6	Порядок обработки результатов измерений.....	11
7	Оформление результатов поверки.....	18
	Приложение А.....	20
	Приложение Б.....	24
	Библиография.....	28

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

МЕРЫ РЕЛЬЕФНЫЕ НАНОМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ ЭЛЕМЕНТОВ

Методика поверки

State system for ensuring the uniformity of measurements.
Nanometer range relief measure with trapezoidal profile of elements.
Verification procedure

Дата введения _____

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий стандарт распространяется на меры рельефные нанометрового диапазона с трапецеидальным профилем элементов (далее – рельефные меры), линейные размеры и материал для изготовления которых соответствуют требованиям ГОСТ Р , и устанавливает методику поверки рельефных мер, используемых при измерении линейных размеров в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-6} м.

Настоящий стандарт предназначен для применения при проведении всех видов поверок рельефных мер в сфере государственного метрологического контроля (надзора).

2 НОРМАТИВНАЯ ССЫЛКА

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт:

ГОСТ Р Меры рельефные нанометрового диапазона. Общие требования

Примечание - При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочного стандарта в информационной системе общего пользования - на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем стандарте применены термины по РМГ 29 [1], а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 рельеф поверхности твердого тела (рельеф поверхности): Экспериментально наблюдаемая поверхность твердого тела, отклонения которой от идеально плоской поверхности обусловлены естественными причинами или специальной обработкой.

3.2 элемент рельефа поверхности (элемент рельефа): Пространственно локализованная часть рельефа поверхности.

3.3 геометрический профиль элемента рельефа: Стороны плоской геометрической фигуры, которая наиболее адекватно аппроксимирует форму сечения элемента рельефа плоскостью, перпендикулярной рельефу поверхности.

3.4 элемент рельефа в форме выступа (выступ): Элемент рельефа, расположенной выше, чем прилегающие области.

3.5 геометрическая форма элемента рельефа: Геометрическая фигура, которая характеризует форму геометрического профиля элемента рельефа.

Примечание - Например, трапецидальный выступ - элемент рельефа поверхности, геометрический профиль которого наиболее адекватно описывается трапецией.

3.6

мера физической величины (мера величины): Средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в узаконенных единицах и известны с необходимой точностью.

[РМГ 29-99, пункт 6.10]

3.7 мера рельефная: Средство измерений длины, представляющее собой твердый объект, линейные размеры элементов рельефа которого известны с необходимой точностью.

ГОСТ Р
(проект, первая
редакция)

Примечание - Рельефная мера может быть изготовлена искусственно средствами микро- и нанотехнологии или представлять собой специально обработанный объект естественного происхождения.

3.8 мера рельефная нанометрового диапазона: Мера рельефная, содержащая элементы рельефа, линейный размер которых хотя бы по одному из измерений менее 10^{-6} м.

3.9 мера рельефная нанометрового диапазона с трапецидальным профилем элементов (рельефная мера): Мера рельефная нанометрового диапазона, геометрическая форма элементов рельефа которой – трапеция.

3.10 пиксель: Наименьший дискретный элемент изображения, получаемый при математической обработке информативного сигнала.

3.11 сканирование элемента исследуемого объекта (сканирование): Осуществление штатными средствами микроскопа перемещения зонда вдоль выбранного отрезка на исследуемом объекте с одновременной регистрацией информативного сигнала.

3.12 видеоизображение на экране монитора микроскопа (видеоизображение): Изображение на экране монитора микроскопа в виде матрицы из n строк по m пикселей в каждой, яркость которых прямо пропорциональна значению величины сигнала в соответствующей точке матрицы.

Примечание - Яркость пикселя определяется силой света, излучаемой им в направлении глаза наблюдателя.

3.13 видеопрофиль информативного сигнала (видеопрофиль):

Графическая зависимость значения величины информативного сигнала, поступающего с детектора микроскопа, от номера пикселя в данной строке видеоизображения.

3.14 масштабный коэффициент видеоизображения микроскопа (масштабный коэффициент): Отношение известного значения длины исследуемого элемента на объекте измерений к количеству пикселей этого элемента на видеоизображении.

Примечание - Масштабный коэффициент определяют для каждого конкретного экземпляра микроскопа.

3.15 Z-сканер сканирующего зондового атомно-силового микроскопа (Z-сканер): штатное техническое средство сканирующего зондового атомно-силового микроскопа, обеспечивающее в процессе сканирования вертикальное положение зонда, соответствующее условию постоянства расстояния зонд-поверхность исследуемого объекта.

4 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ РЕЛЬЕФНОЙ МЕРЫ

4.1 Для поверки рельефной меры используют совмещенные между собой следующие средства измерения:

два двухлучевых лазерных гетеродинных интерферометра (далее – лазерный интерферометр), в которых в качестве источников излучения используют гелий-неоновый лазер;

сканирующий зондовый атомно-силовой микроскоп (далее – АСМ), в комплектацию которого включают вспомогательный оптический микроскоп.

ГОСТ Р
(проект, первая
редакция)

4.2 Длина волны источника излучения лазерного интерферометра должна быть стабилизирована по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде, что обеспечивает стабильное излучения с частотой $\nu = 473612214705$ кГц (соответствует длине волны $\lambda = 632,99139822$ нм).

4.3. В комплектацию каждого лазерного интерферометра включают два зеркала, предназначенных для формирования опорного и информативного лучей, по величине фазового сдвига $\Delta\Phi$ между которыми определяют перемещение поверяемого элемента при его сканировании на АСМ.

4.4 АСМ используют для регистрации видеопрофилей всех поверяемых элементов рельефа при сканировании соответствующего элемента рельефа.

5 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПОВЕРКЕ РЕЛЬЕФНОЙ МЕРЫ

5.1 Рельефную меру устанавливают на рабочий стол АСМ. С помощью вспомогательного оптического микроскопа подводят зонд АСМ в начальное положение для сканирования поверяемого элемента рельефной меры.

Начальное положение определяют исходя из следующего критерия: зонд АСМ устанавливают на плоскость нижнего основания на расстоянии от поверяемого элемента, составляющем не менее 20% и не более 50% ширины основания поверяемого элемента. Из аналогичных условий определяют конечное положение зонда АСМ при сканировании.

5.2. На неподвижный элемент в камере образцов АСМ устанавливают

зеркало лазерного интерферометра, предназначенное для формирования опорного луча, а на рабочий стол АСМ устанавливают другое зеркало для формирования информативного луча. Лазерный интерферометр (далее – горизонтальный лазерный интерферометр) располагают вдоль оси, совпадающей с горизонтальным направлением сканирования (далее – ось абсцисс).

Второй комплект зеркал располагают на Z-сканере и на неподвижном элементе камеры образцов АСМ. Эти зеркала предназначены для формирования информативного (на Z-сканере) и опорного (на неподвижном элементе камеры) лучей, что позволит регистрировать перемещение Z-сканера АСМ в вертикальном направлении сканирования (далее – ось ординат). Второй лазерный интерферометр (далее – вертикальный лазерный интерферометр) устанавливают соответственно расположению зеркал.

Горизонтальный и вертикальный лазерные интерферометры должны обеспечивать регистрацию информативных и опорных лучей в процессе сканирования поверяемого элемента. Необходимо также обеспечить для каждого интерферометра взаимную параллельность информативного и опорного лучей при всех положениях стола и Z-сканера АСМ в процессе сканирования поверяемого элемента. Допустимый угол расхождения опорного и информативного лучей для каждого интерферометра не должен превышать $1'$.

ГОСТ Р
*(проект, первая
редакция)*

Взаимное расположение двух лазерных интерферометров в комплекте с зеркалами позволяет в процессе сканирования поверяемого элемента рельефа рельефной меры проводить регистрацию видеопрофиля элемента и одновременно с этим регистрацию перемещения рельефной меры и Z-сканера двумя лазерными интерферометрами.

5.3. В соответствии с инструкцией по эксплуатации АСМ проводят пробное сканирование поверяемого элемента рельефа. При этом:

осуществляют юстировку зеркал в соответствии с инструкцией по эксплуатации лазерных интерферометров;

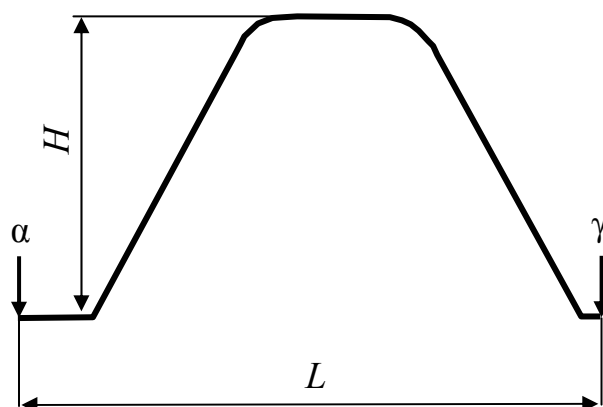
перемещением и наклоном детектора лазерного интерферометра обеспечивают совпадение направлений горизонтального сканирования и вертикального перемещения Z-сканера АСМ с соответствующими направлениями информативных и опорных лучей.

5.4. В соответствии с инструкциями по эксплуатации АСМ и лазерных интерферометров осуществляют сканирование поверяемого элемента рельефа рельефной меры. Одновременно проводят измерения величин горизонтального перемещения подвижной части рабочего стола АСМ и вертикального перемещения Z-сканера АСМ лазерными интерферометрами.

На рисунке 1 представлено схематическое изображение сечения выступа трапецеидальной формы и условно показаны места начального и конечного положения зонда АСМ при поверке. Видеопрофиль, соответствующий этому выступу, представлен на рисунке 2.



Рисунок 1 – Сечение поверяемого элемента рельефной меры с обозначениями поверяемых параметров



α – точка на видеопрофиле, соответствующая начальному положению зонда АСМ при сканировании
 γ – точка на видеопрофиле, соответствующая конечному положению зонда при сканировании

Рисунок 2 - Видеопрофиль, соответствующий сечению поверяемого элемента рельефной меры, приведенного на рисунке 1, с обозначением его параметров (направление сканирования слева направо)

ГОСТ Р
(проект, первая
редакция)

5.5 Для определения величины горизонтального перемещения подвижной части рабочего стола АСМ измеряют с помощью горизонтального лазерного интерферометра:

величину фазового сдвига между информативным и опорным лучами горизонтального лазерного интерферометра $\Delta\varphi_{0z}$, рад, до начала процесса сканирования, зонд АСМ при этом находится в начальной точке и все элементы АСМ неподвижны (далее – начальный фазовый сдвиг для горизонтального лазерного интерферометра);

целое число полос интерференции N_z , соответствующее величине фазового сдвига между опорным и информативным лучами горизонтального лазерного интерферометра при сканировании поверяемого элемента по 5.4;

величину дробной части фазового сдвига между опорным и информативными лучами горизонтального лазерного интерферометра $\Delta\varphi_z$, рад, при сканировании поверяемого элемента по 5.4.

Измеренные значения N_z , $\Delta\varphi_{0z}$ и $\Delta\varphi_z$ позволяют вычислить величину фазового сдвига $\Delta\Phi_z$ между опорным и информативными лучами горизонтального лазерного интерферометра и величину перемещения подвижной части рабочего стола АСМ ΔL при сканировании поверяемого элемента.

5.6 Для определения величины вертикального перемещения Z-сканера АСМ измеряют с помощью вертикального лазерного интерферометра:

величину фазового сдвига между информативным и опорным лучами вертикального лазерного интерферометра $\Delta\varphi_{0v}$, рад, до начала процесса сканирования, зонд АСМ при этом находится в начальной точке и все элементы АСМ неподвижны (далее – начальный фазовый сдвиг для вертикального лазерного интерферометра);

целое число полос интерференции $N_в$, соответствующее величине фазового сдвига между опорным и информативным лучами вертикального лазерного интерферометра при сканировании поверяемого элемента по 5.4;

величину дробной части фазового сдвига между опорным и информативными лучами вертикального лазерного интерферометра $\Delta\varphi_в$, рад, при сканировании поверяемого элемента по 5.4.

Измеренные значения $N_в$, $\Delta\varphi_{0_в}$ и $\Delta\varphi_в$ позволяют вычислить величину фазового сдвига $\Delta\Phi_в$ между опорным и информативными лучами вертикального лазерного интерферометра и величину вертикального перемещения Z-сканера АСМ ΔH при сканировании поверяемого элемента.

5.7 Результаты измерений параметров рельефной меры по 5.5 и 5.6, а также приведенных на рисунке 2, оформляют в соответствии с [2].

6 ПОРЯДОК ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

6.1 Вычисление величины фазового сдвига между опорным и информативным лучами горизонтального лазерного интерферометра при сканировании поверяемого элемента

Величину фазового сдвига $\Delta\Phi_г$, рад, между опорным и информативными лучами горизонтального лазерного интерферометра при сканировании поверяемого элемента вычисляют по формуле

$$\Delta\Phi_г = 2\pi N_г + \Delta\varphi_г - \Delta\varphi_{0_г}$$

ГОСТ Р
(проект, первая
редакция)

где N_2 - целое число полос интерференции, соответствующее величине фазового сдвига между опорным и информативным лучами горизонтального лазерного интерферометра, измеренное по 5.5;

$\Delta\varphi_2$ - величина дробной части фазового сдвига между опорным и информативными лучами горизонтального лазерного интерферометра, измеренная по 5.5, рад;

$\Delta\varphi_{02}$ - величина начального фазового сдвига для горизонтального лазерного интерферометра, измеренная по 5.5, рад.

6.2 Вычисление величины горизонтального перемещения подвижной части рабочего стола АСМ при сканировании поверяемого элемента

Величину горизонтального перемещения подвижной части рабочего стола ΔL , нм, при перемещении от положения, соответствующего начальному положению зонда АСМ до конечного положения, вычисляют по формуле

$$\Delta L = \frac{\lambda_0}{4\pi n} \Delta\Phi_2$$

где $\lambda_0 = 632,99139822$ нм;

$\Delta\Phi_2$ - величина фазового сдвига, вычисленная по 6.1, рад;

n – показатель преломления воздуха, вычисленный по фактическим значениям температуры, влажности и давлению окружающего воздуха с учетом содержания углекислого газа, приведен в приложении А.

6.3 Вычисление масштабного коэффициента видеоизображения для оси абсцисс

Масштабный коэффициент видеоизображения m , нм/пиксель, для оси абсцисс вычисляют по формуле

$$m = \frac{\Delta L}{L}$$

где ΔL – величина перемещения подвижной части рабочего стола АСМ в направлении горизонтального сканирования, вычисленная по 6.2, нм;

L – величина перемещения подвижной части рабочего стола АСМ в направлении горизонтального сканирования, вычисленная по 6.2, нм.

6.4 Вычисление величины фазового сдвига между опорным и информативным лучами вертикального лазерного интерферометра при сканировании поверяемого элемента

Величину фазового сдвига $\Delta\Phi_e$, рад, между опорным и информативными лучами вертикального лазерного интерферометра при сканировании поверяемого элемента вычисляют по формуле

$$\Delta\Phi_{\epsilon} = 2\pi N_{\epsilon} + \Delta\varphi_{\epsilon} - \Delta\varphi_{0\epsilon}$$

где N_{ϵ} - целое число полос интерференции, соответствующее величине фазового сдвига между опорным и информативным лучами вертикального лазерного интерферометра, измеренное по 5.6;

$\Delta\varphi_{\epsilon}$ - величина дробной части фазового сдвига между опорным и информативными лучами вертикального лазерного интерферометра, измеренная по 5.6, рад;

$\Delta\varphi_{0\epsilon}$ – величина начального фазового сдвига для вертикального лазерного интерферометра, измеренная по 5.6, рад.

6.5 Вычисление величины вертикального перемещения Z-сканера АСМ при сканировании поверяемого элемента

Величину вертикального перемещения Z-сканера АСМ ΔH , нм, при сканировании поверяемого элемента по 5.4, вычисляют по формуле

$$\Delta H = \frac{\lambda_0}{4\pi n} \Delta\Phi_{\epsilon}$$

где $\lambda_0 = 632,99139822$ нм;

$\Delta\Phi_{\epsilon}$ – величина фазового сдвига, вычисленная по 6.4, рад;

n – показатель преломления воздуха, вычисленный по фактическим значениям температуры, влажности и давлению окружающего воздуха с учетом содержания углекислого газа, приведен в приложении А.

6.6 Вычисление масштабного коэффициента видеоизображения для оси ординат

Масштабный коэффициент видеоизображения k , нм/пиксель, для оси ординат вычисляют по формуле

$$k = \frac{\Delta H}{H}$$

где ΔH - величина перемещения столика АСМ в направлении вертикального сканирования, вычисленная по 6.5;

H - высота выступа, измеренная по видеопрофилю, пиксель.

6.7 Вычисление высоты выступа поверяемого элемента рельефа

Величину высоты выступа h , нм, вычисляют по формуле

$$h = kH$$

где k – масштабный коэффициент видеоизображения для оси ординат, вычисленный по 6.6, нм/пиксель;

H – величина высоты выступа, измеренная в пикселях по видеопрофилю поверяемого элемента рельефа.

6.8 Вычисление вспомогательной величины для определения ширины верхнего основания выступа поверяемого элемента рельефа

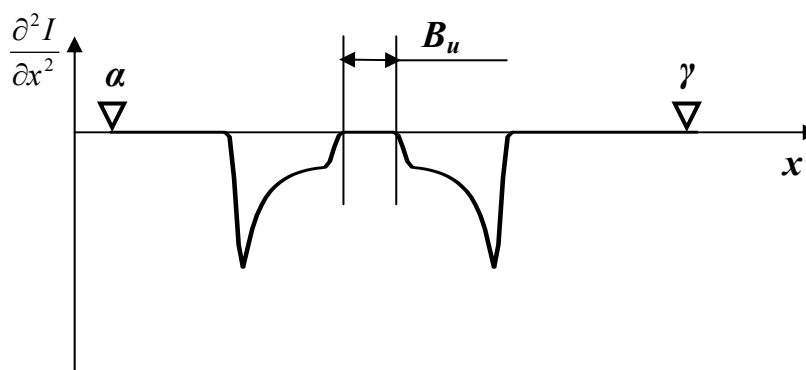
При определении величины ширины верхнего основания трапецеи-

ГОСТ Р
(проект, первая
редакция)

дального выступа b_u , используют вспомогательные величины, для вычисления которых:

производят численное вычисление второй производной по горизонтальной координате. Для видеопрофиля, изображенного на рисунке 2, результат такого вычисления схематически представлен на рисунке 3;

проводят анализ результатов вычисления второй производной видеопрофиля по координате и вычисляют вспомогательную величину B_u , пиксель, которая равна разности соответствующих абсцисс точек, как показано на рисунке 3.



x – ось абсцисс по 5.2;

α, γ – начальная и конечная точки положения зонда АСМ при сканировании поверяемого элемента, расположенные по 5.1;

$\frac{\partial^2 I}{\partial x^2}$ – ось ординат по значению второй производной величины видеосигнала по координате x .

Рисунок 3. Зависимость второй производной видеопрофиля, представленного на рисунке 2, по координате в направлении горизонтального перемещения подвижной части стола АСМ

6.9 Вычисление ширины верхнего основания трапецеидального выступа

Величину ширины верхнего основания выступа b_u , нм, вычисляют по формуле

$$b_u = mB_u$$

где m – масштабный коэффициент видеоизображения для оси абсцисс, вычисленный по 6.3, нм/пиксель;

B_u – вспомогательная величина, вычисленная по 6.8, пиксель.

6.10 Вычисление величины ширины нижнего основания трапецеидального выступа

Величину ширины нижнего основания трапецевидного выступа b_p , нм, вычисляют по формуле:

$$b_p = b_u + 2,8284h$$

где b_u – ширина верхнего основания поверяемого выступа, вычисленная по 6.9, нм;

h – высота поверяемого выступа, вычисленная по 6.7, нм.

6.11 Вычисление величины проекции наклонной стенки на плоскость нижнего основания выступа

Величину проекции наклонной стенки на плоскость нижнего основания выступа a , нм, вычисляют по формуле

$$a = \frac{b_p - b_u}{2}$$

где b_p – величина ширины нижнего основания, вычисленная по 6.10, нм;

b_u – величина ширины верхнего основания, вычисленная по 6.9, нм.

6.12 Абсолютные погрешности вычисленных значений величин b_u , b_p , h и a элемента рельефа рельефной меры не превышают 0,1 нм при условии:

определения длины волны гелий-неонового лазера, используемого в лазерных интерферометрах, с относительной погрешностью не более $3 \cdot 10^{-7}$;

определения величин фазовых сдвигов $\Delta\Phi_z$ и Φ_g с абсолютной погрешностью не более 0,002 рад.

7 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

7.1 Результаты поверки оформляют выдачей свидетельства установленной формы и записью в паспорте рельефной меры и нанесением оттиска поверительного клейма, по формам, установленным в [2,3].

7.2 В свидетельстве о поверке и паспорте рельефной меры должны быть указаны значения всех поверенных параметров рельефной меры, номенклатура которых приведена на рисунке 1а.

Приложение А
(справочное)

**Вычисление значения величины показателя преломления
воздуха**

(см. 6.2 и 6.5 настоящего стандарта)

1 Исходные данные

При вычислении значения показателя преломления воздуха n исходными данными являются параметры окружающего установку воздуха

- температура t , °С;
- атмосферное давление p , Па;
- относительная влажность ρ , %.

Параметры окружающего воздуха измеряют термометром, барометром и психрометром соответственно. Отсчеты по термометру, барометру и психрометру снимают до начала и после окончания приема измерения длины.

2 Значения констант A, B, C, D, E, F, G

При вычислениях используют следующие константы с соответствующими значениями

$$A = 8342,54$$

$$B = 2406147$$

$$C = 15998$$

$$D = 96095,43$$

$$E = 0,601$$

$$F = 0,00972$$

$$G = 0,003661$$

3 Вычисление значения вспомогательной величины S

Значение вспомогательной величины S вычисляют по формуле

$$S = \frac{1}{\lambda_0^2}$$

где λ_0 – значение длины волны излучения в вакууме гелий-неонового лазера, используемого в лазерном интерферометре, мкм.

4 Вычисление значения вспомогательной величины n_s

Значение вспомогательной величины n_s вычисляют по формуле

$$n_s = 1 + 10^{-8} \left(A + \frac{B}{130 - S} + \frac{C}{38,9 - S} \right)$$

где A, B, C – константы по п.2;

S – значение вспомогательной величины по п.3.

5 Вычисление значения вспомогательной величины X

Значение вспомогательной величины X вычисляют по формуле

$$X = \frac{1 + 10^{-8} (E - Ft)p}{1 + Gt}$$

ГОСТ Р
(проект, первая редакция)

где E, F, G – константы по п.2;
 t – температура воздуха, °С;
 p – атмосферное давление, Па.

6 Вычисление значения вспомогательной величины n_1

Значение вспомогательной величины n_1 вычисляют по формуле

$$n_1 = 1 + \frac{p(n_s - 1)X}{D}$$

где p – атмосферное давление, Па;
 n_s – вспомогательная величина по п.4;
 X – вспомогательная величина по п.5;
 D – константа по п.2.

7 Вычисление значения парциального давления паров воды

Значение парциального давления паров воды p_e , Па, вычисляют по формуле

$$p_e = \frac{\rho}{100} p_{нв}(t)$$

где ρ – относительная влажность, %;
 $p_{нв}(t)$ – значение давления насыщенного водяного пара при температуре воздуха t , Па.

Алгоритм вычисления значения величины $p_{нв}(t)$ для заданного значения температуры воздуха приведен в Приложении Б.

8 Вычисление значения показателя преломления воздуха

Значение показателя преломления воздуха n вычисляют по формуле

$$n = n_1 - 10^{-10} \frac{292,75(3,7345 - 0,0401S)p_в}{t + 273,15}$$

где n_1 – значение вспомогательной величины по п.6;

S – значение вспомогательной величины по п.3;

$p_в$ – значение парциального давления паров воды по п.7, Па;

t – температура воздуха, °С.

Приложение Б
(справочное)

Вычисление значения величины давления насыщенного пара
воды

(см. п.7 Приложения А настоящего стандарта)

1 Значения констант

При вычислении значения давления насыщенного водяного пара при заданной температуре t , °С, используют константы, обозначения и значения которых приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1 Значения констант для вычисления значения давления насыщенного водяного пара

Обозначение константы	Числовое значение
K_1	1167,05214528
K_2	- 724213,167032
K_3	- 17,0738469401
K_4	12020,8247025
K_5	- 3232555,03223
K_6	14,9151086135
K_7	- 4823,26573616
K_8	405113,405421
K_9	- 23,8555575678
K_{10}	650,175348448

2 Перевод значения температуры воздуха из шкалы Цельсия в шкалу Кельвина

Значение температуры воздуха, выраженное в шкале Кельвина, T , К, вычисляют по формуле

$$T = t + 273,15$$

где t – значение температуры воздуха в шкале Цельсия, °С.

3 Вычисление значения вспомогательной величины Ω

Значение вспомогательной величины Ω вычисляют по формуле

$$\Omega = T + \frac{K_9}{T - K_{10}}$$

где T - значение температуры воздуха по п.2, К;

K_9, K_{10} – константы по п.1.

4 Вычисление значения вспомогательной величины A

Значение вспомогательной величины A вычисляют по формуле

$$A = \Omega^2 + K_1\Omega + K_2$$

где Ω – значение вспомогательной величины по п.3;

K_1, K_2 – константы по п.1.

5 Вычисление значения вспомогательной величины B

Значение вспомогательной величины B вычисляют по формуле

$$B = K_3\Omega^2 + K_4\Omega + K_5$$

где K_3, K_4, K_5 – константы по п.1;

Ω – значение вспомогательной величины по п.3.

6 Вычисление значения вспомогательной величины C

Значение вспомогательной величины C вычисляют по формуле

$$C = K_6\Omega^2 + K_7\Omega + K_8$$

где K_6, K_7, K_8 – константы по п.1;

Ω – значение вспомогательной величины по п.3.

7 Вычисление значения вспомогательной величины X

Значение вспомогательной величины X вычисляют по формуле

$$X = -B + \sqrt{B^2 - 4AC}$$

где B – значение вспомогательной величины по п.5;

A – значение вспомогательной величины по п.4;

C – значение вспомогательной величины по п.6.

8 Вычисление значения давления насыщенного водяного пара

Значение давления насыщенного водяного пара $p_{нв}(t)$, Па, вычисляются по формуле

$$p_{нв}(t) = 10^6 \left(\frac{2C}{X} \right)^4$$

где C – значение вспомогательной величины по п.6;

X – значение вспомогательной величины по п.7.

ГОСТ Р
*(проект, первая
редакция)*

Библиография

- | | |
|---|--|
| [1] Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ-29-99 | Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения |
| [2] Правила по метрологии. ПР 50.2.006-94 | Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок проведения поверки средств измерений |
| [3] Правила по метрологии. ПР 50.2.007 | Государственная система обеспечения единства измерений. Поверительные клейма |

УДК 531.711.7.089

ОКС 17.040.01

Ключевые слова: меры рельефные нанометрового диапазона с трапецеидальным профилем элементов, сканирующий зондовый атомно-силовой микроскоп, лазерный интерферометр, диапазон измерений от 10^{-9} до 10^{-6} м, метод поверки

Руководитель организации-разработчика,
генеральный директор ОАО «Научно-исследовательский центр по исследованию свойств поверхности и вакуума» (ОАО «НИЦПВ»),
доктор физ.-мат.наук, профессор _____ П.А.Тодуа
« ____ » _____ 200_ г.

Главный метролог ОАО «НИЦПВ» _____ Ю.П.Фролов

Руководитель разработки
гл.научный сотрудник ОАО «НИЦПВ»,
доктор физ.-мат.наук, профессор _____ А.В.Раков

Исполнитель
гл.научный сотрудник ОАО «НИЦПВ»,
доктор физ.-мат.наук, профессор _____ М.Н.Филиппов