

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

---



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р  
8.629—  
2007

---

Государственная система обеспечения  
единства измерений

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

**Методика поверки**

Издание официальное



Москва  
Стандартинформ  
2011

## Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

### Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр по изучению свойств поверхности и вакуума», Федеральным государственным учреждением «Российский научный центр «Курчатовский институт», Государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 441 «Наукоемкие технологии» Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 мая 2007 г. № 97-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ИЗДАНИЕ (декабрь 2010 г.) с Изменением № 1, утвержденным в ноябре 2010 г. (ИУС 2—2011)

*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 Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет*

© Стандартинформ, 2007  
© СТАНДАРТИНФОРМ, 2011

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

## Содержание

1 Область применения . . . . .	1
2 Нормативные ссылки . . . . .	1
3 Термины и определения . . . . .	2
4 Операции и средства поверки . . . . .	2
5 Требования к квалификации поверителей . . . . .	3
6 Требования безопасности . . . . .	3
7 Условия поверки и подготовка к ней . . . . .	4
8 Проведение поверки . . . . .	4
9 Обработка результатов измерений . . . . .	6
10 Оформление результатов поверки . . . . .	8
Приложение А (справочное) Вычисление показателя преломления воздуха . . . . .	9
Библиография . . . . .	11

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 measures with trapezoidal profile of elements.  
Methods for verification

Дата введения — 2008—02—01

## 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на рельефные меры нанометрового диапазона с трапецеидальным профилем элементов (далее — рельефные меры), линейные размеры и материал для изготовления которых соответствуют требованиям ГОСТ Р 8.628. Рельефные меры применяют для измерения линейных размеров в диапазоне от  $10^{-9}$  до  $10^{-6}$  м.

Настоящий стандарт устанавливает методику первичной и периодических поверок рельефных мер.  
**(Измененная редакция, Изм. № 1).**

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 8.628—2007 Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона из монокристаллического кремния. Требования к геометрическим формам, линейным размерам и выбору материала для изготовления

ГОСТ Р ИСО 14644-2—2001 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 2. Требования к контролю и мониторингу для подтверждения постоянного соответствия ГОСТ Р ИСО 14644-1\*

ГОСТ Р ИСО 14644-5—2005 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 5. Эксплуатация

ГОСТ 12.1.040—83 Система стандартов безопасности труда. Лазерная безопасность. Общие положения

ГОСТ 12.2.061—81 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам

ГОСТ ИСО 14644-1—2002 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха

**П р и м е ч а н и е** — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии 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 стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

**(Измененная редакция, Изм. № 1).**

\* ГОСТ Р ИСО 14644-1—2000 отменен; с 01.04.2004 действует ГОСТ ИСО 14644-1—2002.

### 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):** Поверхность твердого тела, отклонения которой от идеальной плоскости обусловлены естественными причинами или специальной обработкой.

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

**3.3 элемент рельефа в форме выступа (выступ):** Элемент рельефа, расположенный выше прилегающих к нему областей.

**3.4 геометрическая форма элемента рельефа:** Геометрическая фигура, наиболее адекватно аппроксимирующая форму минимального по площади сечения элемента рельефа.

**Пример — Трапецеидальный выступ, представляющий собой элемент рельефа поверхности, геометрическая форма минимального по площади сечения которого наиболее адекватно аппроксимируется трапецией.**

**3.5 мера (физической) 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 [1].

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

**Примечание —** Рельефная мера может быть изготовлена с помощью средств микро- и нанотехнологии или представлять собой специально обработанный объект естественного происхождения.

**3.7 рельефная мера нанометрового диапазона:** Мера, содержащая элементы рельефа, линейный размер хотя бы одного из которых менее  $10^{-6}$  м.

**3.8 рельефная мера (нанометрового диапазона с трапецеидальным профилем элементов):** Рельефная мера нанометрового диапазона, геометрическая форма элементов рельефа которой представляет собой трапецию.

**3.9 пиксель:** Наименьший дискретный элемент изображения, получаемый в результате математической обработки информативного сигнала.

**3.10 сканирование (элемента исследуемого объекта):** Перемещение зонда вдоль выбранного отрезка на исследуемом объекте с одновременной регистрацией информативного сигнала.

**3.11 изображение 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 сигнала соответствующей точки матрицы.

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

**3.12 видеопрофиль (информационного сигнала):** Графическая зависимость значения информативного сигнала, поступающего с детектора микроскопа, от номера пикселя в данной строке видеоизображения.

**3.13 масштабный коэффициент (видеоизображения микроскопа):** Отношение длины исследуемого элемента на объекте измерений к числу пикселей этого элемента на видеоизображении.

**Примечание —** Масштабный коэффициент определяют для каждого микроскопа.

**3.14 Z-сканер сканирующего зондового атомно-силового микроскопа (Z-сканер):** Устройство сканирующего зондового атомно-силового микроскопа, позволяющее в процессе сканирования перемещать зонд над поверхностью исследуемого объекта (или перемещать исследуемый объект под зондом) в вертикальном направлении.

**(Измененная редакция, Изм. № 1).**

### 4 Операции и средства поверки

4.1 При проведении первичной и периодических поверок рельефной меры должны быть выполнены операции и применены средства поверки, указанные в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 — Операции и применяемые средства поверки

Наименование операции	Номер подраздела настоящего стандарта	Наименование средства поверки и его основные технические и метрологические характеристики
Внешний осмотр	8.1	Вспомогательный оптический микроскоп (увеличение не менее 400 <sup>х</sup> )
Опробование	8.2	Сканирующий зондовый атомно-силовой микроскоп. Вспомогательный оптический микроскоп (увеличение не менее 400 <sup>х</sup> ). Два лазерных двухлучевых интерферометра с источником излучения — гелий-неоновым лазером, длина волны которого стабилизирована по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде и определена с относительной погрешностью не более $3 \cdot 10^{-7} \%$ . В комплект поставки каждого лазерного интерферометра должны входить два зеркала, предназначенные для формирования опорного и информативного лучей, по фазовому сдвигу $\Delta\Phi$ между которыми определяют перемещение поверяемого элемента в процессе его сканирования атомно-силовым микроскопом. Абсолютная погрешность определения фазового сдвига $\Delta\Phi$ — не более 0,002 рад
Определение метрологических характеристик	8.3	Атомно-силовой микроскоп. Вспомогательный оптический микроскоп (увеличение не менее 400 <sup>х</sup> ). Два лазерных двухлучевых интерферометра с источником излучения — гелий-неоновым лазером, длина волны которого стабилизирована по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде и определена с относительной погрешностью не более $3 \cdot 10^{-7} \%$ . В комплект поставки каждого лазерного интерферометра должны входить два зеркала, предназначенные для формирования опорного и информативного лучей, по фазовому сдвигу $\Delta\Phi$ между которыми определяют перемещение поверяемого элемента в процессе его сканирования атомно-силовым микроскопом. Абсолютная погрешность определения фазового сдвига $\Delta\Phi$ — не более 0,002 рад. Средства измерений параметров окружающей среды с абсолютными погрешностями не более: - температуры окружающей среды — $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ; - относительной влажности воздуха — $\pm 3 \%$ ; - атмосферного давления — $\pm 130 \text{ Па}$

**(Измененная редакция, Изм. № 1).**

4.2 Допускается применять другие средства поверки, точность которых соответствует требованиям настоящего стандарта.

## 5 Требования к квалификации поверителей

Поверку рельефных мер должны проводить штатные сотрудники метрологической службы предприятия, аккредитованной в установленном порядке на право проведения поверки средств измерений.

Сотрудники должны иметь высшее образование, профессиональную подготовку, опыт работы со сканирующими зондовыми атомно-силовыми микроскопами (далее — АСМ) и двухлучевыми лазерными гетеродинными интерферометрами и знать требования настоящего стандарта.

**(Измененная редакция, Изм. № 1).**

## 6 Требования безопасности

При поверке рельефных мер необходимо соблюдать правила электробезопасности по [3], [4], требования лазерной безопасности по ГОСТ 12.1.040 и требования по обеспечению безопасности на рабочих местах по ГОСТ 12.2.061, [5], [6].

Рабочие места поверителей должны быть аттестованы по условиям труда в соответствии с требованиями трудового законодательства.

**(Измененная редакция, Изм. № 1).**

## 7 Условия поверки и подготовка к ней

7.1 При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающей среды . . . . .  $(20 \pm 3)$  °С;
- относительная влажность воздуха . . . . . не более 80 %;
- атмосферное давление . . . . .  $(100 \pm 4)$  кПа;
- напряжение питающей сети . . . . .  $(220 \pm 22)$  В;
- частота питающей сети. . . . .  $(50,0 \pm 0,4)$  Гц.

Разность значений параметров окружающей среды до и после окончания поверки не должна превышать указанных в приложении А.

7.2 Помещение (зона), в котором размещают средства измерений для поверки рельефных мер, должно быть в эксплуатируемом состоянии и обеспечивать класс чистоты не более класса 8 ИСО по взвешенным в воздухе частицам размерами 0,5 и 5 мкм и концентрациями, определенными по ГОСТ ИСО 14644-1. Периодичность контроля состояния помещения (зоны) определяют по ГОСТ Р ИСО 14644-2. Эксплуатацию помещения (зоны) осуществляют по ГОСТ Р ИСО 14644-5.

7.1, 7.2 **(Измененная редакция, Изм. № 1).**

7.3 Перед началом поверки необходимо подать напряжение питания на основные средства поверки и подготовить их к работе в соответствии с инструкциями по эксплуатации.

## 8 Проведение поверки

### 8.1 Внешний осмотр

8.1.1 При внешнем осмотре поверяемой рельефной меры должно быть установлено:

- соответствие комплекта поставки данным, приведенным в паспорте (формуляре) на рельефную меру;
- отсутствие механических повреждений футляра, в котором осуществлялось хранение и транспортирование рельефной меры.

8.1.2 Рельефную меру извлекают из футляра, проводят предварительный визуальный внешний осмотр для выявления возможных повреждений и с помощью специальных зажимов устанавливают меру на рабочий стол АСМ.

При установке рельефной меры необходимо обеспечить:

- плотное прилегание плоскости подложки меры к поверхности рабочего стола АСМ;
- параллельность плоскости, образованной верхним основанием выступа поверяемого элемента рельефной меры, направлению горизонтального перемещения зонда (или рабочего стола) АСМ, а также ортогональностью такого перемещения к линии пересечения верхнего основания выступа с его наклонной стенкой.

8.1.3 С помощью вспомогательного оптического микроскопа осматривают и проверяют качество поверхности рельефной меры. Шаговая структура на поверхности рельефной меры должна быть однородной, при этом на примерно 75 % поверхности меры не должно быть повреждений маркерных линий, искажений краев элементов рельефа в виде впадин и выступов, соизмеримых с шириной элементов рельефа.

8.1.2, 8.1.3 **(Измененная редакция, Изм. № 1).**

### 8.2 Опробование

8.2.1 С помощью вспомогательного оптического микроскопа устанавливают зонд АСМ в положение, соответствующее началу сканирования поверяемого элемента рельефной меры.

Начальное положение определяют следующим образом: зонд АСМ устанавливают на плоскость нижнего основания на расстоянии от поверяемого элемента, равном не менее 20 % и не более 50 % ширины нижнего основания поверяемого элемента. Аналогично определяют конечное положение зонда АСМ при сканировании.

8.2.2 На неподвижном элементе в камере образцов АСМ устанавливают зеркало лазерного интерферометра, предназначенное для формирования опорного луча, а на рабочем столе АСМ — 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 устанавливают 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 позволяет регистрировать перемещение Z-сканера АСМ в вертикаль-

ном 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  $1'$ .

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

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

- выполняют юстировку зеркал в соответствии с инструкцией по эксплуатации применяемых лазерных интерферометров;
- путем изменения угла наклона исследуемого объекта обеспечивают взаимную параллельность направления прохождения информативного луча вертикального лазерного интерферометра и направления вертикального перемещения Z-сканера АСМ при сканировании элемента рельефа;
- в соответствии с инструкциями по эксплуатации применяемых АСМ и лазерных интерферометров определяют частоту и скорость сканирования поверяемого элемента, при которых в электронно-фазометрических системах интерферометров можно четко регистрировать количество целых и дробных полос интерференции, соответствующих значениям фазовых сдвигов между опорными и информативными лучами горизонтального и вертикального интерферометров;
- устанавливают показания электронно-фазометрических систем применяемых лазерных интерферометров в «нулевое» положение, определяемое нестабильностью младшего разряда используемых аналого-цифровых преобразователей в указанных электронно-фазометрических системах.

8.2.2, 8.2.3 (Измененная редакция, Изм. № 1).

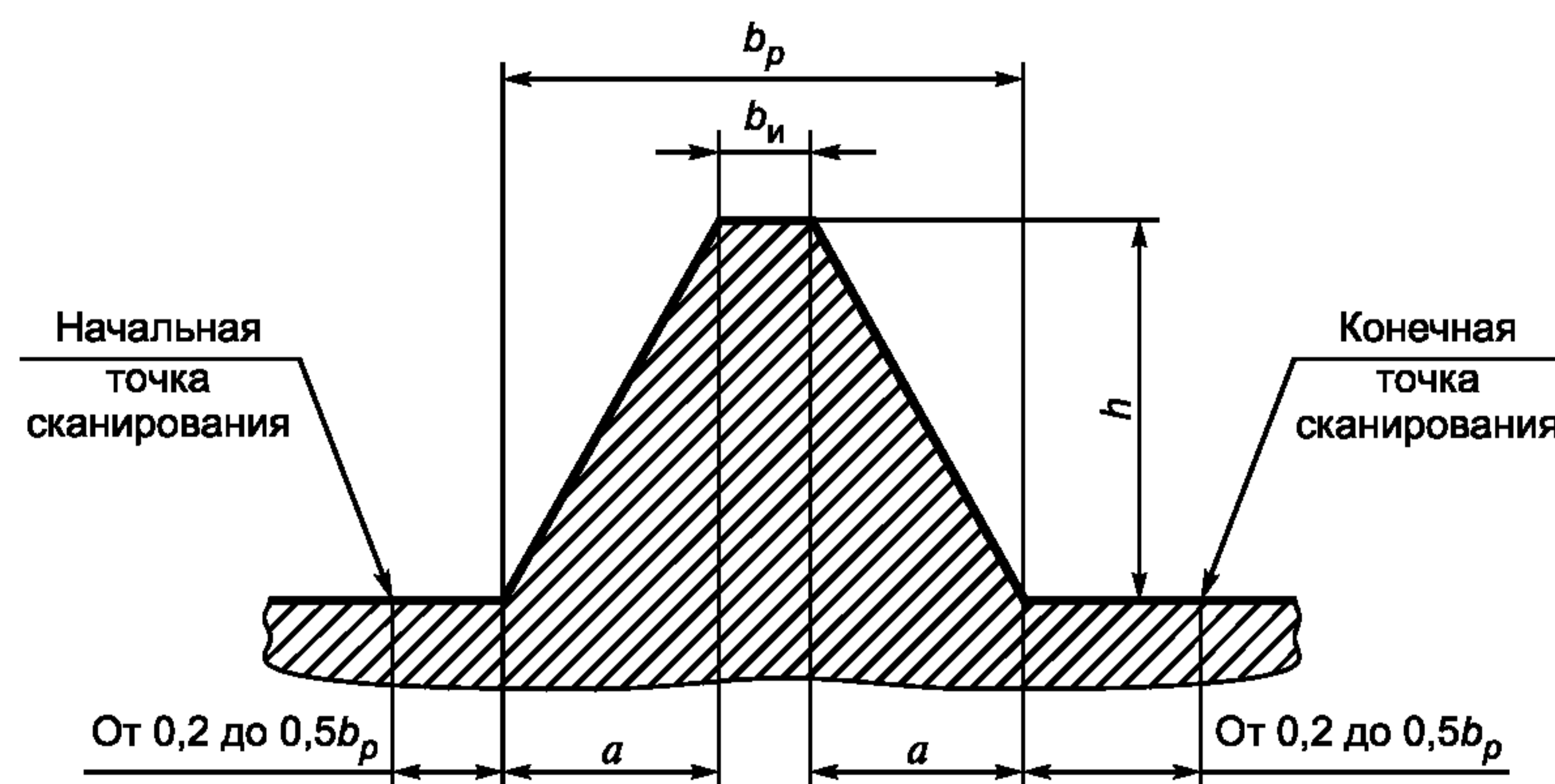
### 8.3 Определение метрологических характеристик

8.3.1 Проводят измерение параметров окружающей среды и показателей качества питающей электрической сети и проверяют выполнение требований, указанных в 7.1.

8.3.2 В соответствии с инструкциями по эксплуатации применяемых АСМ и лазерных интерферометров проводят сканирование выступа поверяемого элемента рельефной меры. Одновременно с помощью лазерных интерферометров проводят измерения горизонтального перемещения подвижной части рабочего стола АСМ и вертикального перемещения Z-сканера АСМ.

Сечение выступа трапецеидальной формы и места начального и конечного положений зонда АСМ приведены на рисунке 1.

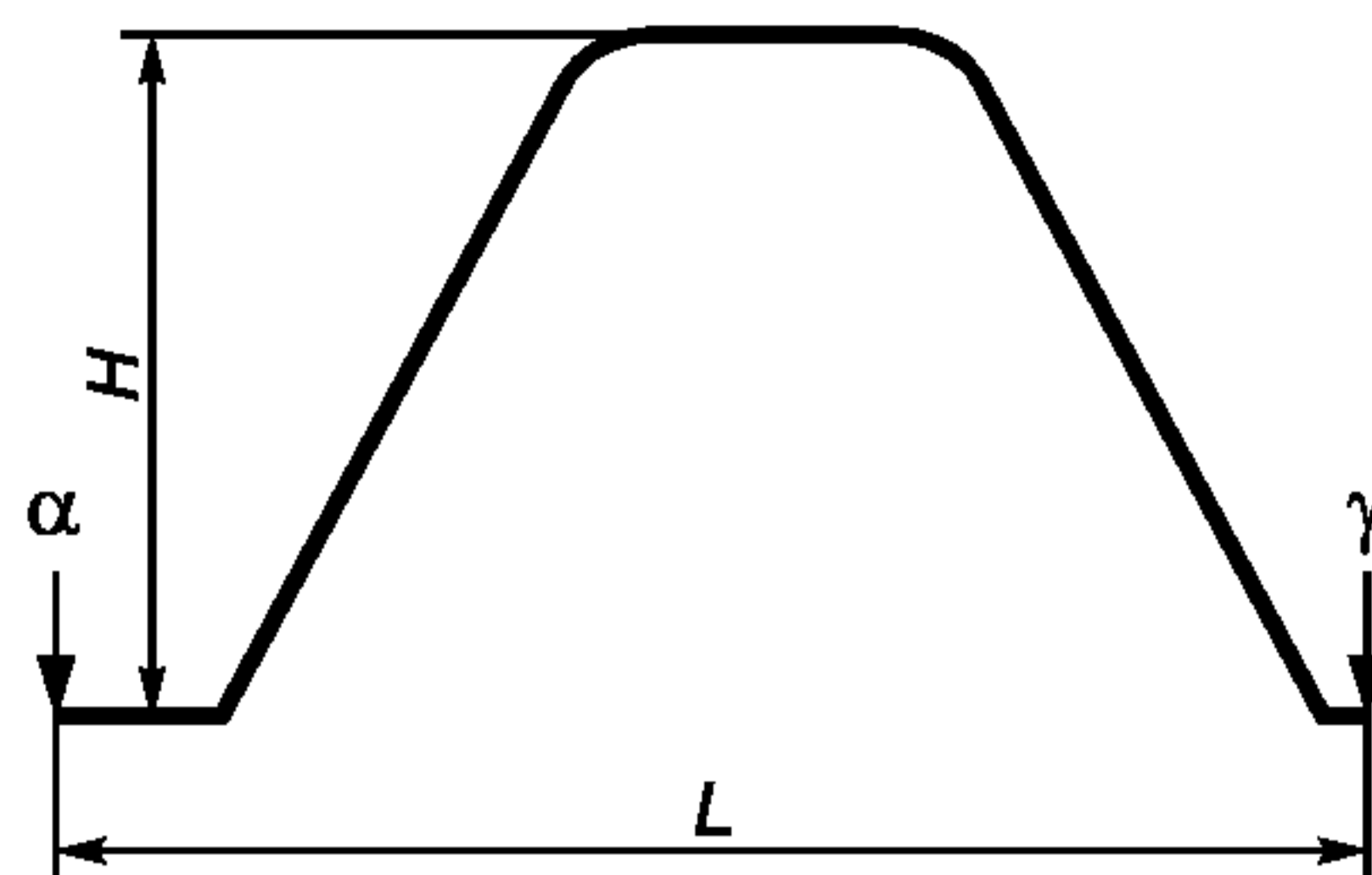
Видеопрофиль, соответствующий этому выступу, представлен на рисунке 2.



$b_p$  — ширина нижнего основания выступа;  $b_n$  — ширина верхнего основания выступа;  $h$  — высота выступа;  
 $a$  — значение проекции наклонной стенки на плоскость нижнего основания выступа

Рисунок 1 — Сечение поверяемого элемента рельефной меры





$\alpha$  — точка на видеопрофиле, соответствующая начальному положению зонда АСМ при сканировании;  $\gamma$  — точка на видеопрофиле, соответствующая конечному положению зонда при сканировании;  $H$  — высота выступа, измеренная по видеопрофилю;  $L$  — разность абсцисс конечной и начальной точек горизонтального сканирования, соответствующая величине горизонтального перемещения подвижной части рабочего стола АСМ, вычисленная по видеопрофилю

Рисунок 2 — Видеопрофиль сечения поверяемого элемента рельефной меры, приведенного на рисунке 1 (направление сканирования — слева направо)

8.3.3 По показаниям электронно-фазометрической системы горизонтального лазерного интерферометра определяют значение горизонтального фазового сдвига  $\Delta\Phi_r$  в радианах между информативным и опорным лучами этого интерферометра.

8.3.4 По показаниям электронно-фазометрической системы вертикального лазерного интерферометра определяют значение вертикального фазового сдвига  $\Delta\Phi_B$  в радианах между информативным и опорным лучами этого интерферометра.

8.3.5 Проводят измерение параметров окружающей среды и показателей качества питающей электрической сети и проверяют выполнение требований, указанных в 7.1.

8.3.1—8.3.5 (Измененная редакция, Изм. № 1).

#### 8.4 Оформление протокола поверки

Результаты измерений параметров рельефной меры по 8.3.2—8.3.4, а также приведенных на рисунке 2, оформляют в виде протокола. Также в протоколе указывают данные условий поверки до начала и после окончания измерений по 8.3.1 и 8.3.5.

Форма протокола — произвольная. Протокол с результатами поверки должен храниться как минимум до следующей поверки рельефной меры.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

### 9 Обработка результатов измерений

9.1 (Исключен, Изм. № 1).

#### 9.2 Вычисление горизонтального перемещения подвижной части рабочего стола АСМ при сканировании поверяемого элемента рельефа

Горизонтальное перемещение подвижной части рабочего стола  $\Delta L$ , нм, от начального до конечного положения при сканировании поверяемого элемента рельефа вычисляют по формуле

$$\Delta L = \frac{\lambda_1}{4\pi n} \Delta\Phi_r,$$

где  $\lambda_1$  — длина волны излучения гелий-неонового лазера в вакууме, приведенная в паспорте (формуляре) на горизонтальный лазерный интерферометр, нм;

$\Delta\Phi_r$  — фазовый сдвиг, измеренный по 8.3.3, рад;

$n$  — показатель преломления воздуха при фактических значениях температуры окружающей среды, влажности воздуха и атмосферного давления, вычисленный по приложению А.

#### 9.3 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  $\Delta L$  — перемещение подвижной части рабочего стола АСМ при горизонтальном сканировании, вычисленное по 9.2, нм;

$L$  — разность абсцисс конечной и начальной точек горизонтального сканирования, соответствующая горизонтальному перемещению подвижной части рабочего стола АСМ, вычисленная по видеопрофилю (см. рисунок 2), пиксель.

9.4 (Исключен, Изм. № 1).

#### 9.5 Вычисление вертикального перемещения Z-сканера АСМ при сканировании поверяемого элемента

Вертикальное перемещение Z-сканера АСМ  $\Delta H$ , нм, при сканировании поверяемого элемента вычисляют по формуле

$$\Delta H = \frac{\lambda_2}{4\pi n} \Delta\Phi_B,$$

где  $\lambda_2$  — длина волны излучения гелий-неонового лазера в вакууме, приведенная в паспорте (формуляре) на вертикальный лазерный интерферометр, нм;

$\Delta\Phi_B$  — фазовый сдвиг, измеренный по 8.3.4, рад;

$n$  — показатель преломления воздуха при фактических значениях температуры окружающей среды, влажности воздуха и атмосферного давления, вычисленный по приложению А.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

9.6 (Исключен, Изм. № 1).

#### 9.7 Вычисление высоты выступа поверяемого элемента рельефа

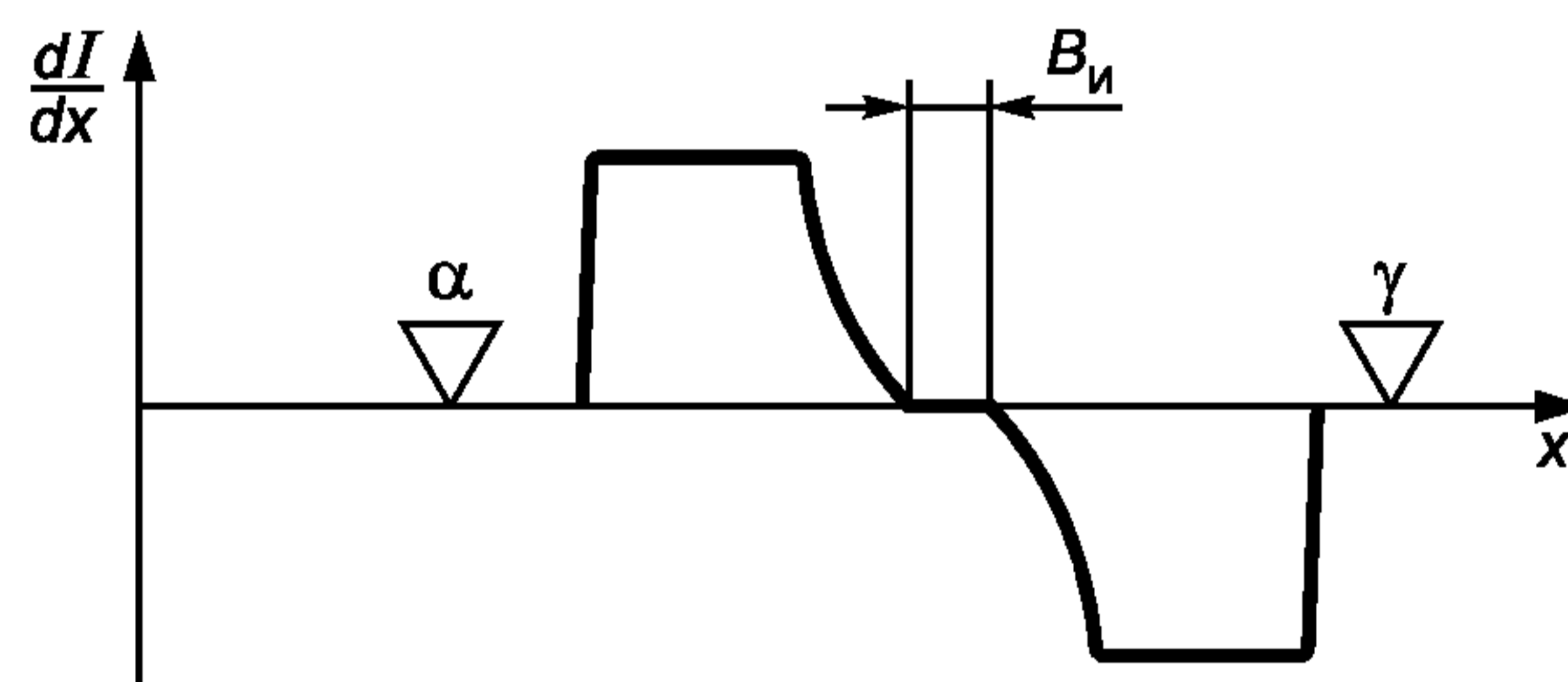
Значение высоты выступа  $h$  в нанометрах равно значению вертикального перемещения Z-сканера  $\Delta H$ , вычисленному по 9.5.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

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

При определении ширины верхнего основания трапецеидального выступа  $b_{и}$  используют вспомогательную величину, для вычисления которой:

- вычисляют производную по горизонтальной координате. Для видеопрофиля, изображенного на рисунке 2, результат такого вычисления приведен на рисунке 3;



$x$  — ось абсцисс по 8.2.2;  $\alpha, \gamma$  — начальная и конечная точки положения зонда АСМ при сканировании поверяемого элемента, расположенные по 8.2.1;  $\frac{dI}{dx}$  — ось ординат по значению производной величины видеосигнала по координате  $x$ .

Рисунок 3 — Графическое изображение первой производной видеопрофиля по координате в направлении горизонтального перемещения подвижной части стола АСМ

- проводят анализ результатов вычисления производной видеопрофиля по координате и вычисляют вспомогательную величину  $B_{и}$ , пиксель, которая равна разности соответствующих абсцисс точек, как показано на рисунке 3.

#### 9.9 Вычисление ширины верхнего основания трапецеидального выступа

Ширину верхнего основания выступа  $b_{и}$ , нм, вычисляют по формуле

$$b_{и} = mB_{и},$$

где  $m$  — масштабный коэффициент видеоизображения для оси абсцисс, вычисленный по 9.3, нм/пиксель;

$B_{и}$  — вспомогательная величина, вычисленная по 9.8, пиксель.

**9.10 Вычисление ширины нижнего основания трапецеидального выступа**

Ширину нижнего основания трапецеидального выступа  $b_p$ , нм, вычисляют по формуле

$$b_p = b_n + 1,4142h,$$

где  $b_n$  — ширина верхнего основания поверяемого выступа, вычисленная по 9.9, нм;

$h$  — высота поверяемого выступа, вычисленная по 9.7, нм.

**9.11 Вычисление проекции наклонной стенки на плоскость нижнего основания выступа**

Проекцию наклонной стенки на плоскость нижнего основания выступа  $a$ , нм, вычисляют по формуле

$$a = 0,7071h,$$

где  $h$  — высота выступа, вычисленная по 9.7, нм.

**9.12 Погрешность измерений**

При соблюдении условий проведения измерений и использовании средств поверки с метрологическими характеристиками не хуже указанных в 4.1 абсолютные погрешности измерений значений линейных размеров поверяемого элемента рельефной меры приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 — Абсолютные погрешности измерений значений линейных размеров  $b_n$ ,  $b_p$ ,  $h$  и  $a$

Наименование и обозначение линейного размера поверяемого элемента рельефной меры	Абсолютная погрешность измерений, нм, не более
Ширина верхнего основания трапецеидального выступа, $b_n$	$\pm 0,8$
Ширина нижнего основания трапецеидального выступа, $b_p$	$\pm 1,4$
Высота трапецеидального выступа, $h$	$\pm 0,3$
Проекция наклонной стенки на плоскость нижнего основания выступа, $a$	$\pm 0,3$

9.10—9.12 (Измененная редакция, Изм. № 1).

**10 Оформление результатов поверки**

10.1 Результаты поверки оформляют в виде свидетельства установленной формы и внесением соответствующей записи в паспорт (формуляр) рельефной меры.

10.2 На лицевой стороне свидетельства о поверке наносят знак поверки (поверительное клеймо), а также указывают даты выдачи и окончания срока действия свидетельства. На оборотной стороне свидетельства о поверке и в паспорте (формуляре) рельефной меры должны быть приведены значения высоты выступа, ширины верхнего и нижнего его оснований, а также значение проекции наклонной стенки на плоскость нижнего основания выступа поверяемого элемента. Для перечисленных метрологических характеристик рельефной меры необходимо также указать абсолютные погрешности их измерений, приведенные в подразделе 9.12 настоящего стандарта.

10.1, 10.2 (Измененная редакция, Изм. № 1).

**Приложение А  
(справочное)**

**Вычисление показателя преломления воздуха**

**А.1 Исходные данные**

При вычислении показателя преломления воздуха  $n$  исходными данными являются следующие параметры окружающей среды:

- температура  $t$ , °С;
- атмосферное давление  $p$ , Па;
- относительная влажность  $\rho$ , %.

Параметры окружающей среды измеряют до начала и после окончания измерений, при этом разность показаний должна быть не более:

- температуры окружающей среды —  $\pm 1$  °С;
- атмосферного давления —  $\pm 300$  Па;
- относительной влажности воздуха —  $\pm 10$  %.

**А.2 Константы для вычисления показателя преломления воздуха**

При вычислениях используют константы, приведенные в таблице А.1.

Т а б л и ц а А.1 — Константы для вычисления показателя преломления воздуха

Обозначение константы	Числовое значение	Обозначение константы	Числовое значение
<i>A</i>	8342,54	<i>E</i>	0,601
<i>B</i>	2406147	<i>F</i>	0,00972
<i>C</i>	15998	<i>G</i>	0,003661
<i>D</i>	96095,43	—	—

**А.3 Вычисление вспомогательной величины S**

Вспомогательную величину  $S$  вычисляют по формуле

$$S = \frac{4 \cdot 10^5}{(\lambda_1 + \lambda_2)^2},$$

где  $\lambda_1, \lambda_2$  — значения длин волн излучения в вакууме гелий-неоновых лазеров по 9.2 и 9.5, нм, соответственно.

**А.4 Вычисление вспомогательной величины  $n_s$**

Вспомогательную величину  $n_s$  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 А.2;

$S$  — вспомогательная величина, вычисленная по А.3.

**А.5 Вычисление вспомогательной величины X**

Вспомогательную величину  $X$  вычисляют по формуле

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

где  $E, F, G$  — константы по А.2;

$t$  — температура окружающей среды, °С;

$p$  — атмосферное давление, Па.

**А.6 Вычисление вспомогательной величины  $n_1$**

Вспомогательную величину  $n_1$  вычисляют по формуле

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

где  $p$  — атмосферное давление, Па;

$n_s$  — вспомогательная величина, вычисленная по А.4;

$X$  — вспомогательная величина, вычисленная по А.5;

$D$  — константа по А.2.

**А.7 Вычисление парциального давления паров воды**

Парциальное давление паров воды  $p_w$ , Па, вычисляют по формуле

$$p_w = \frac{p}{100} p_{sw}(t),$$

где  $p$  — относительная влажность воздуха, %;

$p_{sw}(t)$  — давление насыщенного водяного пара при температуре окружающей среды  $t$ , вычисленное по А.8 — А.14, Па.

**А.8 Константы для вычисления давления насыщенного водяного пара**

Для вычисления давления насыщенного водяного пара при температуре окружающей среды  $t$ , °С, используют константы, приведенные в таблице А.2.

Т а б л и ц а А.2 — Константы для вычисления давления насыщенного водяного пара

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

**А.9 Вычисление вспомогательной величины  $\Omega$** 

Вспомогательную величину  $\Omega$  вычисляют по формуле

$$\Omega = t + 273,15 + \frac{K_9}{t + 273,15 - K_{10}},$$

где  $t$  — температура окружающей среды, °С;

$K_9, K_{10}$  — константы по А.8.

**А.10 Вычисление вспомогательной величины  $M$** 

Вспомогательную величину  $M$  вычисляют по формуле

$$M = \Omega^2 + K_1 \Omega + K_2,$$

где  $\Omega$  — вспомогательная величина, вычисленная по А.9;

$K_1, K_2$  — константы по А.8.

**А.11 Вычисление вспомогательной величины  $N$** 

Вспомогательную величину  $N$  вычисляют по формуле

$$N = K_3 \Omega^2 + K_4 \Omega + K_5,$$

где  $K_3, K_4, K_5$  — константы по А.8;

$\Omega$  — вспомогательная величина, вычисленная по А.9.

**А.12 Вычисление вспомогательной величины  $R$** 

Вспомогательную величину  $R$  вычисляют по формуле

$$R = K_6 \Omega^2 + K_7 \Omega + K_8,$$

где  $K_6, K_7, K_8$  — константы по А.8;

$\Omega$  — вспомогательная величина, вычисленная по А.9.

**А.13 Вычисление вспомогательной величины  $W$** 

Вспомогательную величину  $W$  вычисляют по формуле

$$W = -N + \sqrt{N^2 - 4MR},$$

где  $N$  — вспомогательная величина, вычисленная по А.11;

$M$  — вспомогательная величина, вычисленная по А.10;

$R$  — вспомогательная величина, вычисленная по А.12.

**А.14 Вычисление давления насыщенного водяного пара**

Давление насыщенного водяного пара  $p_{sw}(t)$ , Па, вычисляют по формуле

$$p_{sw}(t) = 10^6 \left( \frac{2R}{W} \right)^4,$$

где  $R$  — вспомогательная величина, вычисленная по А.12;

$W$  — вспомогательная величина, вычисленная по А.13.

**А.15 Вычисление показателя преломления воздуха**

Показатель преломления воздуха  $n$  вычисляют по формуле

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

где  $n_1$  — вспомогательная величина, вычисленная по А.6;

$S$  — вспомогательная величина, вычисленная по А.3;

$p_w$  — парциальное давление паров воды, вычисленное по А.7, Па;

$t$  — температура окружающей среды, °С.

**(Измененная редакция, Изм. № 1).**

**Библиография**

- |   |  |
|---|--|
| [1] РМГ 29—99   | Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения |
| [2] <b>(Исключен, Изм. № 1).</b>  |  |
| [3] Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (утверждены приказом Минэнерго России от 13.01.2003 г. № 6; зарегистрированы Минюстом России 22.01.2003 г., рег. № 4145) |  |
| [4] ПОТ РМ-016—2001<br>РД 153.34.0-03.150—00  | Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок     |
| [5] Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.1191—03   | Электромагнитные поля в производственных условиях  |
| [6] Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340—03   | Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы     |
| [7] <b>(Исключен, Изм. № 1).</b>  |  |

Ключевые слова: рельефные меры нанометрового диапазона, с трапецеидальным профилем элементов, сканирующий зондовый атомно-силовой микроскоп, лазерный интерферометр, методика поверки

---

Редактор *М.И. Максимова*  
Технический редактор *В.Н. Прусакова*  
Корректор *Е.Д. Дульнева*  
Компьютерная верстка *В.И. Грищенко*

Сдано в набор 31.01.2011. Подписано в печать 08.02.2011. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,45. Тираж 81 экз. Зак. 83.

---

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.  
[www.gostinfo.ru](http://www.gostinfo.ru) [info@gostinfo.ru](mailto:info@gostinfo.ru)  
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ  
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6