

ОТЧЕТ

О выполнении программы «Создание эталонов единицы длины нового поколения в диапазоне 10^{-9} ÷ 10^{-4} м на 2013-2015 годы»

Тема: «Совершенствование Государственного первичного специального эталона единицы длины в области измерений параметров шероховатости R_{\max} , R_z , R_a в диапазоне 10^{-6} ÷ 10^{-9} м».

В части совершенствования эталонной базы в области измерений геометрических величин в период с 2013 по 2015 г. проводились работы по совершенствованию государственного первичного специального эталона единицы длины в области измерений параметров шероховатости R_{\max} , R_z , и R_a (ГЭТ 113-2010) в диапазоне длин от 1 нм до 1000нм.

На завершающем этапе проведена подготовка усовершенствованного Государственного первичного специального эталона единицы длины в области измерений параметров шероховатости R_{\max} , R_z , и R_a к утверждению.

Для этого приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14.11.2014 г. № 1822 была назначена комиссия, которая провела приемку Государственного первичного специального эталона единицы длины в области измерений параметров шероховатости R_{\max} , R_z , и R_a .

Комиссии были представлены:

- эталон, предназначенный для воспроизведения, хранения и передачи единицы длины в области измерений параметров шероховатости R_{\max} , R_z , и R_a ;
- материалы исследований эталона;
- доклад Федеральному агентству по техническому регулированию и метрологии;
- паспорт эталона;
- правила хранения и применения эталона;
- рекомендация о назначении ученого хранителя эталона;
- решение научно-технического совета ФГУП «ВНИИМС» (протокол № 7);
- проект нормативного документа ГОСТ Р.....«Государственная поверочная схема для средств измерений параметров шероховатости R_{\max} , R_z в диапазоне от 0,001 до 3000 мкм и R_a в диапазоне от 0,001 до 750 мкм»;

– демонстрационные материалы к докладу.

1. Эталон состоит из:

- в диапазоне $0,001 - 50$ мкм - модернизированного сканирующего зондового микроскопа «НаноСкан-3Di» (рис. 1);

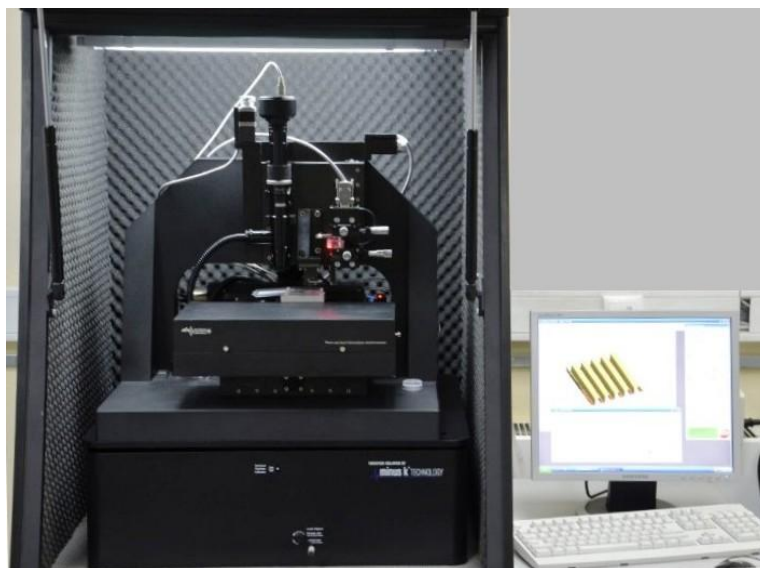


Рисунок 1 - Внешний вид модернизированного сканирующего зондового микроскопа «НаноСкан-3Di»

- в диапазоне $0,0015 - 3$ мкм - модернизированного автоматизированного интерференционного микроскопа МИА-М1 (рис.2);



Рисунок 2. Внешний вид модернизированного автоматизированного интерференционного микроскопа МИА-М1

- в диапазоне $0,025 - 0,1$ мкм - модернизированного прецизионного контактного профилометра нанометрового диапазона Talystep (рис.3);



Рисунок 3. Внешний вид модернизированного прецизионного контактного профилометра нанометрового диапазона Talystep (рис.4)
- в диапазоне 1,0 – 3000 мкм - модернизированного контактного широкодиапазонного профилометра Form TalySurf (рис.4)

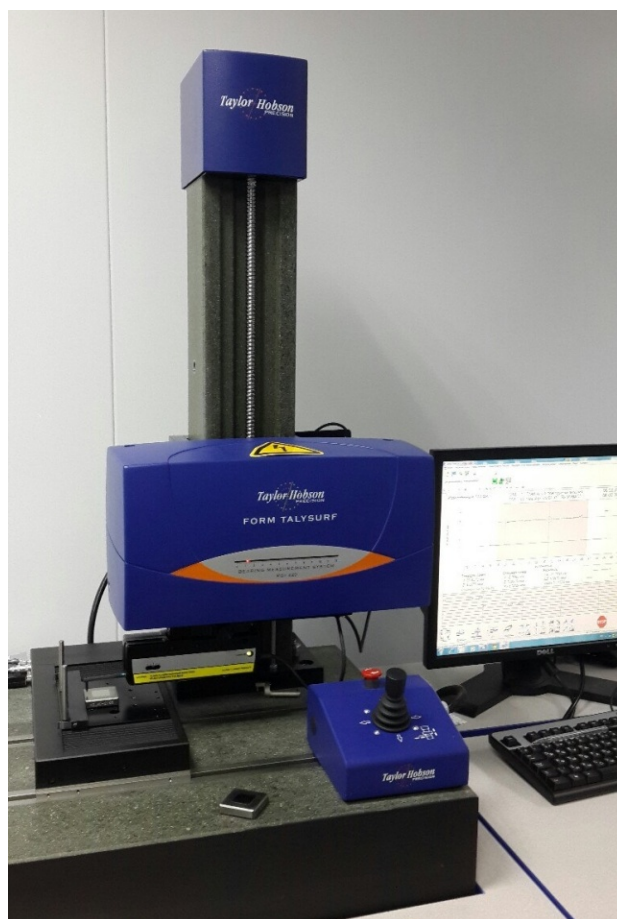


Рисунок 4. Внешний вид модернизированного контактного широкодиапазонного профилометра Form TalySurf
Эталонная установка на базе модернизированного сканирующего зондового микроскопа «НаноСкан-3Di» (диапазон 0,001 - 50 мкм)

Измерение рельефа поверхности сканирующим зондовым микроскопом «НаноСкан-3Di» осуществляется путем построчного сканирования участка поверхности измерительным зондом с записью сигнала обратной связи.

Блок-схема эталонной установки на базе модернизированного сканирующего зондового микроскопа «НаноСкан-3Di» приведена на рисунке 5.

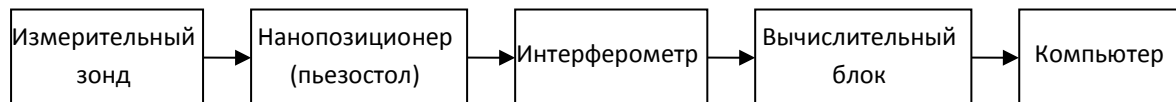


Рисунок 5. Блок-схема эталонной установки на базе модернизированного сканирующего зондового микроскопа «НаноСкан-3Di»

Состав модернизированного сканирующего зондового микроскопа «НаноСкан-3Di» приведен на рисунке 6.

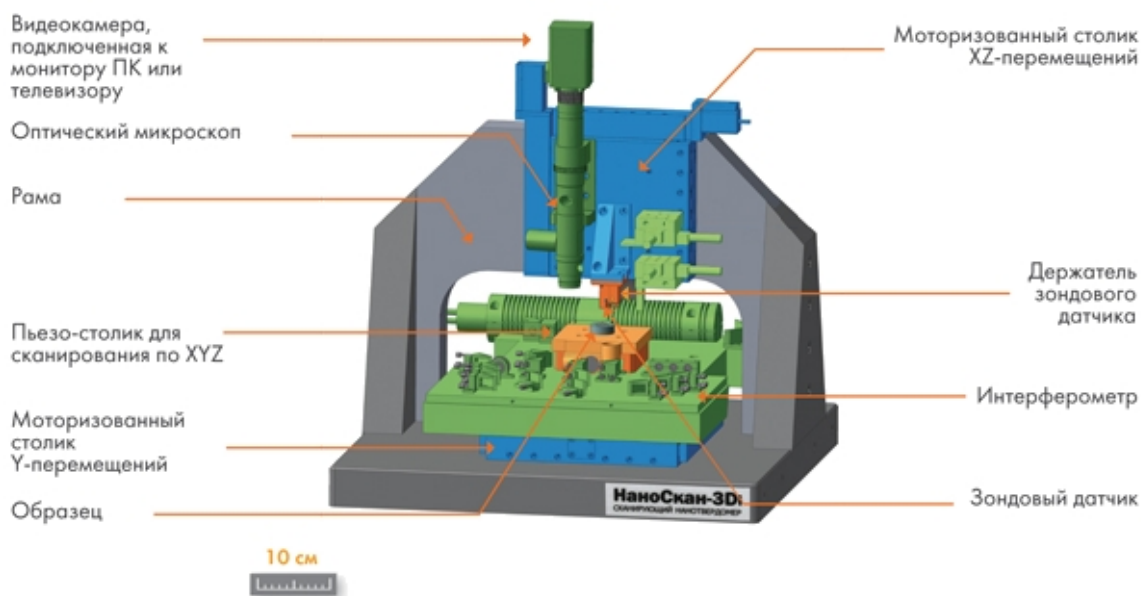


Рисунок 6. Состав эталонной установки на базе модернизированного сканирующего зондового микроскопа «НаноСкан-3Di»

Две величины используются в качестве измеряемого сигнала: A - разность между амплитудой свободных колебаний зонда A_0 и амплитудой установившихся колебаний при контакте с поверхностью A_c ; и F - разность между частотой свободных колебаний зонда F_0 и частотой установившихся колебаний при контакте с поверхностью F_c . Обратная связь поддерживает постоянными заданное значение величин A и F . Для перемещения зонда используются прецизионный пьезокерамический нанопозиционер, на который по цепи обратной связи подается сигнал. Профиль поверхности получается посредством регистрации этих перемещений с помощью лазерного интерферометра.

Фазовый сдвиг, полученный на выходе алгебраического модуля блока обработки сигналов, используется для расчета текущего перемещения по формуле:

$$R = \frac{\lambda}{2} \left(N + \frac{\delta}{2\pi} \right),$$

где R – текущее перемещение,

λ – длина волны лазера,

N – целое число периодов интерференционной полосы,

δ – текущий фазовый сдвиг.

При модернизации:

- в прибор встроены 3-координатный гетеродинный лазерный интерферометр, который измеряет перемещения нанопозиционера по трем осям, и блок обработки сигналов для оценки данных, полученных с интерферометра;

- в программное обеспечение добавлена возможность анализа данных с интерферометра;

- исследованы и скомпенсированы систематические составляющие погрешности прибора, обусловленные наличием интерферометра.

Эталонная установка на базе модернизированного автоматизированного интерференционного микроскопа МИА-М1 (диапазон 0,015 – 3 мкм)

Интерференционный микроскоп МИИ-4 был заменен на модернизированный автоматизированный интерференционный микроскоп МИА-М1.

Блок-схема эталонной установки на базе модернизированного автоматизированного интерференционного микроскопа приведена на рисунке 7.

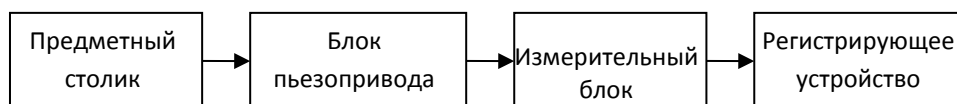


Рисунок 7. Блок-схема эталонной установки на базе модернизированного автоматизированного интерференционного микроскопа МИА-М1

Устройство модернизированного автоматизированного интерференционного микроскопа МИА-М1 приведено на рисунке 8.

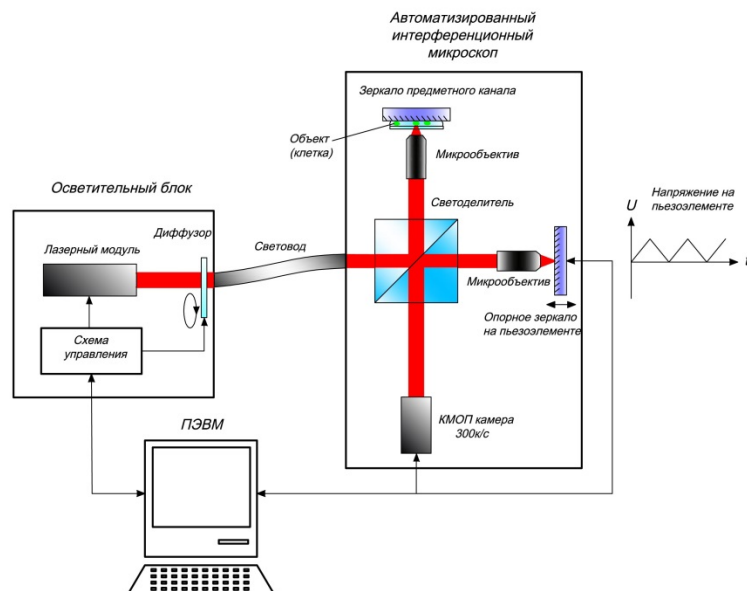


Рисунок 8. Устройство эталонной установки на базе модернизированного автоматизированного интерференционного микроскопа МИА-М1

Принцип действия микроскопа основан на интерференции световых пучков лазерного излучения, отраженных от опорного зеркала и поверхности измеряемого изделия. Основой микроскопа является микроинтерферометр, построенный по схеме интерферометра Линника. Для расширения диапазона и повышения точности измерений реализован метод дискретного фазового сдвига при помощи управляемого от компьютера зеркала на пьезоэлементе (пьезозеркала), встроенного в опорное плечо микроинтерферометра. Интерференционные картины при различных положениях пьезозеркала регистрируются с помощью встроенной цифровой видеокамеры, оцифровываются и передаются в персональный компьютер (ПК), где производится их автоматическая обработка.

В результате обработки восстанавливается оптическая разность хода, соответствующая измеряемому профилю поверхности.

Результаты измерений, в виде профилей исследуемых объектов (графиков сечений), псевдоцветовых карт и текстовой информации, отображаются на экране компьютера.

$$H(x, y) = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot \Phi(x, y)$$

где $H(x, y)$ – высота профиля,
 λ – длина волны источника излучения,
 $\Phi(x, y)$ – значение фазы.

2. Эталон обеспечивает воспроизведение, хранение и передачу единицы длины параметров шероховатости R_{\max} , R_z , и R_a со следующими значениями метрологических характеристик:

Диапазон значений длины, в котором воспроизводится единица, составляет от 0,001 до 3000 мкм.

Первичный эталон в комплексе обеспечивает воспроизведение единицы длины в области измерений параметров шероховатости:

- R_{\max} и R_z в диапазоне 0,001 ÷ 50 мкм; R_a от 0,001 ÷ 12,5 мкм со средним квадратическим отклонением результата измерений S , не превышающим 0,0002 мкм при 20 независимых наблюдениях и неисключенной систематической погрешностью θ , не превышающей 0,0014 мкм;

- R_{\max} и R_z в диапазоне 0,0015 ÷ 3 мкм; R_a от 0,001 ÷ 0,75 мкм со средним квадратическим отклонением результата измерений S , не превышающим 0,0002 мкм при 20 независимых наблюдениях и неисключенной систематической погрешностью θ , не превышающей 0,0013 мкм;

- R_{\max} и R_z в диапазоне 0,025 ÷ 0,1 мкм; R_a от 0,006 ÷ 0,025 мкм со средним квадратическим отклонением результата измерений S , не превышающим 0,0015 мкм при 20 независимых наблюдениях и неисключенной систематической погрешностью θ , не превышающей 0,0012 мкм;

- R_{\max} и R_z в диапазоне 1 ÷ 3000 мкм; R_a от 0,4 ÷ 750 мкм – со средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим 0,04 мкм при 20 независимых наблюдениях и неисключенной систематической погрешностью θ , не превышающей 0,013 мкм;

Стандартная неопределенность:

оцененную по типу А, u_A :

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| - в диапазоне 0,001 ÷ 50 мкм | $0,2 \cdot 10^{-3}$ мкм; |
| - в диапазоне 0,0015 ÷ 3 мкм | $0,2 \cdot 10^{-3}$ мкм; |
| - в диапазоне 0,025 ÷ 0,1 мкм | $1,5 \cdot 10^{-3}$ мкм; |
| - в диапазоне 1 ÷ 3000 мкм | $4,0 \cdot 10^{-2}$ мкм; |

оцененная по типу В, u_B :

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| - в диапазоне 0,001 ÷ 50 мкм | $1,4 \cdot 10^{-3}$ мкм; |
| - в диапазоне 0,0015 ÷ 3 мкм | $1,3 \cdot 10^{-3}$ мкм; |
| - в диапазоне 0,025 ÷ 0,1 мкм | $1,2 \cdot 10^{-3}$ мкм; |
| - в диапазоне 1 ÷ 3000 мкм | $1,3 \cdot 10^{-2}$ мкм; |

Суммарная стандартная неопределенность:

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| - в диапазоне 0,001 ÷ 50 мкм | $1,4 \cdot 10^{-3}$ мкм; |
| - в диапазоне 0,0015 ÷ 3 мкм | $1,3 \cdot 10^{-3}$ мкм; |
| - в диапазоне 0,025 ÷ 0,1 мкм | $1,9 \cdot 10^{-3}$ мкм; |
| - в диапазоне 1 ÷ 3000 мкм | $4,2 \cdot 10^{-2}$ мкм; |

Расширенная неопределенность при $K=3$, U :

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| - в диапазоне 0,001 ÷ 0,025 мкм | $4,2 \cdot 10^{-3}$ мкм; |
|---------------------------------|--------------------------|

- в диапазоне 0,0015 ÷ 3 мкм $3,9 \cdot 10^{-3}$ мкм;
- в диапазоне 0,025 ÷ 0,1 мкм $5,7 \cdot 10^{-3}$ мкм;
- в диапазоне 1 ÷ 3000 мкм $12,6 \cdot 10^{-2}$ мкм

3. Вся аппаратура, входящая в состав эталона единицы длины в области измерений параметров шероховатости R_{\max} , R_z , и R_a , исследована и находится в рабочем состоянии.

4. Условия хранения и применения эталона соответствуют требованиям, установленным «Правилами содержания и применения».

5. Уровень эталона соответствует современным достижениям развития отечественной и зарубежной науки и техники.

6. Достигнутые точности воспроизведения и передачи единицы длины в области измерений параметров шероховатости R_{\max} , R_z , и R_a соответствуют потребностям данной области измерений.

На основании вышеизложенного Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии Приказом №118 от 29.01.2015 г. утвердило ГЭТ 113-2014 «Государственный первичный специальный эталон единицы длины в области измерений параметров шероховатости R_{\max} , R_z в диапазоне 0,001 – 3000 мкм и R_a в диапазоне 0,001 – 750 мкм» с новыми метрологическими характеристиками взамен ГЭТ 113-2010.

В соответствии с планом по внедрению ГЭТ 113-2014 утвержден ГОСТ 8.296-2015 «Государственная поверочная схема для средств измерений параметров шероховатости R_{\max} , R_z в диапазоне от 0,001 до 3000 мкм и R_a в диапазоне от 0,001 до 750 мкм» в качестве межгосударственного стандарта.