

ФГУП «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ»  
ФГУП «ВНИИМС»



УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ГИСИ ФГУП «ВНИИМС»

В. Н. Яншин

«07» октября 2008

**Микроскопы сканирующие зондовые**  
**СмартСПМ - 1000**

**Методика поверки**

и.р. 39221-08

г. Москва,  
2008

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

|          |                                                  |           |
|----------|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ.....</b>                     | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>СРЕДСТВА ПОВЕРКИ.....</b>                     | <b>3</b>  |
| <b>3</b> | <b>ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЯ.....</b> | <b>4</b>  |
| <b>4</b> | <b>ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....</b>              | <b>4</b>  |
| <b>5</b> | <b>УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ И ПОДГОТОВКА К НЕЙ .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>6</b> | <b>ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ .....</b>                  | <b>4</b>  |
| <b>7</b> | <b>ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ .....</b>      | <b>10</b> |

Настоящая методика поверки распространяется на микроскопы сканирующие зондовые СмартСПМ - 1000, в дальнейшем микроскопы, и устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок.

Периодичность поверки - один раз в 2 года.

## 1 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 1.

Операции поверки проводятся аккредитованными метрологическими службами.

В случае отрицательного результата при проведении одной из операций поверку микроскопа сканирующего зондового прекращают, а микроскоп сканирующий зондовый признают не прошедшим поверку.

Таблица 1.

| №  | Наименование                                                                              | Номер пунктов методических указаний по поверке | Проведение операций при: |                       |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
|    |                                                                                           |                                                | Первичной поверке        | Периодической поверке |
| 1. | Внешний осмотр                                                                            | 6.1                                            | Да                       | Да                    |
| 2. | Опробование                                                                               | 6.2                                            | Да                       | Да                    |
| 3. | Определение основной относительной погрешности измерений линейных размеров по осям X и Y. | 6.3                                            | Да                       | Да                    |
| 4. | Определение максимального диапазона измерений по осям X, Y.                               | 6.4                                            | Да                       | Да                    |
| 5. | Определение основной относительной погрешности измерений линейных размеров по оси Z.      | 6.5                                            | Да                       | Да                    |
| 6. | Определение максимального диапазона измерений по оси Z.                                   | 6.6                                            | Да                       | Да                    |

## 2 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

При проведении поверки используют средства, указанные в таблице 2.

Таблица 2.

|                                                                                                                                                        |                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Определение основной относительной погрешности измерений линейных размеров по осям X и Y<br>Определение максимального диапазона измерений по осям X, Y | Эталонная мера шероховатости с периодическим профилем с шагом малой длины по ГОСТ 8.296-78 1000 - 3600 штрихов на мм. |
| Определение основной относительной погрешности измерений линейных размеров по оси Z                                                                    | Эталонная мера шероховатости с прямоугольным профилем с высотой 500 nm по ГОСТ 8.296-78.                              |
| Определение максимального диапазона измерений по оси Z                                                                                                 | Плоская пластина, закрепленная на подложке под углом $8 \div 15^\circ$ .                                              |

Допускается применять другие средства, вновь разработанные или находящиеся в обращении, аналогичные по точности, прошедшие поверку в органах государственной метрологической службы.

### **3 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЯ**

К проведению поверки и обработке результатов измерений допускаются лица, имеющие квалификацию государственного или ведомственного поверителя, изучившие устройство и принцип работы аппаратуры по эксплуатационной документации.

### **4 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

При проведении поверки должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.3.019-80.

Освещенность рабочего места поверителя должна соответствовать требованиям санитарных правил СП 2.2.1.1312-03.

При проведении поверки необходимо ознакомиться с руководством по эксплуатации микроскопа.

### **5 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ И ПОДГОТОВКА К НЕЙ**

При проведении поверки должны быть соблюдены нормальные условия по ГОСТ 8.395-80, температура окружающего воздуха  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Микроскоп, представленный на поверку, должен быть снабжен руководством по эксплуатации.

Поверяемый микроскоп и средства поверки следует подготовить к работе в соответствии с технической документацией на них, а также выдержать средства поверки иверяемый прибор в помещении, где проводят поверку, не менее 12 часов при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ;

### **6 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ**

#### **6.1. Внешний осмотр.**

При внешнем осмотре должно быть установлено:

- соответствие комплектности поверяемого микроскопа технической документации, утвержденной в установленном порядке;
- отсутствие на микроскопе, преобразователях и соединительных кабелях механических повреждений, влияющих на работоспособность.

#### **6.2. Опробование.**

При опробовании микроскопа требуется выполнить все операции по подготовке прибора к работе согласно руководству по эксплуатации.

### 6.3. Определение основной относительной погрешности измерений линейных размеров по осям X и Y.

#### Определение основной относительной погрешности измерений линейных размеров по оси X.

Для определения основной относительной погрешности необходимо получить зависимость  $X_{\text{изм.}}(X)$  для полного диапазона перемещения сканера вдоль X. Из этой зависимости определяются погрешности измерений линейных размеров вдоль оси X для разных диапазонов измерений.

Решетка ориентируется штрихами параллельно оси Y. Максимальный допустимый угол между штрихами решетки и осью Y равен  $5^\circ$ . Осуществляется подвод зонда к решетке в "полуконтактной" моде. Амплитуда колебаний кантилевера должна быть не менее 100 нм. Прибор переводится в режим работы с обратной связью по сигналам X, Y - датчиков.

Если профиль решетки вдоль оси X содержит дефекты - "грязь", поврежденные участки решетки, необходимо сместиться по оси Y, чтобы получить неискаженный профиль.

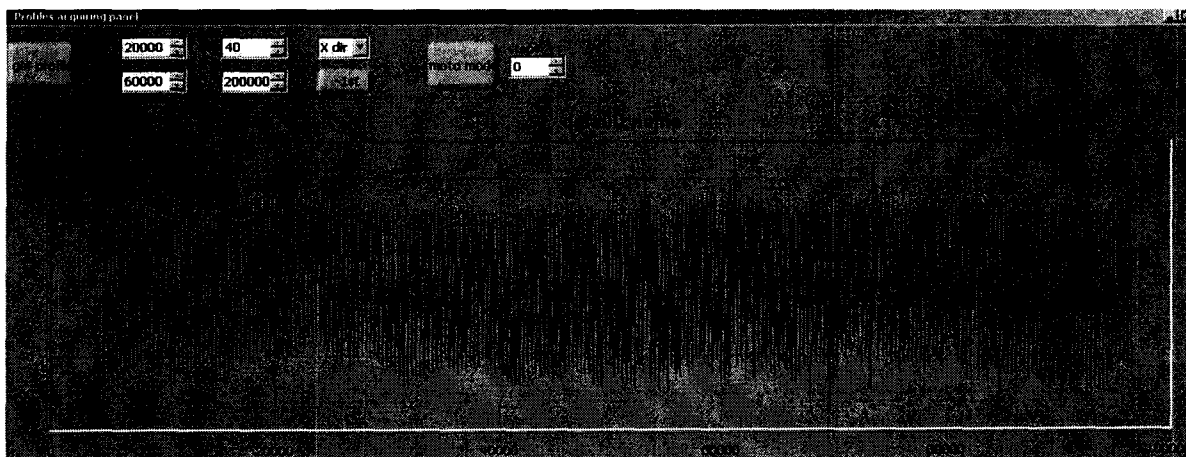


Рис.1. Профиль сканируемой решетки.

Выполняется измерение профиля решетки при "прямом" и "обратном" ходе вдоль оси X. Для этого используется окно программы, изображенное на Рис. 1 ("Profiles acquiring panel"). Число точек в строке - 20000, время измерения - 40 сек.; профиль измеряется на полном диапазоне по оси X, что устанавливается заданием соотв. границ изменения рабочей точки для цепи обратной связи по сигналу X-датчика (60000...200000).

На полученном профиле (сечении) не должно быть пропущенных пиков (периодов) решетки из-за дефектов поверхности или наличия загрязнений.

Зависимость  $X_{\text{изм.}}(X)$  строится по пикам решетки. Предварительно следует при помощи средств программного обеспечения усреднить (сгладить) профиль, чтобы устранить лишние пики.

На Рис.2 слева показаны зависимости  $X_{изм.}(X)$  "прямого" и "обратного" хода. Для наглядности на картинке справа из этих кривых вычтен наклон. Кривые сглаживаются, чтобы устранить влияние непостоянства периода решетки.

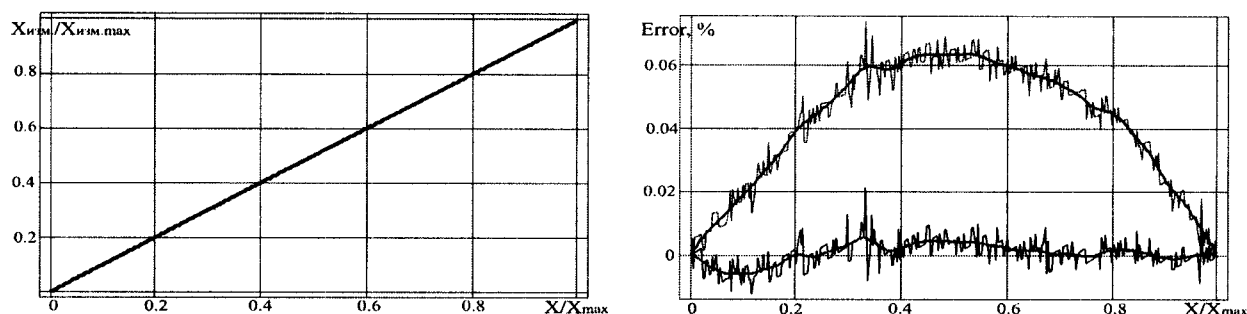


Рис.2. Зависимости  $X_{изм.}(X)$  (значения, нормированные на максимальные) для "прямого" и "обратного" хода сканера вдоль оси X.

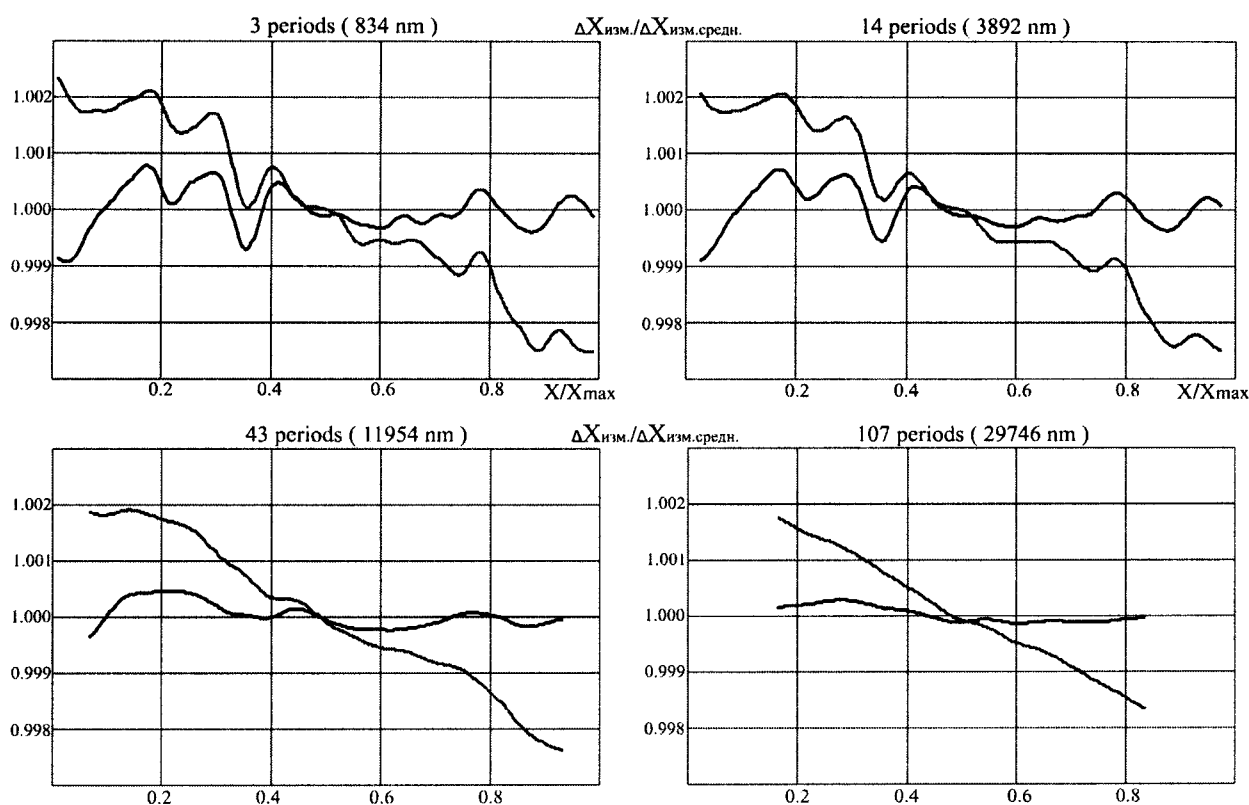


Рис. 3. Погрешности определения линейных размеров по оси X в зависимости от положения середины измеряемого отрезка вдоль этой оси ("прямой" и "обратный" ход сканера).

Из полученных данных строятся зависимости  $\Delta X_{изм.}/\Delta X_{изм.средн.}$  от X для разных значений  $\Delta X$  (Рис. 3). Величина погрешности измерений есть максимальное отклонение этих кривых от среднего значения.

**Определение основной относительной погрешности измерений линейных размеров по оси Y** производится аналогично измерениям вдоль оси X. Решетка ориентируется штрихами параллельно оси X.

Величина основной относительной погрешности измерений линейных размеров по осям X и Y не должна превосходить максимально допустимой величины, указанной в технической документации к прибору. Если она превосходит это значение, то прибор признается не прошедшим поверку.

#### **6.4. Определение диапазона измерений по осям X и Y.**

Диапазон измерений определяется по количеству периодов решетки на рис. 1. Он равен произведению величины периода решетки  $d$  на их количество  $N$ :  $X_{\max} = d \cdot N$ . Диапазон измерений по оси Y определяется аналогично, для этого решетку ориентируют штрихами вдоль оси X.

Значение диапазона по осям X и Y должно быть не менее, указанного в технической документации к прибору. В противном случае прибор признается не прошедшим поверку.

#### **6.5. Определение основной относительной погрешности измерений линейных размеров по оси Z.**

Методика основана на измерении высоты ступеньки решетки TGZ03 при различных значениях Z.

Решетка TGZ03 ориентируется вдоль оси Y. Осуществляется подвод зонда к решетке в "полуконтактной" моде. Амплитуда колебаний кантилевера должна быть не менее 300 нм. Прибор переводится в режим работы с обратной связью по сигналам X, Y - датчиков. Выбирается область сканирования размером от 10 до 15 мкм вдоль оси X (3 - 4 периода решетки). На каждом шаге (при каждом новом положении сканера по Z) понадобится отсканировать от 3 до 10 строк вдоль оси X. На Рис. 4 изображен профиль решетки, полученный при измерении. Горизонтальные участки решетки на выбранном участке не должны содержать видимых на сечении дефектов поверхности (только шум с амплитудой примерно 1 nm или меньше).

Из окна программы на Рис.1 можно менять положение сканера по Z, управляя шаговым двигателем подвода зонда к образцу. Для этого нажимается кнопка "moto mode" и используется поле ввода шагов "steps". Перемещения двигателем осуществляются по одному шагу, положения сканера контролируется по сигналу "SenZ" в программном осциллографе. Крайние значения диапазона сканера по Z соответствуют примерно 50000 и 210000 сигнала "SenZ".

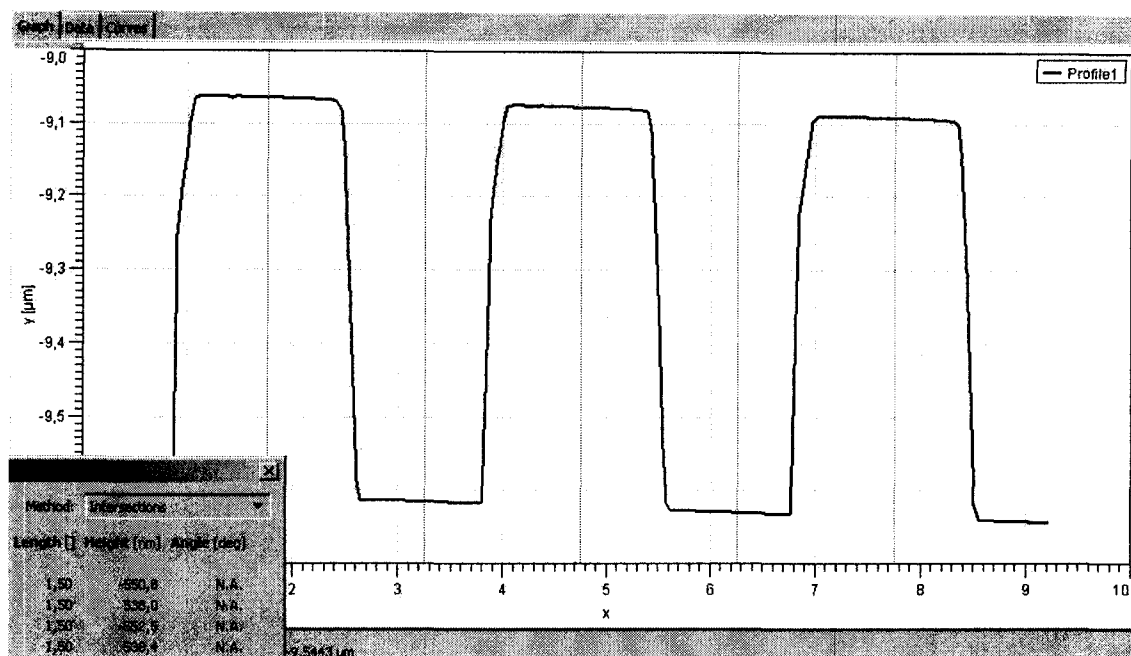


Рис. 4.

Строится зависимость высоты ступеньки решетки  $\Delta Z (Z)$ . В качестве  $\Delta Z$  используется среднее значение по нескольким ступенькам на выбранной области сканирования (Рис. 4). Если на изображении профиля имеется наклон, его следует устранить вычитанием. Также можно ставить маркеры точек измерения, как на Рис. 4 (на равных расстояниях по оси X; четное число последовательных интервалов).

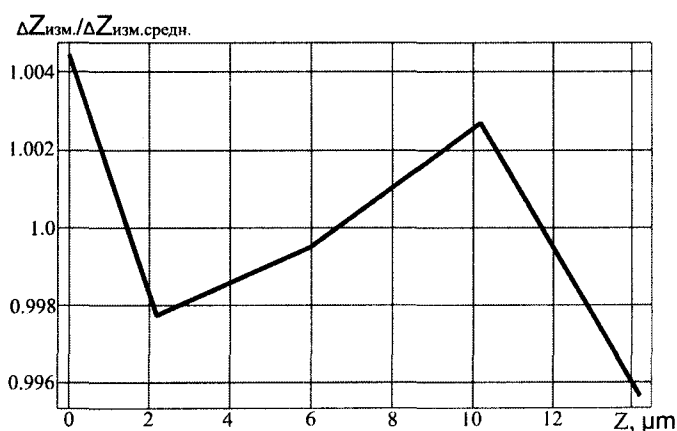


Рис. 5.

Строится график зависимости  $\Delta Z (Z)$  (Рис. 5). Величина погрешности измерений есть максимальное отклонение этих кривых от среднего значения. Уточняется калибровочный коэффициент сканера по оси Z. Он должен быть таким, чтобы среднее значение высоты решетки, полученное в предыдущих измерениях, равнялось ее фактической высоте. Калибровочный коэффициент "Z SEN Calibr" находится в меню "Param tables" программы управле-



ния прибором, Рис. 6. Для того, чтобы определить правильное значение этого коэффициента, надо его "старое" значение умножить на фактическую высоту ступеньки решетки и разделить на полученное при измерениях среднее значение этой высоты.

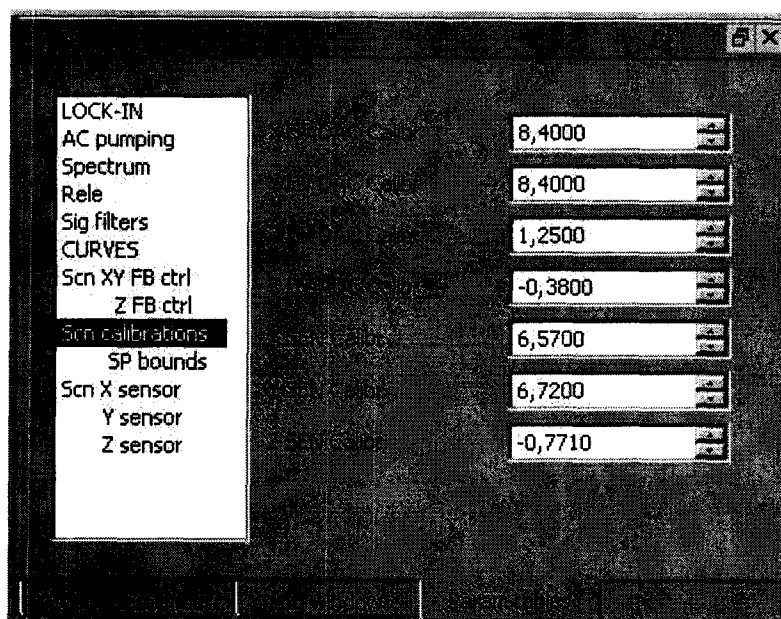


Рис. 6.

Определенное значение основной относительной погрешности измерений геометрических размеров по оси Z не должно превосходить указанного в технической документации максимально допустимого значения. В противном случае прибор признается не прошедшим поверку.

#### 6.6. Определение диапазона измерений по оси Z.

Определение диапазона измерений по оси Z выполняется на плоском образце, расположенном на специальном наклонном держателе (угол наклона к горизонтали 8-15°). В качестве образца можно использовать кусок кремниевой пластины. Держатель устанавливается так, чтобы максимальный наклон был в плоскости YZ сканера. Измерения можно проводить из окна программы, изображенного на Рис. 1, 7 ("Profiles acquiring panel"). Диапазон перемещения сканера по оси Y - близкий к максимальному, т.е. сигнал Y-датчика при движении сканера должен меняться на 120000 - 140000; нижнюю границу сигнала можно опускать до 45000, верхнюю - поднимать до 215000 ("Profiles acquiring panel", поля ввода "from" и "to").

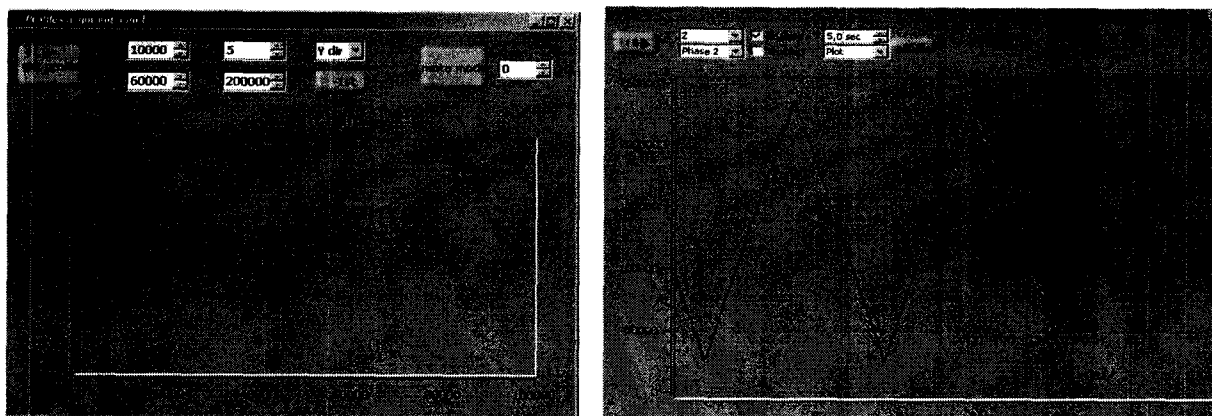


Рис. 7.

Контроль передвижения сканера по Z производится в программном осциллографе, где измеряется напряжение, подаваемое на Z-стек сканера (сигнал "Z"), Рис. 7, справа. Допустимые пределы изменения напряжения соответствуют изменению сигнала "Z" от 30000 до 230000. Если сигнал выходит за один или оба этих предела, следует менять соответствующую границу (границы) перемещения сканера по оси Y. В данном испытании нет необходимости проверять весь реальный диапазон сканера по оси Z, достаточно убедиться, что он не меньше заявленного.

На Рис. 7 слева показан полученный профиль поверхности наклоненного образца. Благодаря тому, что прибор был предварительно откалиброван (см. предыдущий пункт), и высокой линейности по Z, значение перемещения сканера, установленное на этом шаге, с высокой точностью (доли процента) совпадает с реальным значением.

Определенное значение диапазона должно быть не менее, указанного в технической документации. В противном случае прибор признается не прошедшим поверку.

## 7 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

7.1. Результаты поверки заносят в протокол, форма которого дана в приложении 1.

7.2. При положительных результатах поверки выдается свидетельство установленной формы с указанием фактических результатов определения погрешностей прибора, с указанием даты и имени поверителя. Действующее свидетельство подтверждается клеймом.

7.3. При отрицательных результатах поверки клеймо погашается, выдается извещение о временной непригодности прибора с указанием причин.

7.4. Периодичность поверки устанавливается один раз в два года. Поверка также необходима после проведения каждого ремонта.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

# ПРОТОКОЛ

## поверки микроскопа сканирующего зондового СмартСПМ - 1000

Тип **Микроскоп сканирующий зондовый СмартСПМ - 1000** произв. №

Предприятие-изготовитель \_\_\_\_\_

Прибор принадлежит \_\_\_\_\_

производилась приборами и эталонными средствами: \_\_\_\_\_

Поверку производил \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

### Результаты поверки:

## 1. Внешний осмотр

### 1.1. Результаты осмотра

## 1.2. Заключение о пригодности к дальнейшей поверке

## 2. Опробование

## 2.1. Результаты опробования

## 2.2. Заключение о пригодности к дальнейшей поверке

### 3. Результаты проверки:

| Поверяемые параметры | Допускаемые значения | Действительные значения | Вывод |
|----------------------|----------------------|-------------------------|-------|
|                      |                      |                         |       |

Заключение о пригодности к эксплуатации

Подпись поверителя \_\_\_\_\_

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Перечень ссылочных документов

| Обозначение      | Наименование                                                                                                                                                          |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ГОСТ 8.296-78    | ГСИ. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений параметров шероховатости $R_{\max}$ и $R_z$ в диапазоне 0,025...1600 мкм |
| ГОСТ 8.395-80    | ГСИ. Нормальные условия измерения при поверке. Общие требования                                                                                                       |
| ГОСТ 12.3.019-80 | Система стандартов безопасности труда. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности                                                             |
| СП 2.2.1.1312-03 | Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий                                                                |