

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель

ФГУП «ВНИИМС»

В.Н. Яншин

2015 г.

Изменение № 1

к «Микроскопы сканирующие зондовые семейства Solver и Ntegra.
Методика поверки»

г. Москва
2015

В действующую методику поверки внести пункт 5.2.2а

Микроскоп считаются выдержавшим проверку, если программное обеспечение идентифицируется путем вывода номера версии программного обеспечения по запросу пользователя через меню программ и полученные идентификационные данные ПО СИ (номера версий (идентификационные номера) и цифровые идентификаторы) соответствуют идентификационным данным, приведенным в таблице 2 Описания типа.

Ведущий инженер

лаборатории 009 ФГУП «ВНИИМС»



О.Н. Мелкова

СОГЛАСОВАНО

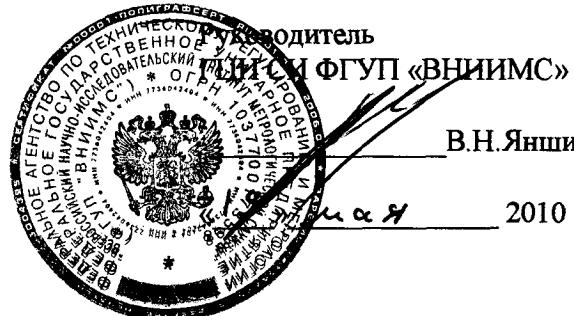
Генеральный директор
ЗАО «НТ-МДТ»

В.А.Быков



2010 г

УТВЕРЖДАЮ



В.Н.Яншин

2010 г

**МИКРОСКОПЫ СКАНИРУЮЩИЕ ЗОНДОВЫЕ
СЕМЕЙСТВ SOLVER и NTEGRA**

Методика поверки

л.п 28664-10,
28666-10

28664-

28666-

Разработчик: ЗАО «НТ-МДТ»,
к.т.н. В.В. Лосев

Количество страниц: 18

28664-

28666-

Настоящая методика поверки распространяется на микроскопы сканирующие зондовые (далее – микроскопы) семейства SOLVER и NTEGRAL производства ЗАО «Нанотехнология МДТ», применяемые для измерений линейных размеров в диапазоне от 10^{-9} до 2×10^{-4} м, и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверок. Перечень поверяемых моделей микроскопов указан в Приложении 1. Значения метрологических характеристик поверяемых микроскопов должны соответствовать Приложению 2.

Межповерочный интервал – один год.

1. ОПЕРАЦИИ И СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

1.1. Основным средством поверки микроскопа являются меры, метрологические характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Мера	Метрологические характеристики
1.	Мера периода и высоты линейная TGQ1	Период шаговой структуры: $(3,00 \pm 0,01)$ мкм Высота профиля меры: $(0,020 \pm 0,002)$ мкм
2.	Мера периода и высоты линейная TGZ3	Период шаговой структуры: $(3,00 \pm 0,01)$ мкм Высота профиля меры: $(0,520 \pm 0,020)$ мкм
3.	Мера периода линейно-угловая TGG1	Период шаговой структуры: $(3,00 \pm 0,01)$ мкм Угол при вершине: $(50,0 \pm 5,0)^\circ$

1.2. При проведении поверки микроскопа, выполняют следующие операции и применяют средства поверки, указанные в таблице 2.

Таблица 2

№ п/п	Наименование операции	Номер пункта методики	Наименование и тип средств поверки*
1.	Внешний осмотр.	5.1	Микроскоп должен соответствовать требованиям технических условий и комплекта конструкторской документации.
2.	Опробование	5.2	Мера периода и высоты линейная TGQ1
3.	Определение диапазона измерений линейных размеров в плоскости XY**	5.3	Мера периода и высоты линейная TGQ1
4.	Определение диапазона измерений линейных размеров по оси Z	5.4	Мера периода и высоты линейная TGZ3
5.	Определение угла между осями сканирования X и Y	5.5	Мера периода и высоты линейная TGQ1
6.	Определение угла между осью Z и нормалью к плоскости XY	5.6	Мера периода линейно-угловая TGG1
7.	Определение нелинейности сканирования в плоскости XY**	5.7	Мера периода и высоты линейная TGZ3
8.	Определение неплоскости сканирования по XY	5.8	Мера периода и высоты линейная TGQ1
9.	Расчет погрешности измерений линейных и угловых размеров	5.9	Мера периода и высоты линейная TGQ1

* В качестве средства поверки допускается применять меры изготовленные по ГОСТ Р 8.628 и поверенные по ГОСТ Р 8.629.

** Для сканеров с диапазоном измерения линейных размеров в плоскости XY до 10 мкм требуется применять в качестве средства поверки меру периода линейную TDG01, при этом не выполняют пункты 5.5 и 5.6 настоящей методики.

1.3. В процессе поверки используется следующее вспомогательное оборудование:

— пинцет 1РК-101Т прямой, немагнитный длина 110 мм (*предназначен для установки кантилевера*);

— фиксатор подложки, изготовленный из магнитного материала, входящий в комплект поставки микроскопа (*предназначен для установки подложек из поликристаллического сапфира*);

— подложки из поликристаллического сапфира, входящие в комплект поставки микроскопа (*предназначен для фиксации на них образца (меры) при помощи клея или двусторонней kleящей ленты*). Размеры подложек составляют 24×19×0.5 мм;

— металлические подложки, изготовленные из магнитного материала, входящие в комплект поставки микроскопа. Диаметральный размер – (12.0 ± 0.2) мм (*Применяются для поверки зондовых микроскопов семейства NTEGRA или SOLVER, в состав которых входят сканеры с магнитной фиксацией образца*).

— зондовый датчик (кантилевер).

2. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

2.1. При проведении поверки соблюдают требования ГОСТ 12.3.019 "Правила эксплуатации электроустановок потребителем", "Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителем".

2.2. При поверке зондовых микроскопов необходимо соблюдать правила электробезопасности и требования по обеспечению безопасности на рабочих местах по ГОСТ 12.2.061.

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

2.4. Рабочее помещение должно быть оборудовано контуром защитного заземления и однофазной электрической сетью с заземлением.

2.5. При проведении поверки соблюдают требования безопасности, указанные в руководстве по эксплуатации.

2.6. Перед проведением коммутации электрических разъемов зондового микроскопа, необходимо выключить тумблер на передней панели контроллера зондового микроскопа.

Коммутация электрических разъемов во время работы микроскопа может привести к повреждению электронной схемы.

2.7. Проведение поверки должно соответствовать общим требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.007.0, требованиям безопасности к производственным процессам и оборудованию по ГОСТ 12.3.002 и СН № 1042, общим требованиям к рабочим местам по ГОСТ 12.2.061.

2.8. В составе микроскопа имеется полупроводниковый лазер. В процессе поверки должны соблюдаться «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров» (УТВ. МИНЗДРАВОМ СССР 31.07.1991 N 5804-91).

3. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ И ПОДГОТОВКА К НЕЙ

3.1. Микроскоп предъявляют на поверку со свидетельством о предыдущей поверке и технической документацией.

3.2. Помещение (зона), в котором размещают зондовый микроскоп и средства его поверки, должно быть в эксплуатируемом состоянии и обеспечивать класс чистоты не более класса 8 ИСО по взвешенным в воздухе частицам с размерами 0,5 и 5 мкм и концентрациями, определенными по ГОСТ ИСО 14644-1.

3.3. При проведении поверки микроскопа соблюдают следующие условия:

- температура окружающего воздуха.....(20 ± 3) °C;
- относительная влажность воздуха.....не более 80 %;
- атмосферное давление(100 ± 4) кПа;
- напряжение питающей сети.....(220 ± 22) В;
- частота питающей сети.....(50,0 ± 0,4) Гц.

3.4. Перед проведением поверки выполняют следующие подготовительные работы:

3.4.1. Средства поверки подготавливают к работе в соответствие с их эксплуатационной документацией. Запрещается применять контрольно-измерительные приборы и оборудование, срок обязательных поверок которых истек.

3.4.2. Микроскоп, представленный к поверке, подготавливают к работе согласно требованиям его руководства по эксплуатации (РЭ) и программного обеспечения (ПО). Регламентированные в РЭ операции по техническому обслуживанию и настройке зондового микроскопа должны быть изучены и выполнены поверяющим лицом до начала поверки.

3.4.3. Проводят процедуру согласования параметров ПО и системы сканирования микроскопа с учетом того, что в системе сканирования установлены емкостные датчики, которые контролируют перемещение пьезокерамического сканера по трем координатам X, Y и Z. Информация о коэффициентах коррекции нелинейности, масштабных коэффициентах сканера (Xr , Yr и Zr), параметрах микродвигателя подвода и параметрах настройки емкостных датчиков для каждого сканера хранится в оригинальном файле параметров (файл с расширением *.par).

Файл параметров находится в папке PARFiles программного обеспечения. Перед проведением поверки, необходимо загрузить соответствующий поверяемому микроскопу файл параметров.

4. ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЕЙ

Проверку микроскопов должны проводить штатные сотрудники метрологической службы предприятия, аккредитованной в установленном порядке на право поверки средств измерений. Сотрудники должны иметь высшее образование, профессиональную подготовку, опыт работы со микроскопами сканирующими зондовыми и знать требования настоящей методики поверки и требования руководства по эксплуатации поверяемого микроскопа.

5. ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

5.1. Внешний осмотр

При внешнем осмотре устанавливают:

- соответствие комплекта поставки микроскопа данным (без запасных частей и инструмента), приведенным в руководстве по эксплуатации;
- отсутствие повреждений и дефектов, влияющих на работоспособность и метрологические характеристики средства измерений;
- отсутствие механических повреждений всех составных частей микроскопа;
- отсутствие механических повреждений соединительных кабелей и сетевых разъемов;
- наличие на поверяемых модулях зондового микроскопа заводских номеров, товарного знака фирмы изготовителя, обозначений органов регулировки и коммутации.

5.2. Опробование

5.2.1. Проводят электрическую коммутацию модулей поверяемого зондового микроскопа в соответствии с РЭ, подключают микроскоп к питающей сети и включают тумблер питания контроллера микроскопа.

5.2.2. Запускают управляющую программу согласно РЭ.

5.2.3. Устанавливают кантителевер в держатель измерительной головки (ИГ) согласно требованиям РЭ.

5.2.4. Проводят настройку системы слежения согласно требованиям РЭ.

5.2.5. Выбирают меру периода и высоты линейную (TGQ1) и фиксируют ее на подложке при помощи двусторонней kleящей ленты. Подложку с мерой устанавливают в фиксатор подложки микроскопа согласно РЭ. Меру устанавливают с погрешностью ориентации не более 5° относительно осей сканирования.

5.2.6. ИГ устанавливают в рабочее положение согласно РЭ таким образом, чтобы кантителевер находился над центральной областью меры. При установке необходимо

отрегулировать винтовые опоры ИГ таким образом, чтобы визуально нижняя плоскость головки была параллельна плоскости меры.

5.2.7. Выбирают контактную или прерывисто-контактную методику проведения измерений согласно РЭ. Коэффициент усиления обратной связи (FB Gain) должен быть в пределах 0,5-1,0.

5.2.8. Загружают файл параметров сканирования в ПО в соответствии с РЭ.

5.2.9. Проводят автоматическую настройку емкостных датчиков сканера в соответствии с РЭ и замыкают цепь обратной связи емкостных датчиков по XY путем нажатия кнопки в ПО (если сканер не содержит емкостных датчиков, то данный пункт не выполняют).

5.2.10. Осуществляют автоматический подвод зонда к поверхности меры согласно РЭ.

5.2.11. В опции устанавливают размер изображения (Scan Size) и значение выборки - число точек (Point Number) по осям X и Y таким образом, чтобы можно было пренебречь погрешностью дискретизации изображения. Для этого на один период меры должно приходиться не менее 200 точек, что соответствует диапазону сканирования 15 мкм при количестве точек 1024. В качестве регистрируемого сигнала выбирают SensHeight (устанавливается в диалоговом окне Scan Setup, вызываемом кнопкой).

5.2.12. Запускают сканирование в методе измерения топографии (быстрое направление сканирования - X) и получают изображение профиля меры. Изображение сохраняют.

5.2.13. Запускают сканирование в методе измерения топографии (быстрое направление сканирования - Y) и получают изображение профиля меры. Изображение сохраняют.

5.2.14. С помощью средств ПО (модуль Image Analysis) измеряют период структуры и высоту профиля. Измеренные значения периода (по X и Y) должны находиться в пределах допуска ± 30 нм с фактическим значением периода меры, который указан в ее свидетельстве о поверке. Измеренные значения высоты профиля меры должны находиться в пределах допуска ± 6 нм.

Примечание: Если результаты измерения периода и высоты профиля меры отличаются от фактических значений этих параметров, то проводят определение масштабных коэффициентов сканера по всем координатам в соответствии с Приложением 3.

5.3. Определение диапазона измерений линейных размеров в плоскости XY

Определение диапазона измерения линейных размеров в плоскости XY проводят в следующей последовательности.

5.3.1. Выполняют подпункты 5.2.1 – 5.2.10 пункта 5.2.

5.3.2. В опции устанавливают следующие параметры:

Частота сканирования строк (параметр Frequency)	0,5 Гц
Число точек по осям X и Y (Point Number)	не менее 1024
Размер изображения (параметр Scan Size)	максимальный
Направление быстрого сканирования	X

5.3.3. Запускают сканирование в методе измерения топографии и получают изображение профиля меры. Изображение сохраняют.

5.3.4. С помощью средств ПО (модуль Image Analysis) измеряют расстояние от первой точки скана до последней точки по линии, совпадающей с направлением быстрого сканирования.

5.3.5. Аналогично определяют диапазон измерения линейных размеров по оси Y (*при этом устанавливают направление быстрого сканирования – Y*).

Результаты поверки считаются положительными, если диапазон измерения линейных размеров по осям X и Y не менее величины, указанной в Приложении 2.

5.4 Определение диапазона измерения линейных размеров по оси Z

Для определения диапазона измерений линейных размеров по оси Z используют меру TGZ3. Определение диапазона сканирования по оси Z проводят в следующей последовательности.

5.4.1. Выполняют подпункты 5.2.1 – 5.2.4 пункта 5.2.

5.4.2. Выбирают меру периода и высоты линейную (TGZ3) и фиксируют ее на подложке при помощи двусторонней клеящей ленты. Подложку с мерой устанавливают в фиксатор подложки микроскопа согласно РЭ. Меру устанавливают с погрешностью ориентации не более 5° относительно осей сканирования так, чтобы структуры рельефа меры были расположены перпендикулярно направлению быстрого сканирования.

5.4.3. ИГ устанавливают в рабочее положение согласно РЭ таким образом, чтобы кантilever находился над центральной областью меры. При установке необходимо отрегулировать винтовые опоры ИГ таким образом, чтобы визуально нижняя плоскость головки была параллельна плоскости меры.

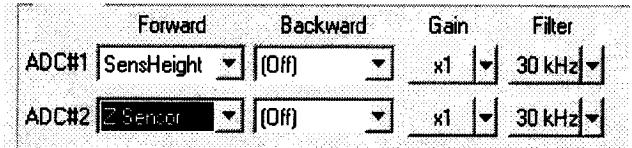
5.4.4. Выбирают контактную или прерывисто-контактную методику проведения измерений согласно РЭ. Коэффициент усиления обратной связи (FB Gain) должен быть в пределах 0,5-1,0.

5.4.5. Осуществляют автоматический подвод зонда к поверхности меры согласно РЭ.

5.4.6. В опции  устанавливают размер изображения (Scan Size) и значение выборки - число точек (Point Number) по осям X и Y таким образом, чтобы можно было пренебречь погрешностью дискретизации изображения. Для этого на один период меры должно приходиться не менее 200 точек, что соответствует диапазону сканирования 15 мкм при количестве точек 1024. Устанавливают следующие параметры:

Частота сканирования строк (параметр Frequency)	0,5 Гц
Число точек по осям X и Y (Point Number)	не менее 1024
Размер изображения (параметр Scan Size)	15 мкм
Направление быстрого сканирования	X

Регистрируемый сигнал1 (метод получения топографии)	SensHeight
Регистрируемый сигнал2 (изменение напряжения Z-датчика)	Z Sensor

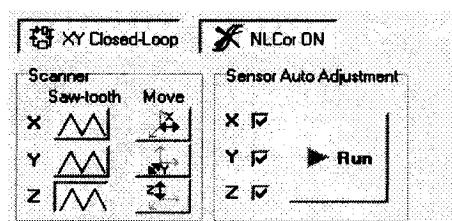


5.4.7. Запускают сканирование и получают 2 изображения. Изображения сохраняют.

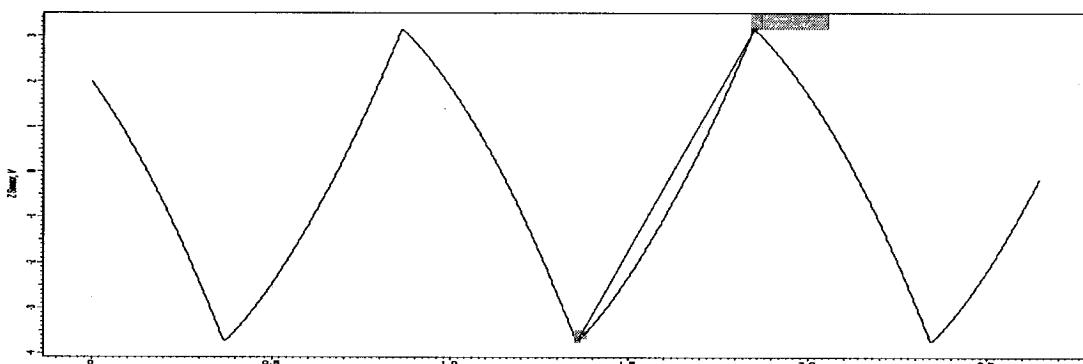
5.4.8. Проводят обработку результатов сканирования сигналов «Z Sensor» и «SensHeight» следующим образом:

- по скану «Z Sensor» измеряют изменение сигнала напряжения V_0 (в вольтах) на обкладках емкостного Z-датчика;
- по скану «SensHeight» измеряют геометрическую высоту ступеньки Z_0 (в микрометрах).

5.4.9. Отключают обратную связь по Z (кнопка отжата) и запускают развертку напряжения максимальной амплитуды, подаваемого на Z привод сканера. Для этого выводят на программный осциллограф сигнал «Sensor Z» и в окне нажимают кнопку .



На панели инструментов осциллографа включают кнопки масштабирования сигнала и таким образом, чтобы измеряемый сигнал занимал всю рабочую область осциллографа, и запускают измерение сигнала путем нажатия кнопки .



5.4.10. Измеряют величину максимального изменения напряжения V_{max} (в вольтах) на обкладках Z-датчика и при помощи инструмента Pair Markers ;

5.4.11. Диапазон измерений линейных размеров по оси Z (в микрометрах) определяют из соотношения:

$$Z_{max} = Z_0 \times \frac{V_{max}}{V_0}$$

Результаты поверки считаются положительными, если диапазон измерения линейных размеров по оси Z не менее величины, указанной в Приложении 2.

5.5 Определение угла между осями сканирования X и Y

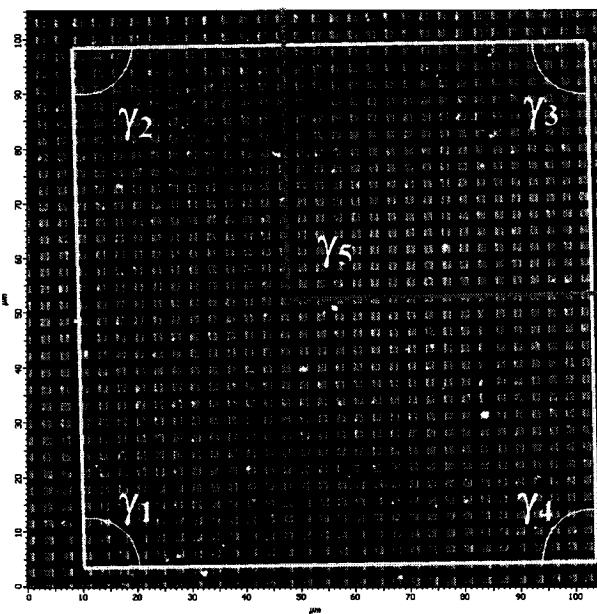
Для определения угла между осями сканирования X и Y применяют меру TGQ1. Определение угла между осями сканирования X и Y проводят в следующей последовательности.

5.5.1. Выполняют подпункты 5.2.1 – 5.2.7 пункта 5.2.

5.5.2. Осуществляют автоматический подвод зонда к поверхности меры согласно РЭ.

5.5.3. В опции устанавливают параметры в соответствии с п. 5.3.2.

5.5.4. Запускают сканирование и получают изображение меры. Изображение сохраняют.



5.5.5. С помощью средств ПО (модуль Image Analysis → группы методов Flatten Correction 2D), выполняют вычитание плоскостей первого и второго порядка из изображения и получают изображение готовое к измерениям.

5.5.6. С помощью инструмента Angle Instrument на полученном изображении измеряют углы $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ и γ_5 и определяют угол между осями сканирования X и Y из выражения:

$$\alpha_{XY} = \frac{\gamma_1^* + \gamma_2^* + \gamma_3^* + \gamma_4^* + \gamma_5^*}{5}, \text{ где } \gamma_i^* = \begin{cases} \gamma_i, & \gamma_i < 90^\circ \\ 180 - \gamma_i, & \gamma_i \geq 90^\circ \end{cases}$$

5.5.7. Измерения угла α_{XY} повторяют 5 раз и вычисляют абсолютную погрешность измерений угла по п. 5.9. Величина отклонения угла α_{XY} не должна превышать значения $1,5^\circ$.

Результат поверки считается положительным, если угол между осями сканирования X и Y находится в диапазоне от $88,5^\circ$ до 90° .

5.6 Определение угла между осью Z и нормалью к плоскости XY

Для определения угла между осью Z и нормалью к плоскости XY применяют линейно-угловую меру TGG1. Определение величины угла между осью Z и нормалью к плоскости XY проводят отдельно для оси X и оси Y в следующей последовательности.

5.6.1. Выполняют подпункты 5.2.1 – 5.2.4 пункта 5.2.

5.6.2. Выбирают меру периода линейно-угловую (TGG1) и фиксируют ее на подложке при помощи двусторонней kleящей ленты. Подложку с мерой устанавливают в фиксатор подложки микроскопа согласно РЭ. Меру устанавливают с погрешностью ориентации не более 5° относительно осей сканирования так, чтобы структуры рельефа меры были расположены перпендикулярно направлению быстрого сканирования.

5.6.3. ИГ устанавливают в рабочее положение согласно РЭ таким образом, чтобы кантilever находился над центральной областью меры. При установке необходимо отрегулировать винтовые опоры ИГ таким образом, чтобы визуально нижняя плоскость головки была параллельна плоскости меры.

5.6.4. Выбирают прерывисто-контактную методику проведения измерений согласно РЭ:

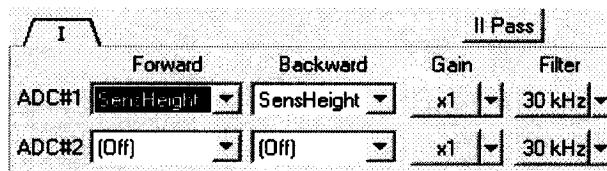
- на панели основных параметров ПО, выбирают пункт «Semicontact»;
- проводят поиск резонансной частоты колебаний кантileвера в соответствии с РЭ и получают АЧХ кантileвера;
- устанавливают параметр «Set Point» на уровне 0.5-0.7 от амплитуды свободных колебаний кантileвера в соответствии с требованиями РЭ.

5.6.5. Определяют автоматический подвод зонда к поверхности меры согласно РЭ.

5.6.6. В опции устанавливают размер изображения (Scan Size) и значение выборки - число точек (Point Number) по осям X и Y таким образом, чтобы можно было пренебречь погрешностью дискретизации изображения. Для этого на один период меры должно приходиться не менее 200 точек, что соответствует диапазону сканирования 15 мкм при количестве точек 1024. Устанавливают следующие параметры:

Частота сканирования строк (параметр Frequency)	0,5 Гц
Число точек по осям X и Y (Point Number)	не менее 1024
Размер изображения (параметр Scan Size)	15 мкм
Направление быстрого сканирования	X

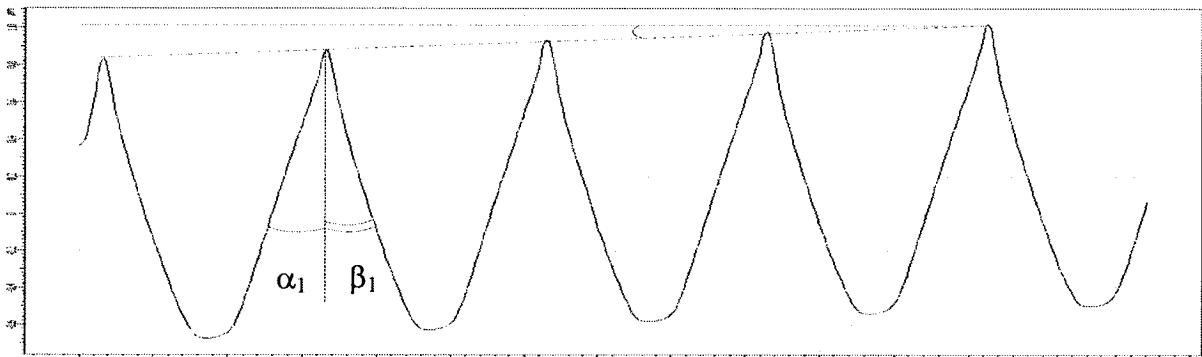
В качестве регистрируемых сигналов выбирают два сигнала «SensHeight», на прямом и обратном ходу (диалоговое окно «Scan Setup», вызываемое кнопкой).



5.6.7. Запускают сканирование и получают 2 изображения периодической структуры меры TGG1 с треугольным профилем - грани меры должны быть ровными. Изображения сохраняют.

5.6.8. Проводят обработку изображения сигнала «SensHeight», полученного на прямом ходу сканирования следующим образом:

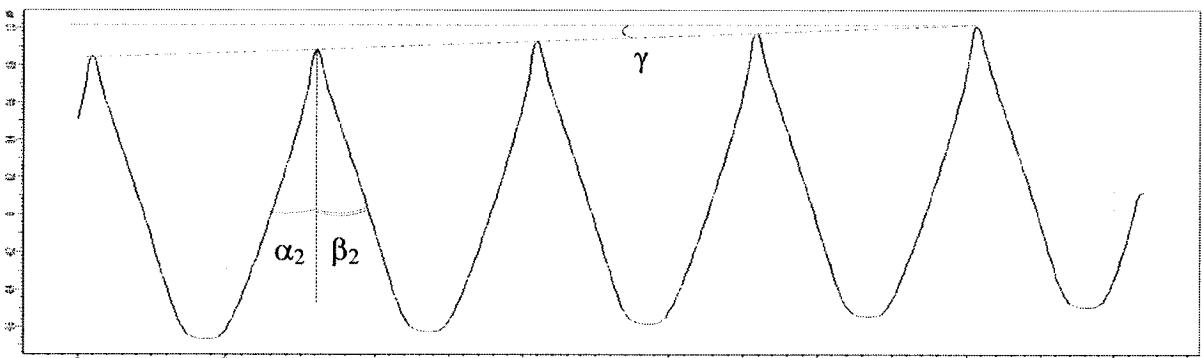
- выполняют сечение по оси X с помощью инструмента «X Section» 
- измеряют углы наклона граней меры α_1 , β_1 к нормали и угол наклона плоскости меры к горизонтали γ с помощью инструмента «Pair Markers» 



Углы наклона граней меры (α_1 и β_1) и угол наклона плоскости меры к горизонтали γ для прямого хода сканирования

5.6.9. Проводят обработку изображения сигнала «SensHeight», полученного на обратном ходе сканирования следующим образом:

- выполняют сечение по оси X с помощью инструмента «X Section» 
- измеряют углы наклона граней меры α_2 , β_2 к нормали и угол наклона плоскости меры к горизонтали γ с помощью инструмента «Pair Markers» 



Углы наклона граней меры (α_2 и β_2) и угол наклона плоскости меры к горизонтали γ для обратного хода сканирования

Угол γ должен быть одинаковым для прямого и обратного хода сканирования.

5.6.10. Угол θ_{zx} между осью Z и нормалью к плоскости XY при сканировании по X определяют следующим образом:

$$\theta_{zx} = \frac{|\alpha_1 - \beta_1| + |\alpha_2 - \beta_2|}{4} - \gamma$$

5.6.11. Измерение углов θ_{zx} проводят для каждого элемента рельефа меры и в качестве результирующего - приводят их усредненное значение.

5.6.12. Определение угла θ_{ZY} между осью Z и нормалью к плоскости XY при сканировании по Y проводят аналогично, выбрав направление быстрого сканирования вдоль оси Y;

Результат поверки считается положительным, если угол между осью Z и нормалью к плоскости XY не превышает $\pm 5,0^\circ$.

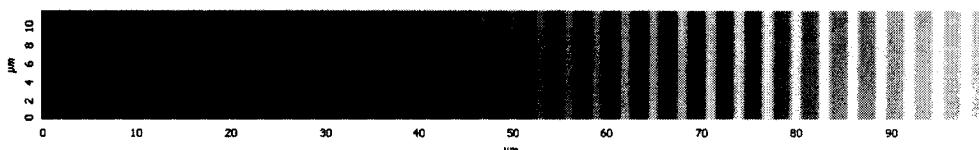
5.7 Определение нелинейности сканирования в плоскости XY

Для определения нелинейности сканирования применяют меру TGZ3 (*допускается применять меры TGZ1, TGZ2 и TGQ1*). Определение нелинейности сканирования в плоскости XY проводят в следующей последовательности.

5.7.1. Выполняют подпункты 5.4.1 – 5.4.5 пункта 5.4.

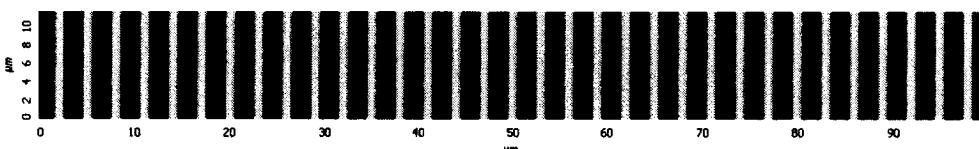
5.7.2. В опции устанавливают размер изображения (Scan Size) и значение выборки - число точек (Point Number) по осям X и Y таким образом, чтобы на один период меры приходилось не менее 30 точек, что соответствует диапазону сканирования 100 мкм при количестве точек 1024. Устанавливают параметры в соответствии с п.5.3.2.

5.7.3. Запускают сканирование и получают изображение меры. Изображение сохраняют.



5.7.4. Проводят обработку полученного изображения следующим образом:

- с помощью программного модуля «Image Analysis», выполняют операцию «Fit Lines» X. Для этого из списка методов выбирают «Flatten Correction 1D» → «Fit Lines»;
- с помощью групп методов Flatten Correction 2D вычитают наклон (Plane) и плоскость второго порядка (2nd Order Curve) и получают изображение, которое готово к измерениям.



5.7.5. Для определения величины нелинейности сканирования применяют программный модуль «Image Analysis», в котором выполняют следующие действия:

- выполняют операцию Arbitrary L и получают сечение по оси X. Для этого из списка методов выбирают Section Analysis → Arbitrary L;
- выполняют сглаживание сечения по алгоритму Average 3×3. Для этого из списка методов выбирают Average → Simple average;
- выполняют построение кривой значений нелинейности (в %) для каждого периода. Для этого из списка методов выбирают Calibration → NLC и нажимают кнопку Apply;

- величину нелинейности сканирования в плоскости XY определяют путем усреднения результатов расчета для каждого периода.

5.7.6. Определение нелинейности сканирования по Y выполняют аналогично, выбрав в качестве направления быстрого сканирования – ось Y.

Результат поверки считается положительным, если значение нелинейности сканирования по X и Y не превышает соответствующей величины, указанной в Приложении 2.

5.8 Определение неплоскости сканирования по XY

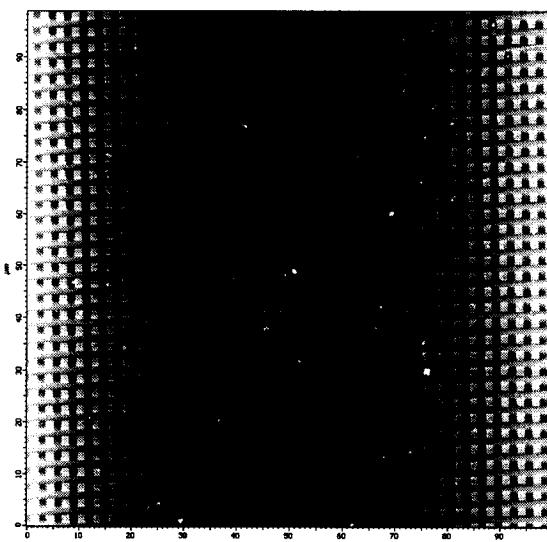
Для определения неплоскости применяют меры TGQ1. Определение неплоскости сканирования проводят в следующей последовательности.

5.8.1. Выполняют подпункты 5.2.1 – 5.2.7 пункта 5.2.

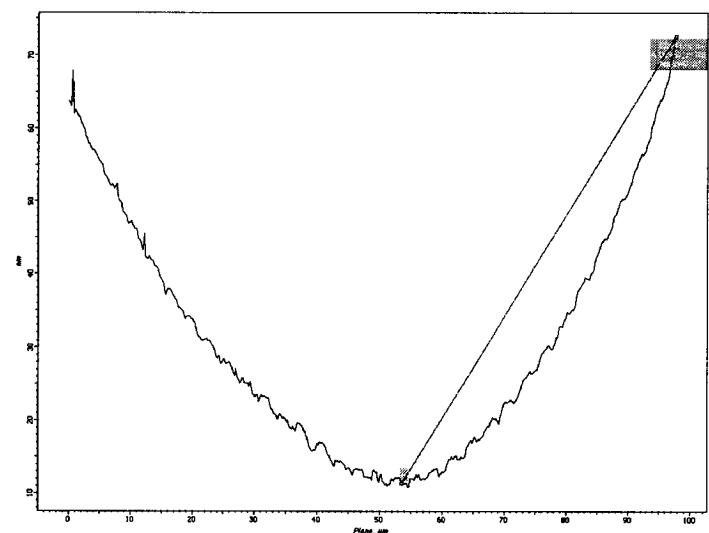
5.8.2. Осуществляют автоматический подвод зонда к поверхности меры согласно РЭ.

5.8.3. В опции  устанавливают параметры в соответствии с п.5.3.2.

5.8.4. Запускают сканирование и получают изображение меры. Изображение сохраняют.



*ACM изображение меры после вычитания
плоскости первого порядка.*



Сечение поверхности.

5.8.5. Проводят обработку полученного изображения с помощью программного модуля «Image Analysis» следующим образом:

- выполняют операцию «Fit Lines X». Для этого из списка методов выбирают «Flatten Correction 1D» → «Fit Lines»;
- с помощью групп методов Flatten Correction 2D выполняют вычитание плоскости первого порядка Subtract Plane. При этом получают изображение гиперболической поверхности;
- выполняют сечение по оси X с помощью операции Arbitrary L. Для этого из списка методов выбирают Section Analysis → Arbitrary L;

5.8.6. Определение величины неплоскости сканирования проводят путем измерения разницы между максимальной и минимальной точкой сечения, при помощи инструмента «Pair

Markers» . Измерение проводят в трех строках изображения (внизу, в середине и вверху кадра). За значение неплоскости сканирования принимается максимальное из 3-х измерений.

5.8.7. Определение неплоскости сканирования по Y выполняют аналогично, выбрав в качестве направления быстрого сканирования – ось Y (выполняют операцию **Fit Lines Y**).

Результат поверки считается положительным, если значение неплоскости сканирования не превышает соответствующей величины, указанной в Приложении 2.

5.9 Расчет погрешности измерений линейных размеров

Погрешность измерений, проводимых в процессе поверки, является количественной характеристикой той точности, с которой единица длины передается конкретному экземпляру зондового микроскопа, в процессе его поверки. Эта погрешность состоит из двух компонентов:

А) Погрешность U_A фактического значения длины периода применяемой меры TGQ1. Значение этого параметра должно быть непосредственно указано в свидетельстве о поверке применяемой меры TGQ1*.

* - если для передачи единицы длины применяется другая мера, то берется ее значение погрешности.

Б) Случайная погрешность, связанная со статистическим разбросом данных и характеризуемая значением СКО для серии измерений вычисляется по формуле:

$$U_B(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - M(x_i))^2},$$

где $M(x_i)$ - среднее арифметическое результатов измерений для серии.

Общая погрешность результатов измерений U вычисляется как геометрическая сумма составляющих погрешностей из пунктов А) и Б) по следующей формуле:

$$U = \sqrt{U_B^2 + U_A^2}$$

Погрешность измерений в режиме компаратора не включает в себя составляющую пункта А). В данном режиме вклад дает погрешность, связанная со статистическим разбросом данных. Также в данном режиме вклад дает погрешность, связанная с дискретностью АЦП и равная половине размера одного пикселя на топограмме U_D (например, при количестве пикселов 4000 данная погрешность равна 1/8000 от размера кадра). Суммарная погрешность равна

$$U = U_B + U_D$$

где параметр U_D зависит от размера кадра L

6. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

6.1. Результаты поверки оформляются протоколом, в котором указывается соответствие метрологических характеристик предъявляемым требованиям. Протокол хранится в организации, проводившей поверку.

6.2. Микроскоп, удовлетворяющий требованиям настоящей методики, признается годным для проведения измерений. Положительные результаты поверки оформляются свидетельством о поверке установленной формы.

6.3. При отрицательных результатах поверки выпуск в обращение и применение зондового микроскопа запрещается и выдается извещение об его непригодности.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПЕРЕЧЕНЬ ПОВЕРЯЕМЫХ ПО ДАННОЙ МЕТОДИКЕ МОДЕЛЕЙ МИКРОСКОПОВ И КРАТКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИХ МЕТОДИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

	Методик и сканиру- ющей ближнеп- ольной оптиче- ской микроск- опии	Методики STM/ACM при атмосферном давлении		Измерения в вакууме		Измерения, связанные с нагреванием образца		Измерения в жидкой фазе		
		СБОМ	STM	ACM	STM	ACM	STM	ACM	STM	ACM
SOLVER HV	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
SOLVER HV-MFM	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
SOLVER SNOM	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
SMENA	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+
SOLVER PRO	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+
SOLVER PRO-M	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+
SOLVER FD	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
SOLVER P47-PRO	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+
SOLVER P47H-PRO	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+
SOLVER PRO-EC	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+
SOLVER MFM	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+
SOLVER BIO-M	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+
SOLVER NEXT	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+
SOLVER OPEN	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+
NTEGRA SPECTRA	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+
NTEGRA PRIMA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
NTEGRA VITA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
NTEGRA THERMA	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-
NTEGRA AURA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
NTEGRA MAXIMUS	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

NTEGRASOLARIS	+	-	+	-	+	-	-	-	-
NTEGRATOMO	-	-	+	-	+	-	-	-	+
NTEGRALIFE	-	-	+	-	-	-	+	-	+

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОНДОВЫХ МИКРОСКОПОВ

А. Метрологические характеристики микроскопов с емкостными датчиками перемещения

Поверяемые параметры	ИГ типа «Смена»	Нижний сканер	ИГ типа «CHOM»
Диапазон измерений линейных размеров в плоскости XY, мкм	100±10	100±10	100±10
Диапазон измерений линейных размеров по оси Z, мкм	10±1	10±1	10±1
Угол между осями сканирования X и Y, градус	90,0±1,5	90,0±1,5	90,0±1,5
Угол между осью Z и нормалью к плоскости XY не более, градус	5,0	5,0	5,0
Величина нелинейности сканирования в плоскости XY не более, %	0,5	0,5	0,5
Величина неплоскости сканирования по XY не более, нм	100	200	400

Б. Метрологические характеристики микроскопов без емкостных датчиков перемещения

Поверяемые параметры	Нижние сканеры				ИГ типа «Смена»
	1 мкм	3 мкм	10 мкм	100 мкм	
Диапазон измерений линейных размеров в плоскости XY, мкм	1,0±0,1	3,0±0,3	10,0±1,0	100±10	100±10
Диапазон измерений линейных размеров по оси Z не менее, мкм	1.1	1.5	2	3.5	3.5
Угол между осями сканирования X и Y, градус	-	90,0±2,0	90,0±2,0	90,0±2,0	90,0±2,0
Угол между осью Z и нормалью к плоскости XY не более, градус	-	5,0	5,0	5,0	5,0

Величина нелинейности сканирования в плоскости XY не более, %	-	1,0	1,0	1,0	1,0
Величина неплоскости сканирования по XY не более, нм	-	20	20	200	200

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

1. Методика вычисления масштабных коэффициентов сканера по X и Y (Методика градуировки по X и Y)

Выполняют сканирование диапазона 15 мкм и получают изображение периодической структуры меры со значением периода P_m (указан в свидетельстве о поверке меры).

Измеряют значение периода меры следующим образом:

А. Открывают опцию Data. Последнее сканированное изображение отображается в панели просмотра и редактирования фрейма.

Б. Для входа в Image Analysis выбирают кнопку  на панели инструментов.

В. Выполняют вычитание наклона, либо поверхности второго порядка (с помощью групп методов Flatten Correction) из полученного изображения.

Г. Получают сечение по оси X с помощью операции Arbitrary L. Для этого из списка методов выбирают Section Analysis → Arbitrary L.

Д. На полученном сечении, при помощи инструмента «Pair Markers» , измеряют период меры P_0 (нм).

1.3. Если измеренный период меры P_0 не совпадает с периодом меры P_m при исходном значении масштабного коэффициента Xr_0 , то истинное значение масштабного коэффициента (Xr) определяют из соотношения:

$$Xr = P_m \times [Xr_0 / P_0].$$

1.4. Новое значение масштабного коэффициента Xr записывают в файл параметров и сохраняют его. Для этого последовательно выбирают пункты Settings → Calibrations → Change Calibrations. На экране появляется диалоговое окно Scanner Calibrations Setup, в которое записывают новое значение масштабного коэффициента.

1.5. Запускают повторное сканирование и повторно измеряют период меры для проверки правильности результата.

1.6. Определение масштабного коэффициента Y_t проводят аналогично, выбрав в качестве быстрого направления сканирования – ось Y.

2. Методика определения масштабного коэффициента сканера по Z

(Методика градуировки по Z)

Выполняют сканирование диапазона 15 мкм и получают изображение периодической структуры меры со значением высоты профиля меры H_m (указан в свидетельстве о поверке).

Высоту профиля меры определяют с помощью программного модуля **Image Analysis** в следующей последовательности:

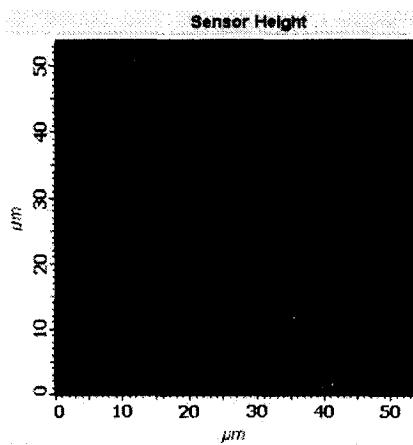
A. Открывают опцию **Data**. Последнее сканированное изображение отображается в панели просмотра и редактирования фрейма.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 (продолжение)

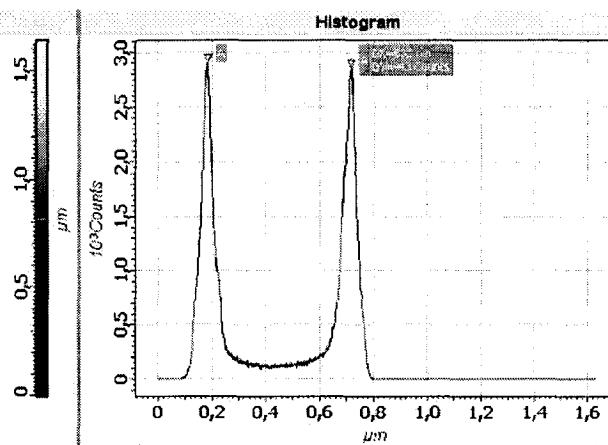
Б. Для входа в **Image Analysis** выбирают кнопку  на панели инструментов.

В. Выполняют вычитание плоскости, либо поверхности второго (третьего) порядка (с помощью групп методов **Flatten Correction**).

Г. Из списка в дереве методов выбирают **Statistics → Histogram** и нажимают кнопку **Apply**. В результате будет построена гистограмма плотности распределения значений 2D-функции. Расстояние между максимумами, соответствует средней высоте профиля меры.



ACM изображение меры TGZ3



Гистограмма плотности распределения значений 2D-функции

Д. Измеряют расстояние между максимумами, с помощью инструмента **Pair Markers**

 и закрывают программный модуль **Image Analysis**.

2.3. Если измеренное значение высоты профиля меры в пределах погрешности не соответствует значению H_m , то истинное значение масштабного коэффициента (Z_r) определяют из соотношения:

$$Zr = H_m \times [Zr_0 / H_0],$$

где: **Zr** – новое значение масштабного коэффициента;

Zr₀ – старое значение масштабного коэффициента;

H_m – высота профиля, указанная в свидетельстве о поверке меры;

H₀ – измеренная высота профиля меры.

2.4. Новое значение масштабного коэффициента Zr записывают в файл параметров и сохраняют его.

2.5. Проводят контрольное сканирование и измерение высоты профиля меры для проверки правильности результата.