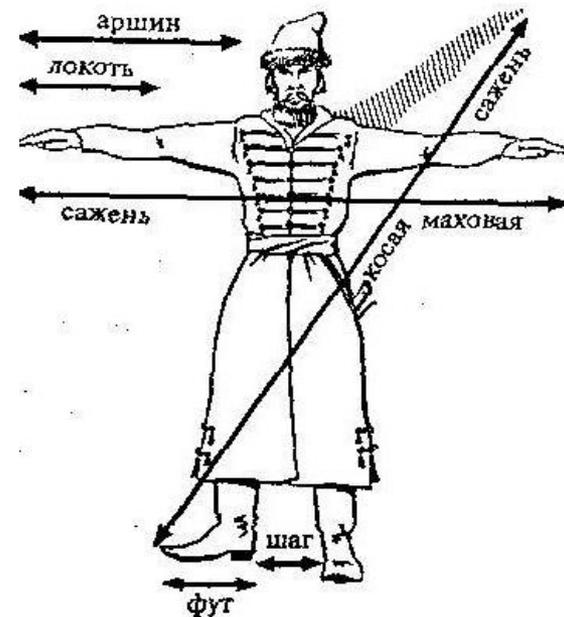


РАЗДЕЛ №1

ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ И ТЕОРИИ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ



Учебный план

- Лекции → 54 ак.ч.
- Лабораторные → 54 ак.ч.
- Самостоятельно → 108 ак.ч.

- Всего → 216 ак.ч.

- Экзамен

Литература

- **М. И. Апенко.** Оптические приборы в машиностроении
- **А. А. Гершун.** Избранные труды по фотометрии и светотехнике
- **И.П. Денисов** Спектральные измерения, 2010
- **П. Л. Капица.** Эксперимент. Теория. Практика
- **В. К. Кирилловский.** Оптические измерения
- **В. Ф. Коимкин.** Оптические методы регистрации быстрых процессов
- **Х.-И. Кунце.** Методы физических измерений
- **Г. С. Лансберг.** Оптика
- **В. М. Лисицын.** Световые измерения. Определения, термины
- **В. М. Лисицын, В. И. Корепанов.** Спектральные измерения с временным разрешением
- **Д. Д. Максutow.** Теневые методы исследования оптических систем
- **Л. А. Михеенко.** Оптические измерения
- **С. Э. Фриш.** Техника спектроскопии

План курса «Оптические измерения»

1. Основы метрологии и теории оптических измерений
2. Геометрические измерения
3. Фотометрические измерения
4. Спектральные измерения
5. Пирометрические измерения
6. Колориметрические измерения
7. Интерференционные измерения
8. Рефрактометрические измерения
9. Поляризационные измерения
10. Дифракционные измерения

Измерение – последовательность экспериментальных и вычислительных операций, осуществляемая с целью нахождения значений физической величины, характеризующей некоторый объект или явление (физический энциклопедический словарь под ред. Ю.В.Прохорова)

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Оптическая Метрология

- Измерение и контроль конструктивных параметров оптических элементов и систем
- Измерение физических характеристик изучаемых объектов с помощью оптических методов и оптических приборов

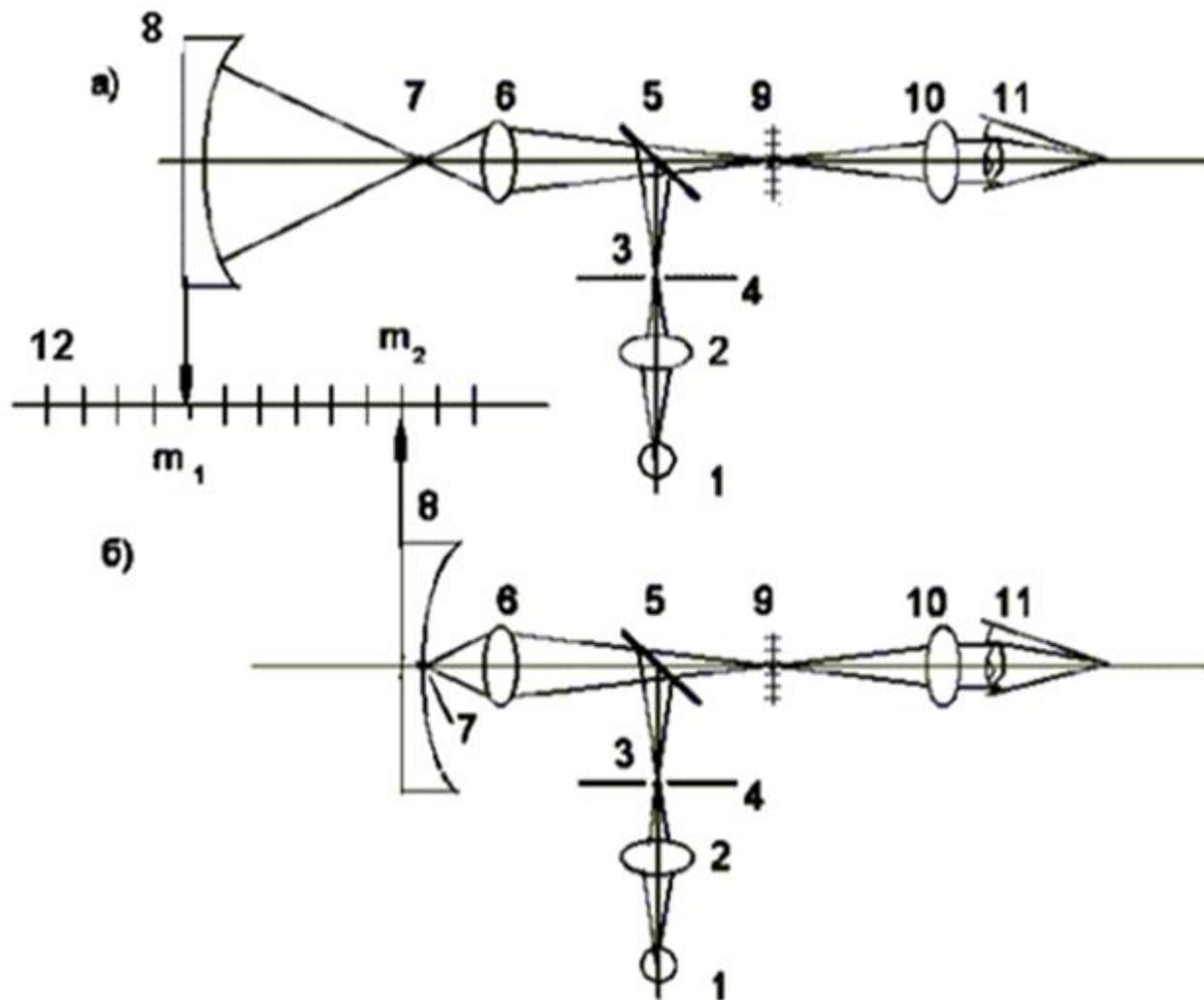
Инструменты (оптических) измерений

- **Метод измерения** – совокупность использования принципов и средств измерения
- **Принцип измерения** – научная основа измерения, т.е. комплекс знаний о физических явлениях и технических достижениях, на которых основаны данные измерения
- **Средства измерения** – измерительные установки
- **Методика измерений** – установленная совокупность операций, условий и правил для обеспечения необходимых измерений
- **Условия измерений** – правила применения средств, при соблюдении которых величины, влияющие на точность, находятся в допустимых пределах

Прямое измерение

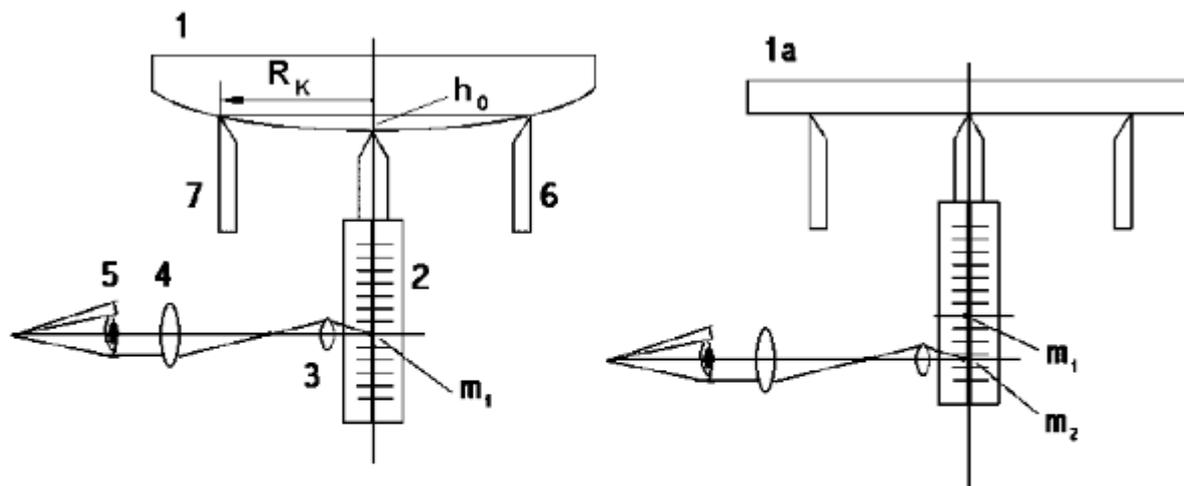


Автоколлимационный микроскоп

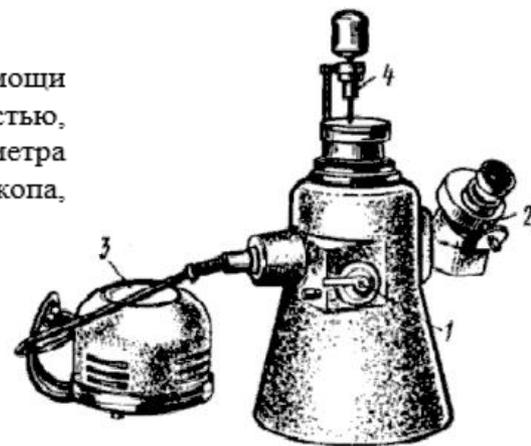


Измерение радиуса кривизны сферической оптической поверхности с помощью автоколлимационного микроскопа

Косвенное измерение



Принцип измерения радиуса кривизны при помощи кольцевого сферометра (1 – измеряемая деталь со сферической поверхностью, 1а – деталь с плоской поверхностью, 2 – измерительный стержень сферометра с оптической шкалой, 3 и 4 – объектив и окуляр отсчетного микроскопа, 5 – глаз наблюдателя, 6 и 7 – опорное кольцо)



Общий вид кольцевого сферометра
(1 – рычаг управления стержнем контактного измерительного устройства; 2 – окуляр-микрометр; 3 – блок питания; 4 – фиксатор измеряемой детали)

Совокупное измерение

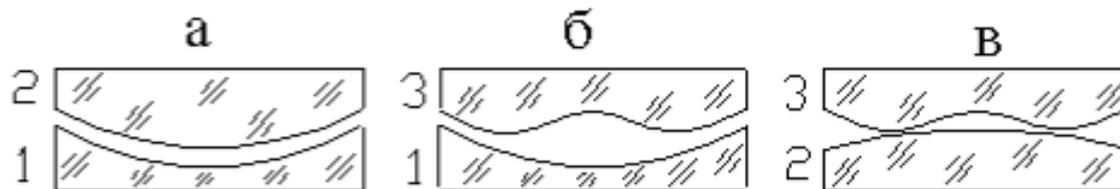
- Пробные стекла последовательно накладывают друг на друга в разных сочетаниях
- По возникающей интерференционной картине оценивают их относительные ошибки в числе N интерференционных колец
- Составляют систему уравнений:

$$N_1 = x_1 + x_2,$$

$$N_2 = x_1 + x_3,$$

$$N_3 = x_2 + x_3,$$

где x_1 , x_2 и x_3 – искомые абсолютные ошибки поверхностей.



Абсолютный метод измерения трех плоских пробных стекол

Разновидности прямых измерений

- Метод непосредственной оценки
- Дифференциальный метод
- Нулевой метод
- Метод совпадений

Метод непосредственной оценки

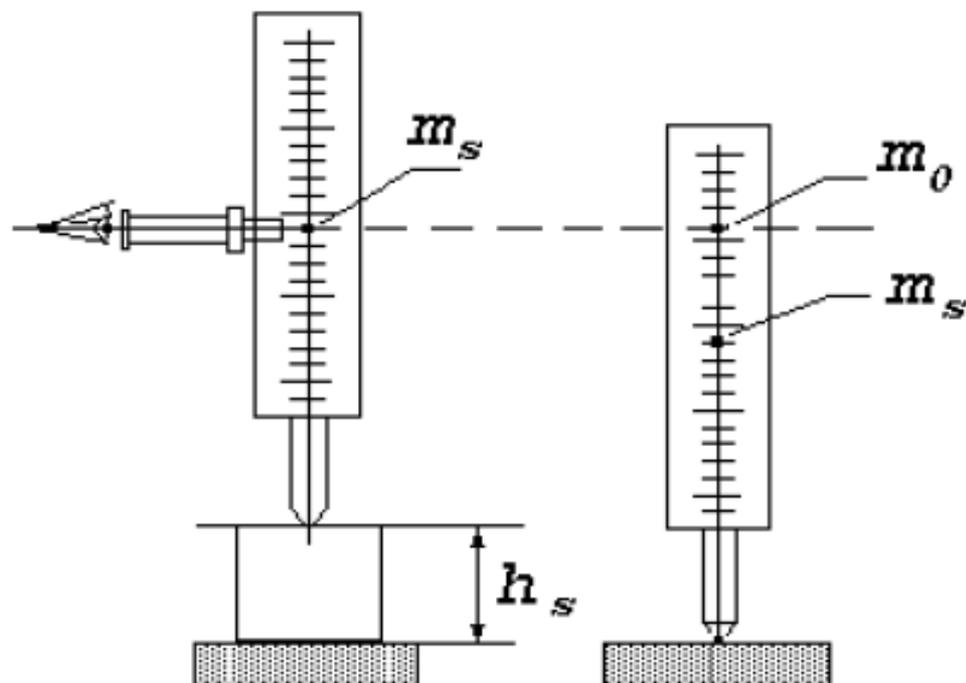


Схема метода непосредственного измерения
концевых мер на оптическом длинномере

Дифференциальный метод

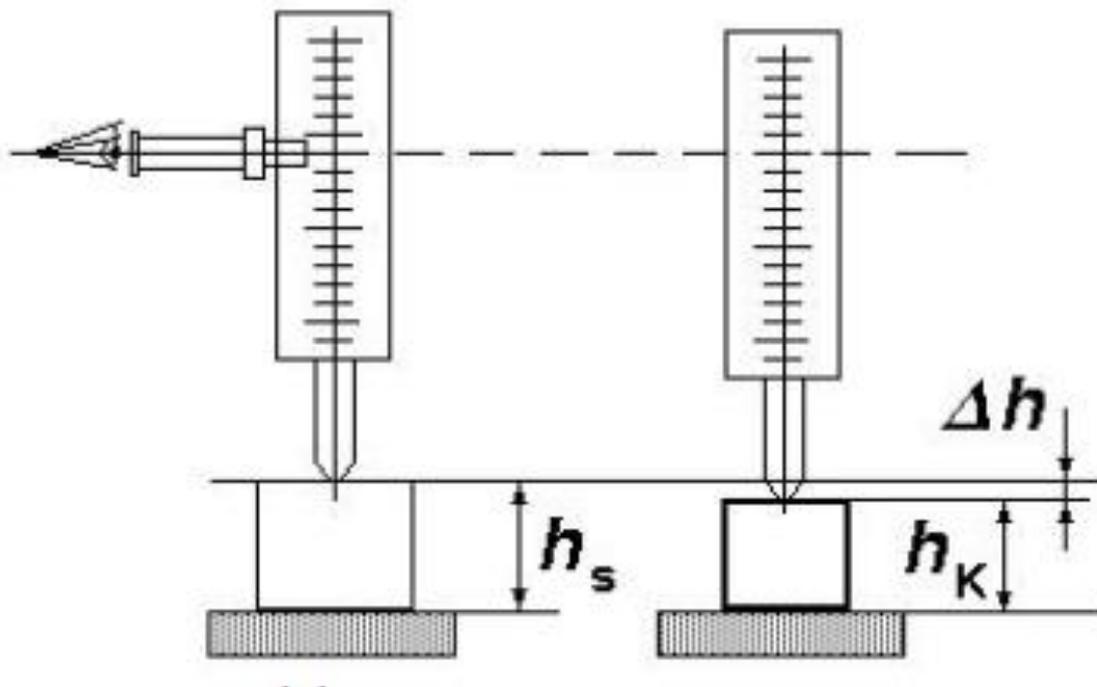
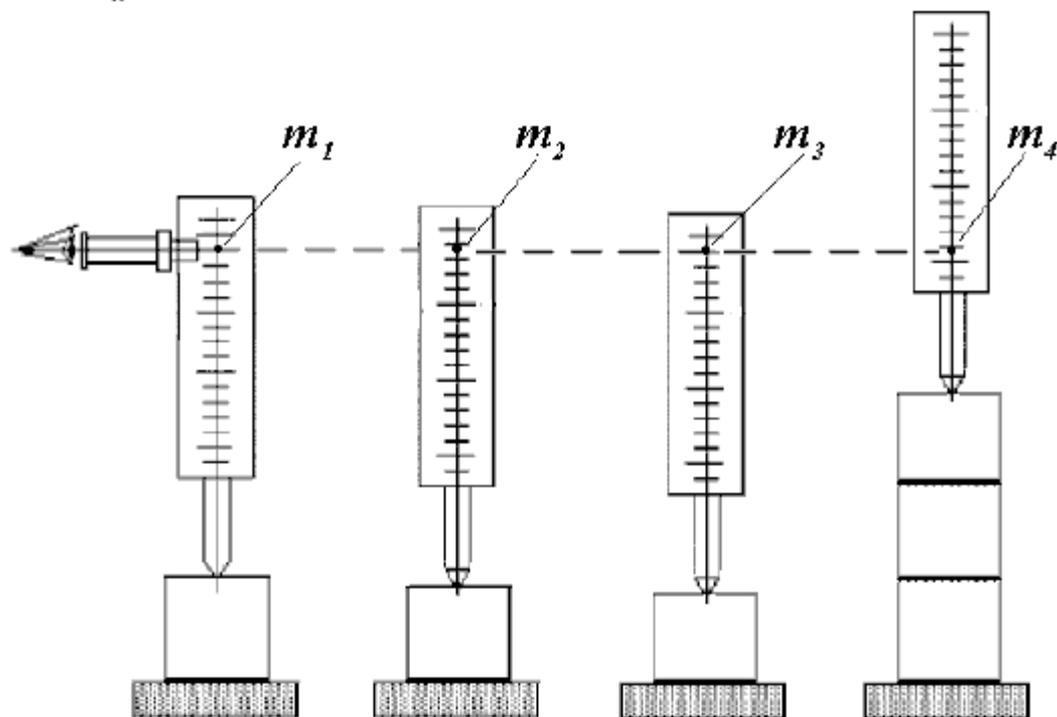


Схема метода дифференциального измерения
концевых мер на оптическом длинномере

Совместные измерения



$$h_1 = [m_1 + (m_4 - m_2 - m_3)]/2$$
$$h_2 = [m_2 + (m_4 - m_1 - m_3)]/2$$
$$h_3 = [m_3 + (m_4 - m_1 - m_2)]/2.$$

Схема метода совместного измерения
концевых мер на оптическом длинномере

Погрешности (оптических) измерений

Точность измерения – характеристика качества измерения, т.е. близость к нулю погрешности результата.

Погрешность измерения – интервал, в который с заданной вероятностью попадает отступление измеренного значения данного параметра от истинной величины.

- Методическая
- Инструментальная
- Установочная
- Вычислительная
- Личная

Погрешности (оптических) измерений

Абсолютная погрешность

$$\Delta X = X - X_0$$

X - измеренная величина;
 X_0 - истинное значение.

Относительная погрешность

$$\Delta X_{\text{отн}} = \frac{\Delta X}{X_0} 100\%.$$

Истинное значение – среднее арифметическое из ряда измерений

$$X_0 = X_{\text{ср}}$$

Типы погрешностей

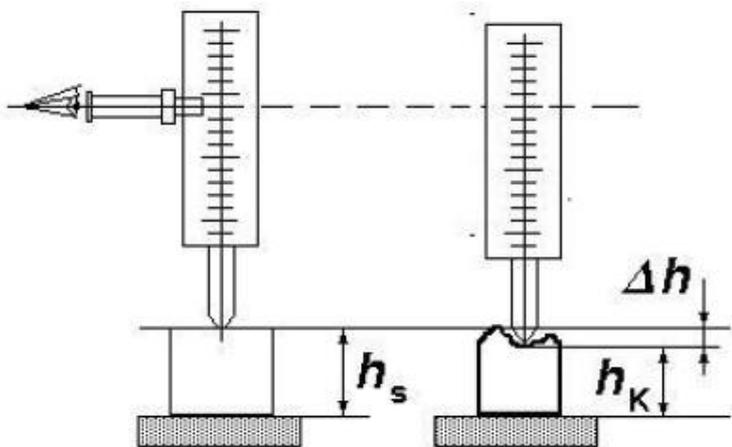
Методические погрешности – неточность математической модели принципа измерений

Инструментальные погрешности – несовершенство средств измерения и влияние условий измерения.

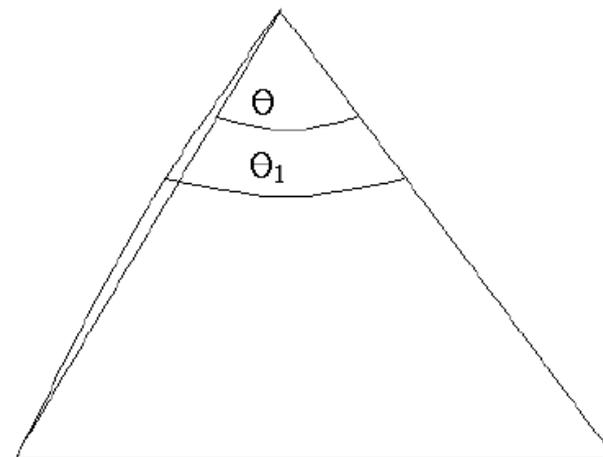
- Изготовление измерительных шкал и других узлов прибора
- Юстировка и настройка установки
- Работа источника излучения и приемника оптического сигнала
- Погрешности измерительных наводок и отсчетов

Источники погрешностей ОИ, связанных с объектом

- Размеры измеряемого оптического элемента
- Неоднородность материала оптической детали (если измерение проводится в проходящем свете)
- Шероховатость поверхности
- Качество изготовления поверхности



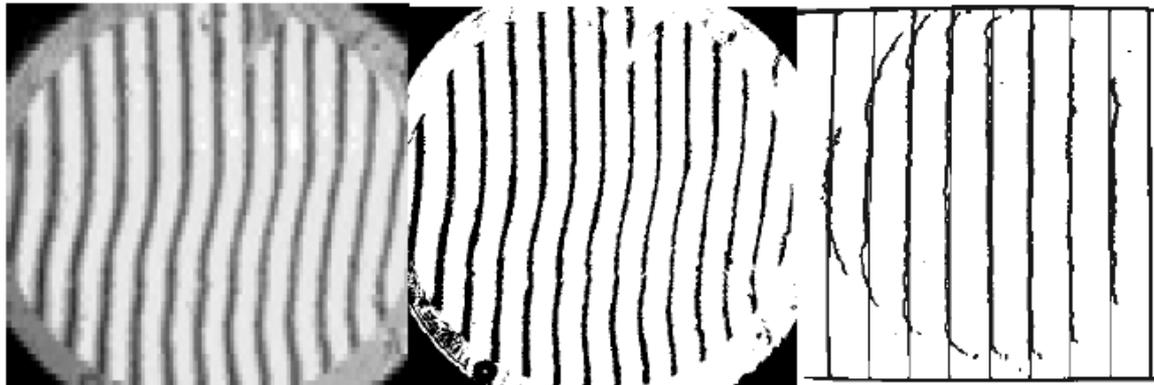
Влияние шероховатости измеряемой поверхности



Ошибка поверхности вносит неопределенность в размер угла призмы

Источники погрешностей ОИ, связанных с прибором

- Ошибки, вызванные ограниченной чувствительностью метода, применяемого в приборе



а)

б)

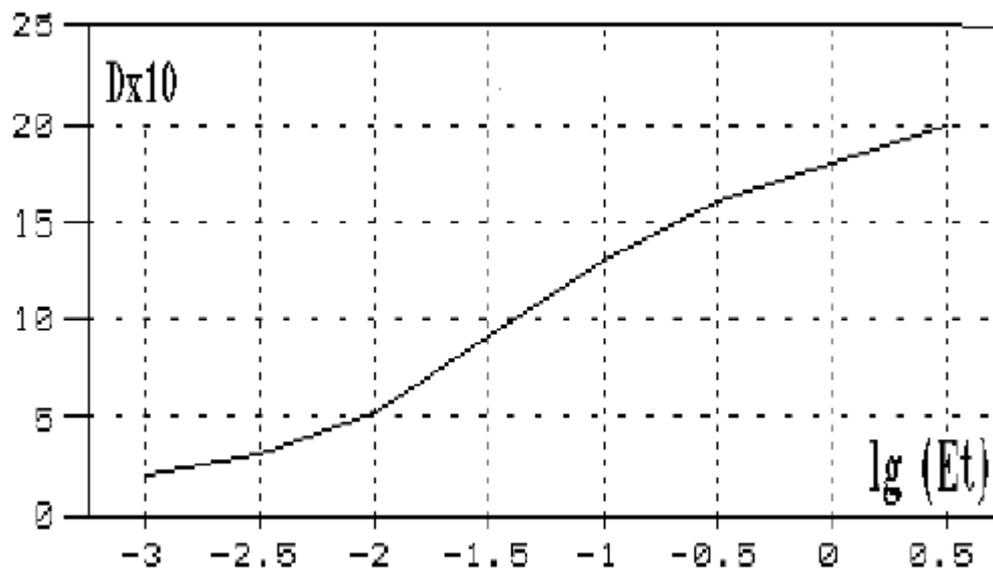
в)

Обработка интерферограммы

- Теоретические ошибки прибора (расчетные формулы)
- Инструментальные ошибки прибора (шкалы, эталоны, установка «0»)
- Ошибки от приемника изображения (или излучения)

Источники погрешностей ОИ, связанных с приемником излучения

- Чувствительность приемника



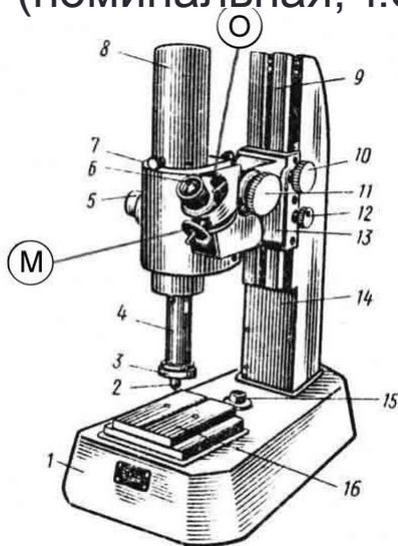
- Инерционность
- Разрешающая способность

Способы обработки результатов измерений

ИЗМЕРЕНИЕ

**В технике /
В цеховых условиях**

1-3 отсчета +
погрешность прибора
(номинальная, т.е. паспортная)



Общий вид длиномера ИЗВ – 2

**В лабораторных условиях /
В эксперименте**

Условия эксперимента+
Серия отсчетов+
Обработка результатов –
Систематические ошибки

$\delta_{\text{ИЗВ}} = \pm (0,001 + L/200\,000)$ мм,
где L – измеряемая длина.

Способы обработки результатов измерений

- **Истинное значение искомой величины**
– среднее арифметическое из полученных результатов

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- **Среднее квадратическое отклонение**

$$\sigma_x = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n-1}},$$

$$V_i = x_i - \bar{x}.$$

Способы обработки результатов измерений

- Точность результата измерения

$$S_{\bar{x}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n(n-1)}} = \pm \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

- Результат измерения

$$Q = \bar{x} \pm S_{\bar{x}}$$