



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени Н.Э. БАУМАНА

Учебное пособие

Методическое пособие для подготовки к экзамену по курсу

«Метрология и технические измерения в производстве ЭС»

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени Н.Э. БАУМАНА

Методическое пособие для подготовки к экзамену по курсу

«Метрология и технические измерения в производстве ЭС»

Москва
МГТУ имени Н.Э. Баумана

2012

УДК 681.3.06(075.8)

ББК 32.973-018

И201

Методическое пособие для подготовки к экзамену по курсу «Метрология и технические измерения в производстве ЭС» / Коллектив авторов –

М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 73 с.: ил.

В курсе лекций рассмотрены основные этапы курса «Метрология и технические измерения в производстве ЭС».

Ил. 39. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.3.06(075.8)

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012

АННОТАЦИЯ

В методическом пособии рассмотрены основные темы курса «Метрология и технические измерения в производстве ЭС» такие как: виды измерительных приборов, предназначенных для измерения геометрических величин, приборы и способы измерения номиналов электронной радио аппаратуры на примере резисторов, законы распределения погрешностей и зависимость точности измерения погрешности от количества измерений.

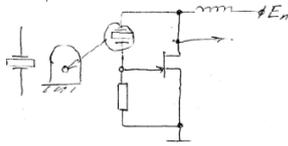
ANNOTATION

The policy manual addressed the main themes of the course "Metrology and measurement technology in the production of ES 'such as: types of measuring instruments for measuring geometric quantities, instruments and methods of measuring radio ratings electronic equipment for example resistors, the laws of distribution of errors and the dependence of the accuracy of the measurement error of number of measurements.

33. Метод кварцевого резонатора.

В качестве свидетеля служит кварц – кварцевый резонатор включен в схему генератора.

Кварц – кристалл кварца помещен между 2мя электродами и включен в схему с обр. связью представляющую аналог механического устройства типа камертона



Если на кварц напылять слой то резонансная частота будет изменяться пропорционально массе слоя.

Рабочая частота приблизительно 10 ГГц, сдвиг частот 10-100 МГц. Разрешающая способность 3-5нм

Погрешность 2%; при необходимости получения 1% - термостатировка кварца.

Это наиболее распространенный метод контроля слоя.

1. Методы измерений.

Методы измерений – это прием или совокупность приемов, сравнение измеряемой величины физической величины с ее единицей.

Методы измерений подразделяются на

1. по общим приемам получения результатов измерения

прямые

косвенные

2. по условиям измерения

контактные

бесконтактные

совместные

3. по способу сравнения измеряемой величины с ее единицей

методы непосредственной оценки

методы сравнения с массой (веса – гири и продукт)

2. Состав погрешности измерения.

1. **Погрешность** – это отклонение результата измерений от истинного значения измеряемой величины. Погрешности из средств измерений классифицируются на

- 1) по свойствам
 - грубые
 - систематические
 - случайные
- 2) по причине возникновения
 - инструментальная
 - методическая
 - субъективная

Абсолютная погрешность равна разнице между фактическим результатом измерений (A) и истинным значением измеряемой величины (Хист).

$$\Delta = A - \text{Хист}$$

Предельная допустимая абсолютная погрешность прибора

$$\Delta_{\text{max}} = C$$

Относительная погрешность – это выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности прибора к истинному значению величины.

$$((A - \text{Хист}) / \text{Хист}) * 100\%$$

$$\delta = \Delta / \text{Хист}$$

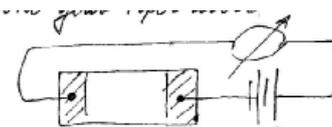
Грубая погрешность (промах) – это погрешность, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях.

Систематическая погрешность – это погрешность, остающаяся постоянной при повторных измерениях одной и той же величины.

Случайная погрешность – это погрешность измерений, изменяющаяся случайным образом в серии повторных измерений одной и той же величины.

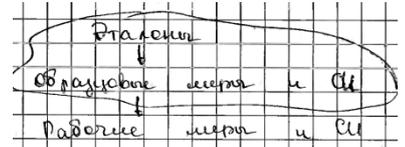
31. Резистивный метод контроля толщины пленки.

В реактор рядом с пластиной устанавливают контрольную пластину из диэлектрика -> свидетель на края которого напыляют проводящие электроды, толщину напыления слоя контролируют по величине омического сопротивления. Метод применим только для проводящих слоев.



3. Поверочная схема.

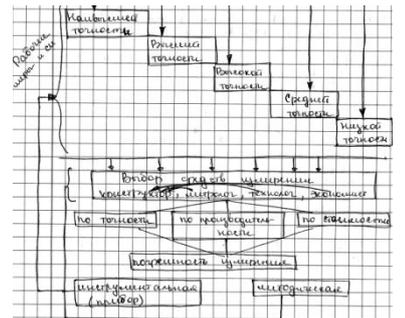
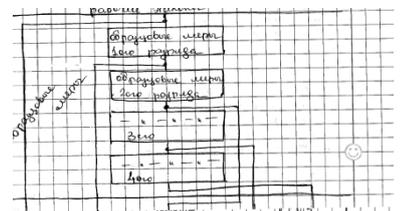
Поверочная схема – гос. стандарт, регламентирующий передачу размера единицы физической величины от эталона через образцовые меры к рабочим средствам измерения.



Эталон – физическое тело или устройство, предназначенное для воспроизведения единицы физической величины.

Образцовые меры и средства измерения (СИ) – для передачи единицы физической величины рабочим мерам и средствам измерения.

Рабочие меры и СИ – для выполнения измерений.



34. Автоматизация наведения на край объекта.



При фотоэлектрическом наведении удается найти приблизительно некоторую точку, положение которой почти не зависит от расфокусировки и уровня освещенности. Для этого достаточно определить максимальный и минимальный световой поток и найти среднее между ними.

4. Методическая погрешность.

Методическая погрешность отражает несовершенство или упрощение методики измерений.

Методическая погрешность возникает, например, при проведении дискретных измерений взамен непрерывных, при отличии реальной схемы измерения от теоретической, и также из-за взаимного влияния прибора и объекта измерений и др.

При отличии реальной схемы измерения от теоретической методическая погрешность проявляется в погрешности взаимного положения детали и прибора и зависит от базирования детали.

Погрешность, возникающая из-за взаимного влияния прибора и детали, наиболее значительна при контактном способе измерения, когда действие измерительного усилия может вызвать деформации объекта: изгиб, сжатие. Для исключения этой погрешности необходимо проводить бесконтактные измерения, а для ее уменьшения выбирать для измерения приборы с малым измерительным усилием, например электронную измерительную систему с индуктивным преобразователем.

5. Единство измерений.

Единство измерений – такое состояние измерений, при котором используются узаконненные единицы и известна погрешность измерения.

Единство измерений обеспечивается поэтапным стечением к средству измерения, находящихся на различных уровнях **поверочной схемы**.

6. Погрешность измерения.

Точность измерений характеризуют погрешностью измерений, которая представляет собой разность между результатом измерения и истинным значением измеряемой величины.

Погрешность измерения зависит от погрешности средств измерения, методики проведения измерений, субъективных особенностей оператора и условий измерения. Поэтому погрешность измерения включает следующие составляющие: **инструментальную, методическую и субъективную**.

7. Погрешность прибора и погрешность измерения.

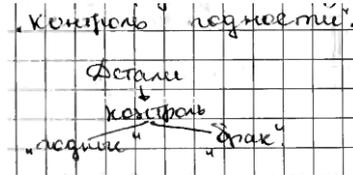
Погрешность средства измерения возникает вследствие несовершенства конструкций, неточности изготовления, погрешностей градуировки и тп. В техническом паспорте указывают предел допускаемой погрешности прибора, т.е. наибольшую погрешность, при которой прибор можно использовать для измерения.

Для большинства приборов погрешность нормируют по участкам диапазона измерений или задают в виде функции длины.

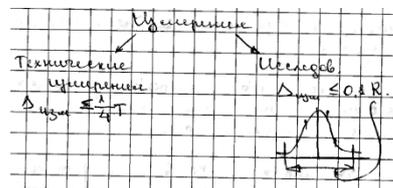
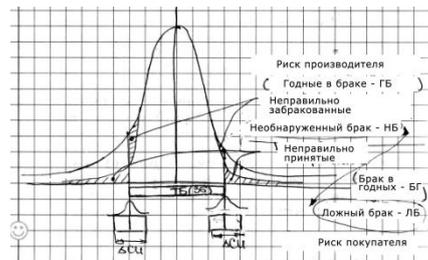
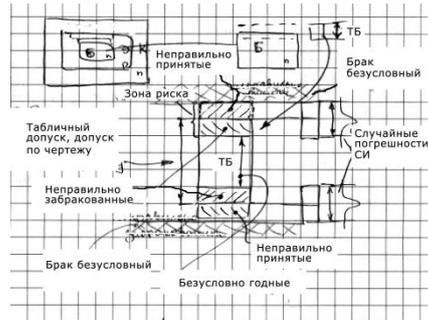
Под погрешностью концевой меры понимают разность между номинальным значением меры, указанным в ней, и ее действительным значением.

9. Достоверность контроля.

Цель технических измерений – установление соответствия действительного размера заданным предельным значениям.



Детали, находящиеся в **зоне риска** могут быть забракованы как правильно так и не правильно.



12. Обнаружение систематической погрешности.

Систематическая погрешность приводит к смещению среднего арифметического значения относительно истинного значения, т.е. представляет собой разность среднего арифметического и истинного значений измеряемой величины.

$$\Delta_{\text{сист}} = \bar{X} - X_{\text{ист}}$$

Поскольку истинное значение неизвестно, для обнаружения (оценки) систематической погрешности на практике вместо истинного значения используют действительное значение величины и за систематическую погрешность принимают разность между средним арифметическим и действительным значением.

$$\Delta_{\text{сист}} = \bar{X} - X_{\text{действ}}$$

Методы обнаружения и устранения систематической погрешности:

- 1) Сопоставление данного результата с результатом более точного измерения, полученным другим методом или более точным средством измерения.
- 2) Сравнение результатов измерения детали и образца.

Заранее аттестованный образец и деталь измеряют в одних и тех же условиях одним и тем же средством измерения.

$$\Delta_{\text{сист}} = \bar{L}_{\text{обр}}^{\text{изм}} - \bar{L}_{\text{обр}}^{\text{действ}}$$

- 3) Метод компенсации систематической погрешности по знаку. Наблюдения осуществляют таким образом, чтобы погрешность измерения при втором наблюдении вошла в результат с противоположным знаком.

13. Случайная погрешность.

Случайная погрешность – непостоянные по знаку и значению погрешности, которые возникают при повторных измерениях одной и той же величины в зависимости от случайных обстоятельств.

Случайные погрешности вызываются множеством изменяющихся случайным образом факторов, причем ни один из этих факторов не является доминирующим.

20. Обнаружение случайной погрешности.

Оценку случайных погрешностей производят с помощью теории вероятности и математической статистики.

Рассеивание результатов многократных наблюдений чаще всего подчиняется закону нормального распределения Гаусса, для которого плотность вероятности определяется уравнением

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

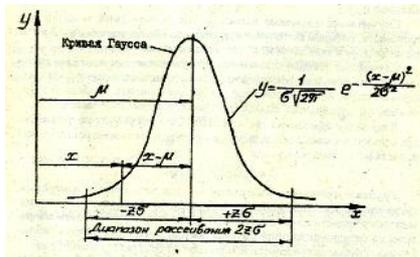
где μ и σ – параметры распределения.

μ – математическое ожидание – центр группирования результатов наблюдения.

σ – среднее квадратичное отклонение, характ. Величину рассеивания рез-в наблюдения, т.е. точность наблюдения

$$\Delta = \pm z\sigma$$

z – коэффициент, равный значению функции Лапласа.



Случайные погрешности превышающие по значению 3σ , считаются грубыми. Их исключают из результатов измерения.

На практике используют эмпирические оценки:

$$\text{Среднее арифметическое: } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$\text{Среднее квадратичное: } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

За оценку случайной погрешности результата измерений принимают доверительный интервал среднего арифметического.

$$\Delta_{\text{случ}} = \pm t S \bar{X} = \pm t \frac{S}{\sqrt{n}}$$

10. 14. Классы точности КМ

Класс определяет величину допуска на изготовление мер. В зависимости от величины отклонения длины мер от номинального размера и плоскопараллельности устанавливаются четыре класса концевых мер: 0; 1; 2; 3-й. Для концевых мер, находящихся в эксплуатации, устанавливаются дополнительные классы: 4; 5-й.

Класс-допуск: 00-0.05; 0-0.07; 1-0.1; 2-0.2; ...

Разряд определяет погрешность аттестации меры (определение действительного значения). В зависимости от погрешности (по точности определения отклонений) действительного значения длины мер и отклонения их от плоскопараллельности устанавливаются пять разрядов: 1; 2; 3; 4; 5-й. У мер первого разряда отклонения определены с наименьшей погрешностью.

Разряд – погрешность: 1-0.02; 2-0.05; 3-0.07; 4-0.1; ...

Блок концевых мер может быть набран «по классу» или «по разряду».

11. Суммирование погрешностей

При анализе погрешности измерения или при расчете надо учитывать, что систематическая и случайная погрешности суммируются по-разному. Систематические – алгебраически (с учетом знака)

$$\Delta_{\text{сист}} = \Delta_{\text{инстр.сист.}} + \Delta_{\text{мет.сист.}} + \Delta_{\text{суб.сист.}}$$

, а случайные – квадратически

$$\Delta_{\text{случ}} = \sqrt{\Delta_{\text{инстр.случ.}}^2 + \Delta_{\text{мет.случ.}}^2 + \Delta_{\text{суб.случ.}}^2}$$

Погрешность косвенных измерений искомой величины подсчитывают на основании погрешностей величин, подвергнутых прямым измерениям с учетом коэф. влияния.

$$\Delta_{\text{сист}} y = \left(\frac{\partial f}{\partial a} \Delta_{\text{сист}} a + \frac{\partial f}{\partial b} \Delta_{\text{сист}} b + \dots + \frac{\partial f}{\partial h} \Delta_{\text{сист}} h \right);$$

$$S_y = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a} \right)^2 S_a^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b} \right)^2 S_b^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial h} \right)^2 S_h^2};$$

$$\Delta_{\text{случ}} y = \pm t S_y.$$

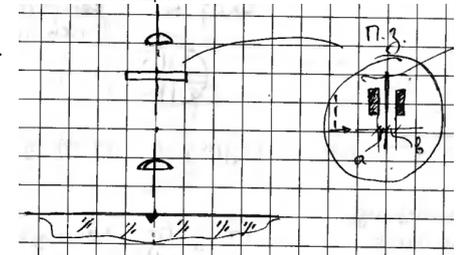
18. Концевые меры

Концевая мера длины (КМД) – проверочная мера длины (эталон) от 0,1 до 2000 мм, выполненная из прямоугольного параллелепипеда или кругового цилиндра, с достаточно точным размером между измеряемыми поверхностями. За размер принимается срединная длина – длина перпендикуляра, опущенного из середины одной измерительной поверхности на другую.

Концевыми мерами проверяют или настраивают на размер измерительный инструмент (микрометр, калибр, индикатор часового типа, индикатор рычажного типа, синусная линейка и т.д.). В случае когда нет необходимой длины концевой меры из набора, можно сложить в ряд несколько концевых мер для получения необходимого размера. Точность – до третьего десятичного знака. Блок составляется притиркой мер друг к другу. Блок концевых мер может быть набран «по классу» или «по разряду».

25. Систематическая погрешность при наведении на край элемента.

Наведение на край: визуальное или фотоэлектрическое. Наведение на край элемента значительно отличается от наведения на штрих. Визуальное наведение на край создает значительные субъективные погрешности, величина которых зависит от формы пограничной кривой, которая в свою очередь зависит от навыков оператора и качества освещения.



(наведение на штрих - немного не то)

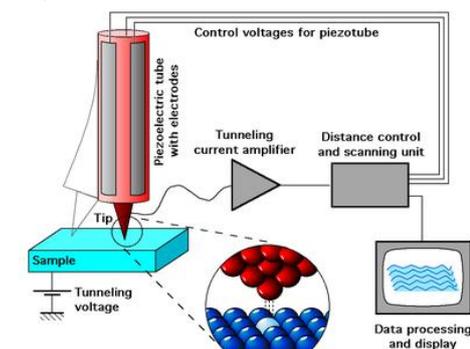
26. 39. Сканирующий туннельный микроскоп

– прибор, предназначенный для измерения рельефа проводящих поверхностей с высоким пространственным разрешением. В СТМ острая металлическая игла подводится к образцу на расстояние нескольких ангстрем. При подаче на иглу относительно образца небольшого потенциала возникает туннельный ток. Величина этого тока экспоненциально зависит от расстояния образце-игла. Типичные значения 1-1000 пА при расстояниях около 1 А.

В процессе сканирования игла движется вдоль образца, туннельный ток поддерживается стабильным за счёт действия обратной связи, и удлинение следящей системы меняется в зависимости от топографии поверхности. Такие изменения фиксируются, и на их основе строится карта высот.

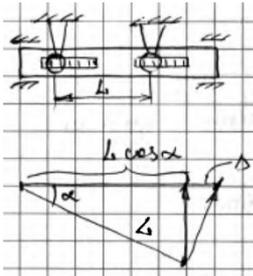
-поверхностное сопротивление должно быть не больше 20 МОм/см
-глубина канавки должна быть меньше её ширины) (в противном случае может наблюдаться туннелирование с боковых поверхностей) –необходим вакуум

СТМ был изобретен в начале 1980-х годов Гердом Биннигом и Генрихом Рорером, которые в 1986 году за это изобретение получили Нобелевскую премию по физике.



27. 28. 36. 37. Компараторная погрешность при (не)соблюдении принципа Аббе.

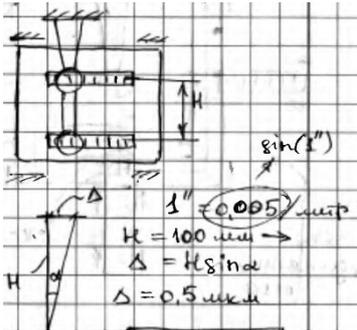
Принцип Аббе (компараторный принцип, принцип последовательного расположения): необходимо, чтобы на одной прямой линии располагали ось шкалы прибора и контролируемый размер проверяемой детали, т. е. линия измерения должна являться продолжением линии шкалы. Если этот принцип не выдерживается, то перекося и не параллельность направляющих измерительного прибора вызывают значительные погрешности измерения. При соблюдении принципа Аббе погрешностями, вызываемыми перекосями, можно пренебречь, так как они являются ошибками второго порядка малости. Продольный компаратор (соблюдение принципа):



$$\Delta = L - L \cos \alpha = L(1 - \cos \alpha) = \frac{2L \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{2}$$

$$\Delta = 2 \cdot 100 \cdot 0,005^2 = 0,0005 = 0,5 \text{ мкм} \rightarrow$$

Погрешность получается величиной второго порядка малости. Поперечный компаратор (несоблюдение принципа):

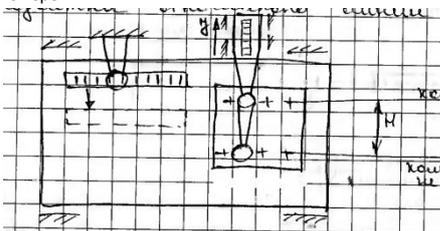


$$H = 100 \text{ мм}$$

$$\Delta = H \sin \alpha$$

$$\Delta = 0,5 \text{ мкм}$$

При использовании традиционной компоновки в устройствах работающих по 2м координатам, компараторный принцип выполнен быть не может, т.к. одна из шкал подвижна относительно линии измерения.



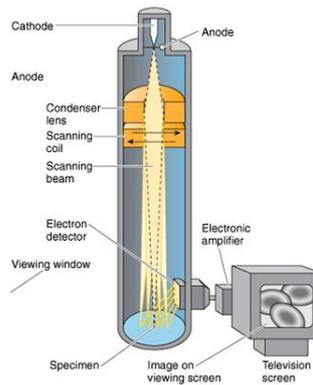
32. Сканирующий электронный микроскоп

-прибор, позволяющий получать изображения поверхности образца с большим разрешением (несколько нанометров). Позволяет получать информацию о химическом составе поверхности. Исследуемый образец в условиях высокого вакуума сканируется сфокусированным электронным пучком средних энергий.

Обычно для получения информации о структуре поверхности используются вторичные (отраженные) электроны. Для определения вторичных электронов используется специальный .

Первичные электроны, падающие на образец, взаимодействуют с электронами внешних оболочек атомов мишени, передавая им часть своей энергии. Происходит ионизация атомов образца, а высвобождающиеся в этом случае электроны могут покинуть образец и быть выявлены в виде вторичных электронов.

Пространственное разрешение сканирующего электронного микроскопа зависит от поперечного размера электронного пучка, который в свою очередь зависит от электронно-оптической системы, фокусирующей пучок.



Cathode, Anode, Condenser lens, Scanning coil, Scanning beam, Electron detector, Viewing window, Specimen, Image on viewing screen, Electronic amplifier, Television screen

ВЫВОДЫ

В методическом пособии рассмотрены основные темы курса «Метрология и технические измерения в производстве ЭС» такие как: виды измерительных приборов, предназначенных для измерения геометрических величин, приборы и способы измерения номиналов электронной радио аппаратуры на примере резисторов, законы распределения погрешностей и зависимость точности измерения погрешности от количества измерений.