



# Метрология, стандартизация и сертификация

Калеев Дмитрий Вячеславович  
кафедра ВТ

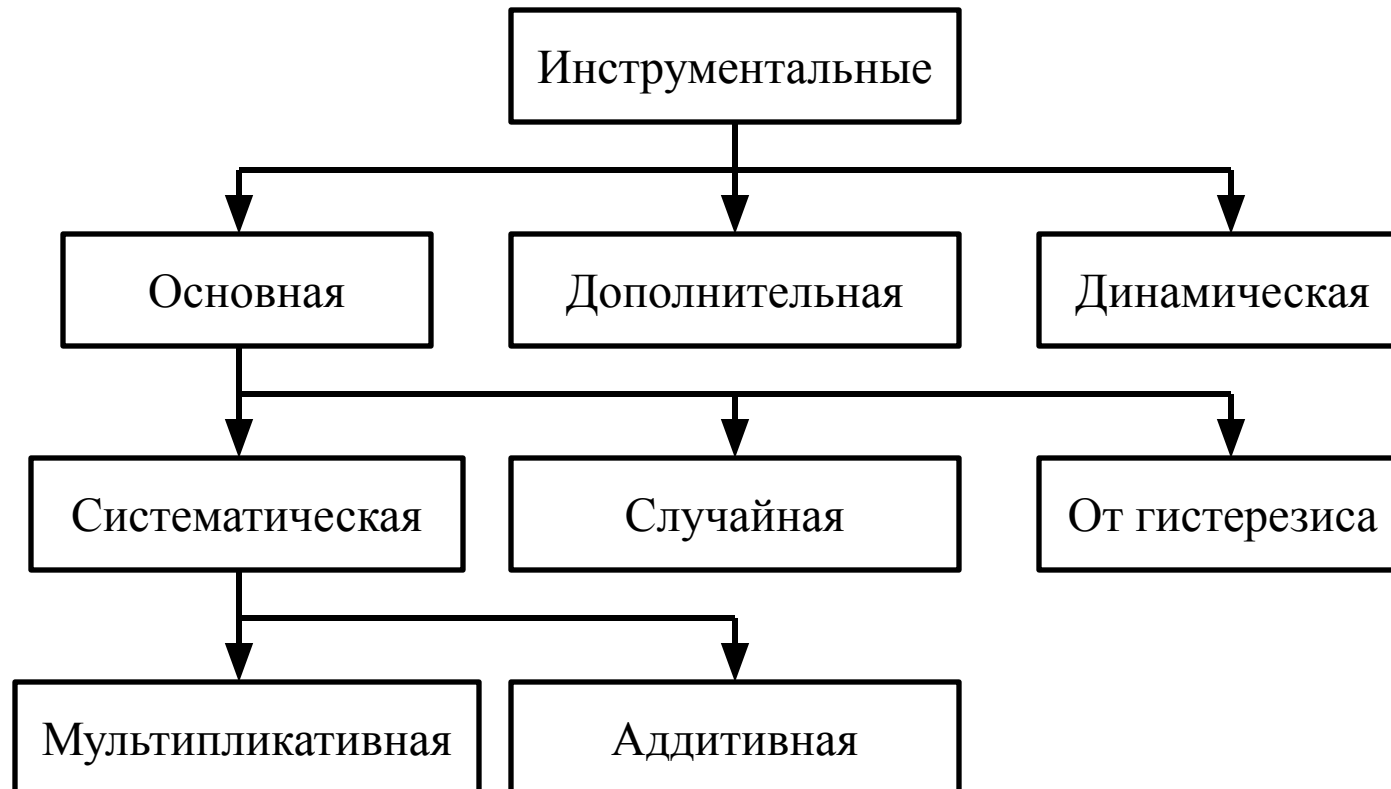
Лекции 6  
«Инструментальные погрешности»





## Инструментальные погрешности

***Инструментальная погрешность*** – составляющая погрешности измерений, зависящая от несовершенства используемых средств измерений.





### Инструментальные погрешности

***Метрологические характеристики СИ*** – это характеристики, оказывающие влияние на результаты и погрешности измерений

***Нормируемые метрологические характеристики СИ*** – это комплекс метрологических характеристик, устанавливаемых в нормативной документации на СИ конкретного типа

***Нормирование метрологических характеристик*** – это установление границ на допустимые отклонения реальных метрологических характеристик СИ от их номинальных значений.

Нормирование МХ проводится в соответствии с ГОСТ 8.009.84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений»

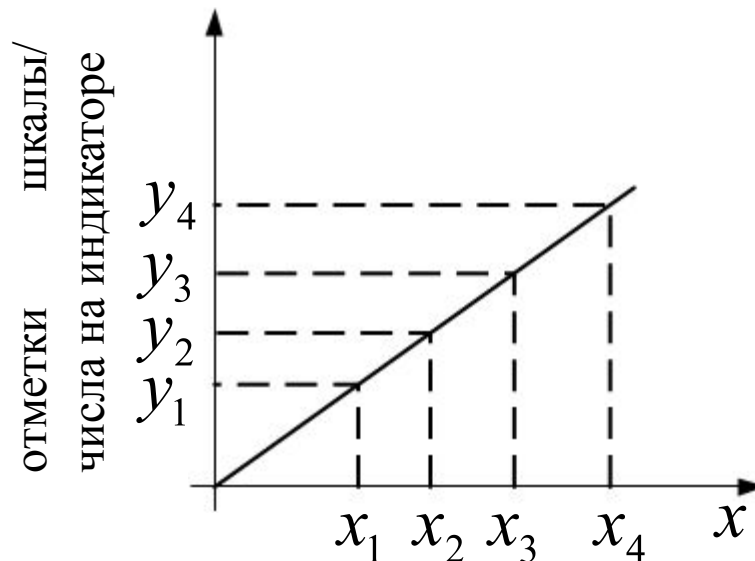


## Инструментальные погрешности

**Функция преобразования** (статическая характеристика преобразования, градуировочная характеристика) – функциональная зависимость между информативными параметрами выходного и входного сигналов средств измерений.

$$Y = F(x)$$

**Номинальная функция преобразования** – функция преобразования, установленная в нормативной документации на данное средство измерений (тип)



$$\Delta = y_p - y_\delta$$



## Инструментальные погрешности

**Основная погрешность** – погрешность средства измерения в нормальных условиях

$$\Delta_{\text{н.у.}} = y_p - y_d$$

**Дополнительная погрешность** – изменение основной погрешности средства измерения при отклонении влияющей величины от нормального значения либо выходе его за пределы нормальной области значений

$$\Delta_{\text{н.н.у.}} = y_p - y_d$$

**Динамическая погрешность СИ** – погрешность, возникающая при условии, если измеряемая физическая величина изменяется во времени со скоростью, сравнимой с быстродействием СИ



## Инструментальные погрешности

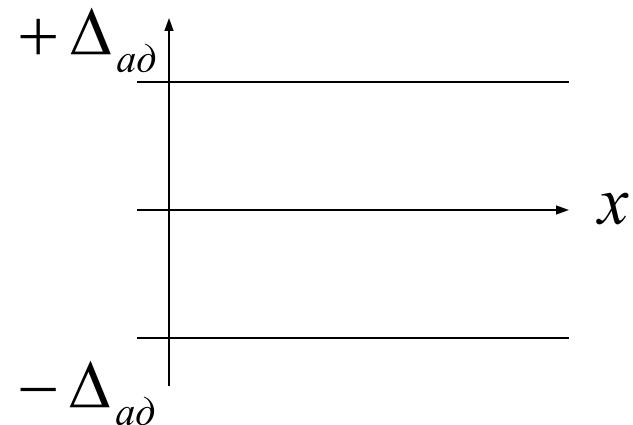
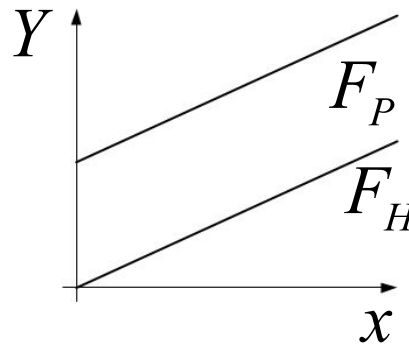
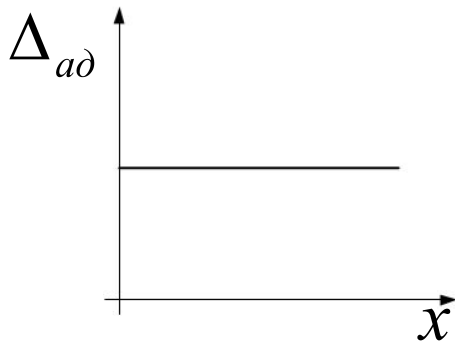
**Аддитивная погрешность** – это погрешность СИ, не зависящая от значения измеряемой величины.

**Мультипликативная погрешность** – это погрешность СИ, которая зависит от значения измеряемой величины.

$\Delta_{ad}$  – аддитивная погрешность

$F_H$  – номинальная функция преобразования

$F_P$  – реальная функция преобразования

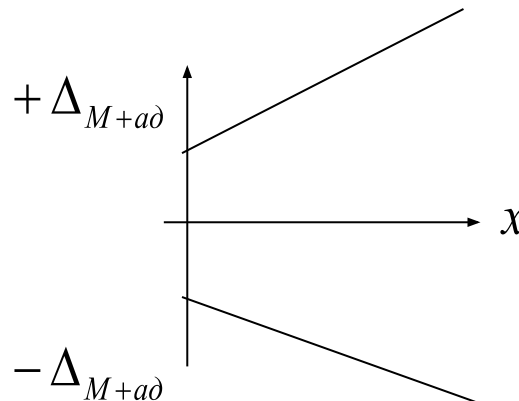
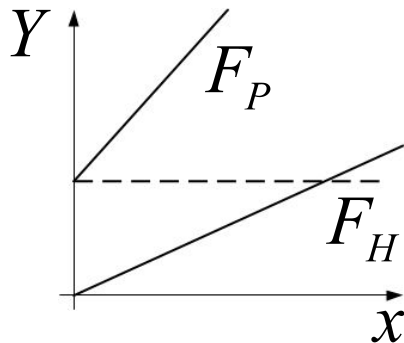
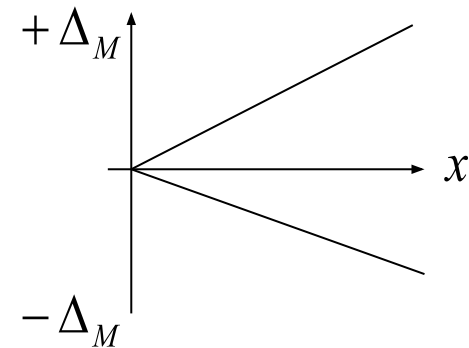
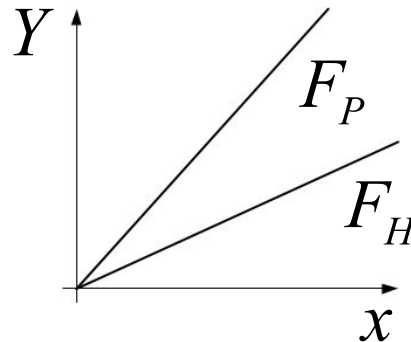
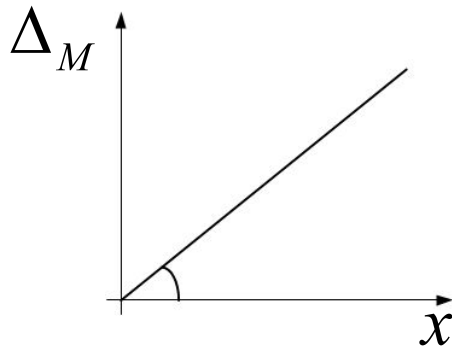




## Инструментальные погрешности

$\Delta_M$  – мультипликативная погрешность     $F_H$  – номинальная функция преобразования

$F_P$  – реальная функция преобразования





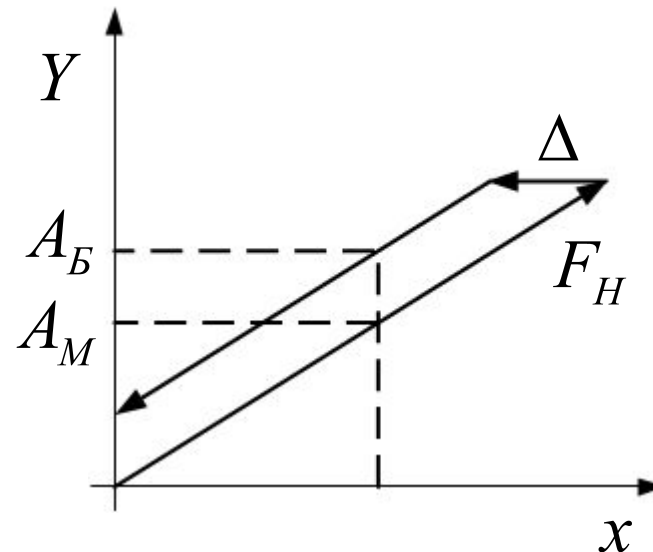
## Инструментальные погрешности

**Вариация показаний** – это различие в показаниях в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе к этой точке со стороны меньших и больших значений измеряемой величины

$$H_P = |A_M - A_B|$$

$$H_P = |\overline{A}_M - \overline{A}_B|$$

- Возникают в аналоговых СИ;
- Только экспериментальная оценка;

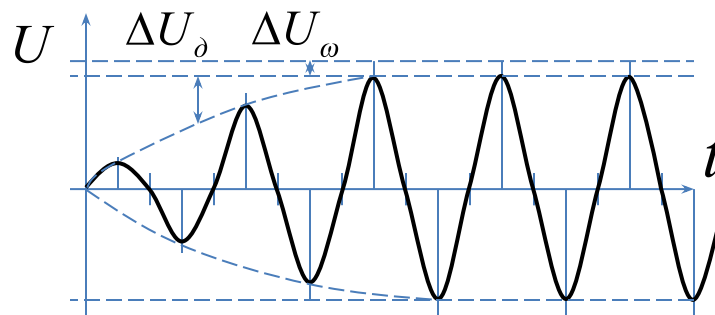
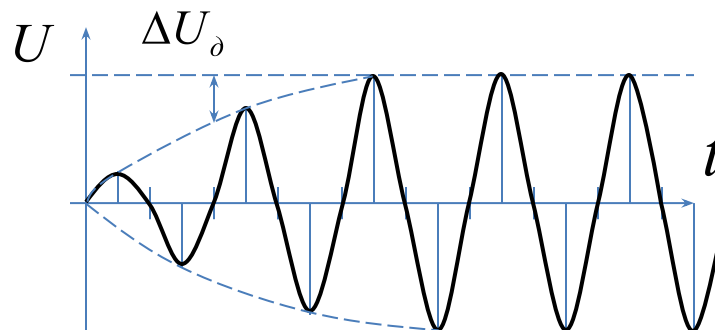
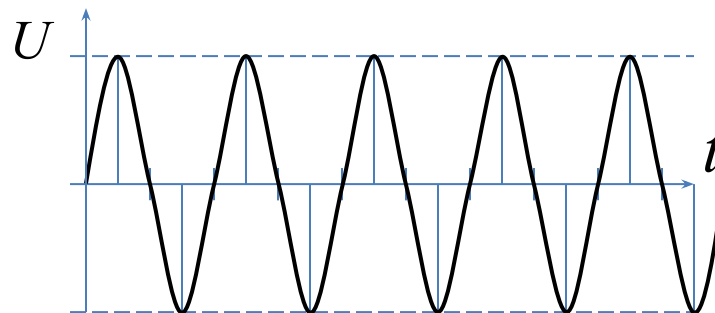
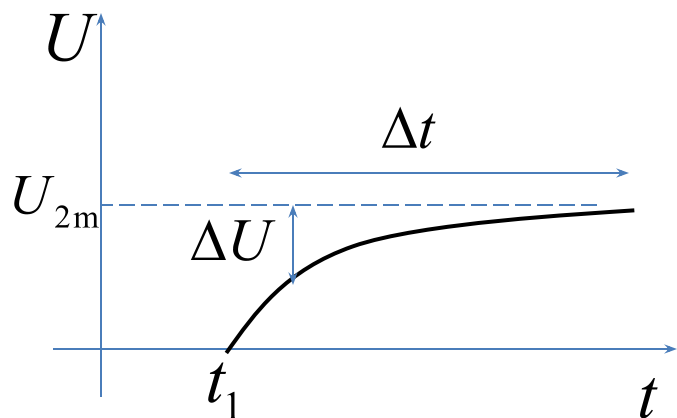
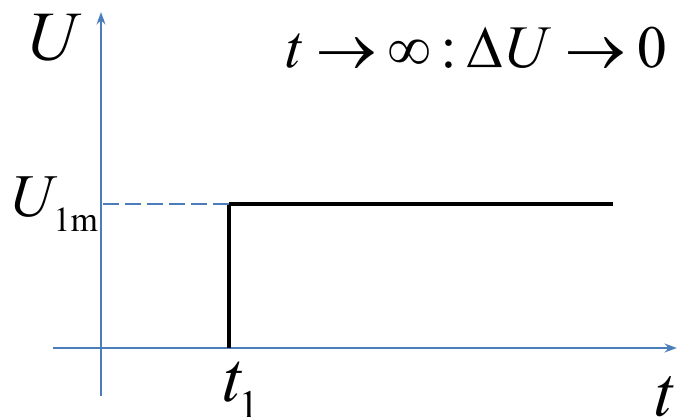




## Инструментальные погрешности

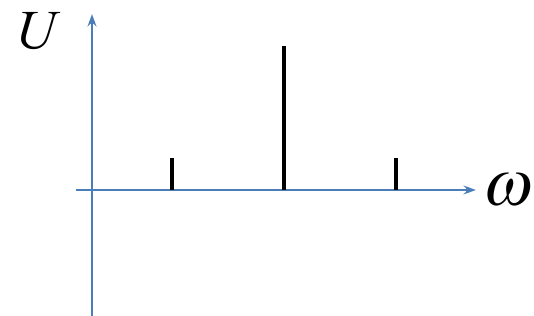
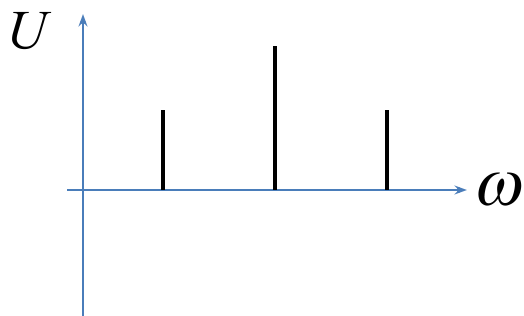
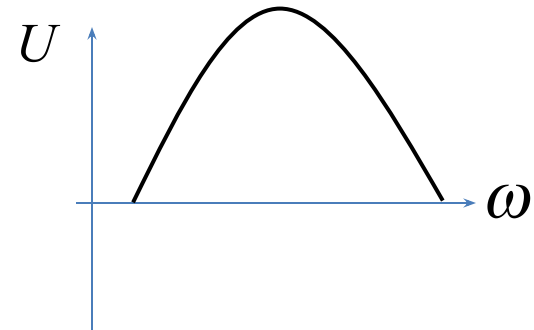
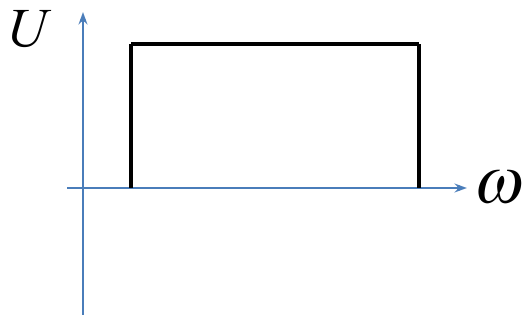
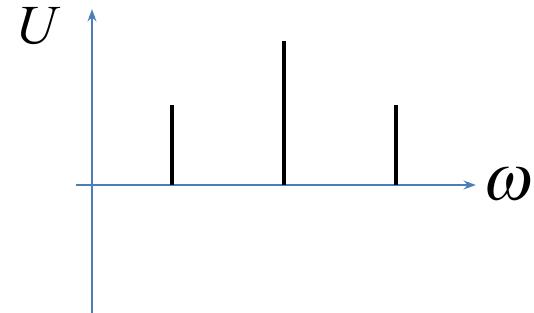
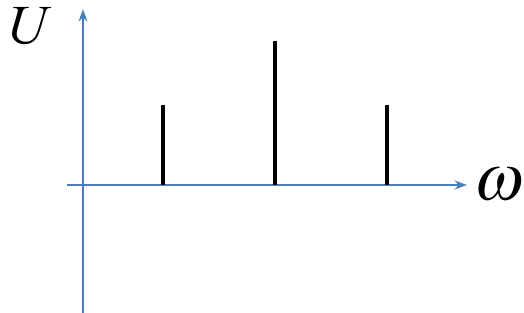
$$U_{2m} = kU_{1m}$$

$$t \rightarrow \infty : \Delta U \rightarrow 0$$





## Инструментальные погрешности





## Инструментальные погрешности

Дифференциальное уравнение m-ого порядка

$$b_m \frac{\partial^m y(t)}{\partial t^m} + b_{m-1} \frac{\partial^{m-1} y(t)}{\partial t^{m-1}} + \dots + b_i \frac{\partial^i y(t)}{\partial t^i} + \dots + y(t) = kx(t)$$

Безынерционный преобразователь

$$y(t) = kx(t) + a$$

Передаточная характеристика

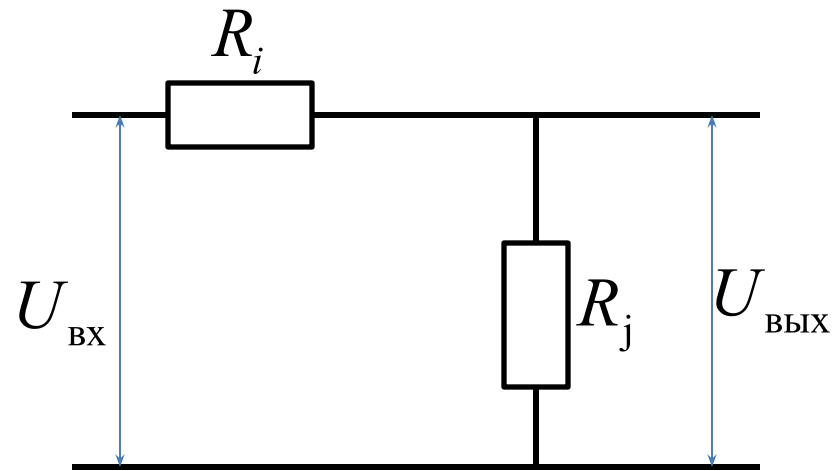
$$G(j\omega) = k$$

$$\text{АЧХ} \quad A(\omega) = k$$

$$\text{ФЧХ} \quad \varphi(\omega) = 0$$

**Переходная характеристика** - временная зависимость выходного сигнала, полученная в результате подачи на вход измерительного преобразователя сигнала в виде единичной функции с заданной амплитудой

$$y(t) = 0$$





## Инструментальные погрешности

Динамическое звено первого порядка

$$T \frac{\partial y(t)}{\partial t} + y(t) = kx(t)$$

Передаточная характеристика

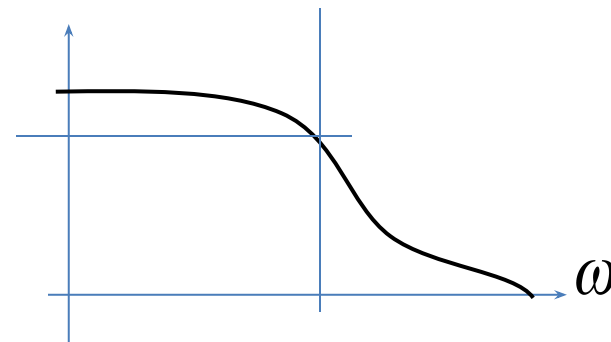
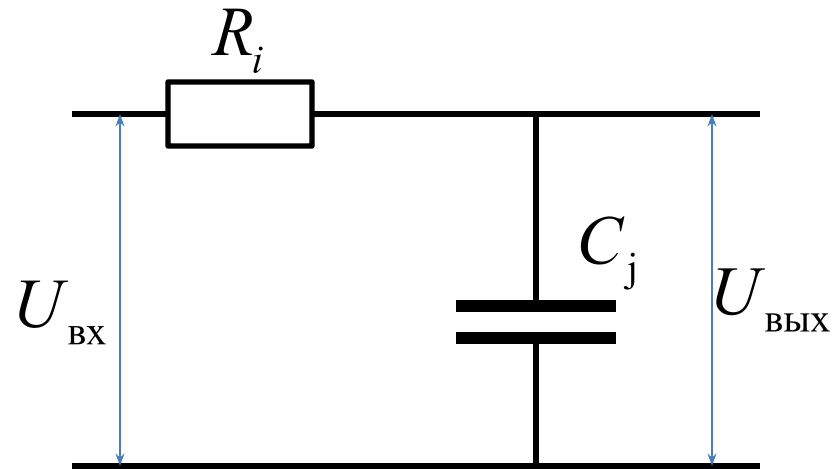
$$G(j\omega) = \frac{k}{1 + j\omega T}$$

АЧХ  $A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}}$

ФЧХ  $\varphi(\omega) = -\arctg(\omega T)$

Переходная характеристика

$$y = y_0(1 - e^{-t/T})$$





## Инструментальные погрешности

**Неисправленный результат измерения** – результат, полученный при наличии систематических погрешностей

$$\overline{X'} = \frac{1}{n} \sum X'_i; \quad \text{Неисправленное среднее арифметическое}$$

$$v'_i = X'_i - \overline{X'}. \quad \text{Неисправленное отклонение от ср. ар.}$$

$$M[\overline{X'}] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M[X'_i] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M[X_i + \Theta_i] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M[X_i] + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M[\Theta_i] = Q + \Theta;$$

$$\Theta = M[\overline{X'}] - Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Theta_i.$$

$$v'_i - v_i = (X'_i - \overline{X'}) - (X_i - \overline{X}) = (X'_i - X_i) - (\overline{X'} - \overline{X}) =$$

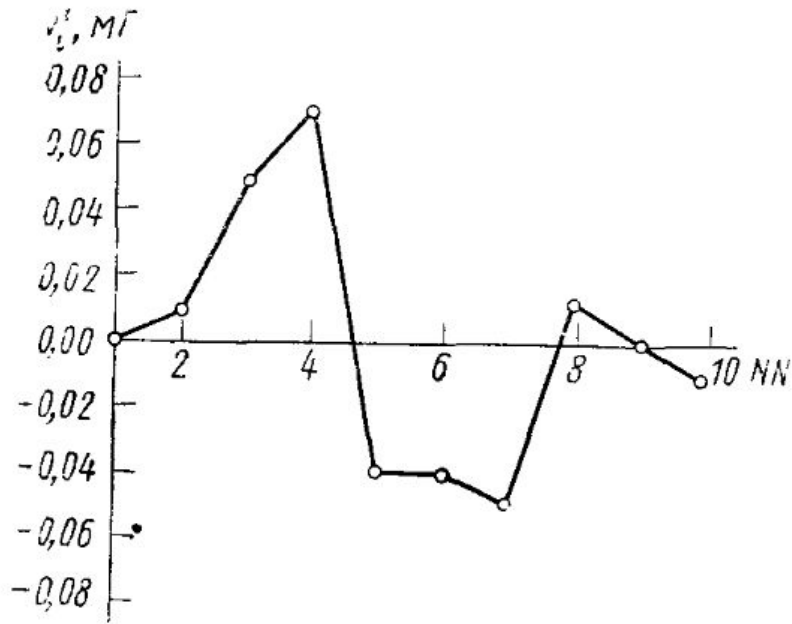
$$= \Theta_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Theta_i = \Theta_i - \Theta$$

$$q_i = -\Theta_i$$



## Инструментальные погрешности

### Способы обнаружения систематических погрешностей

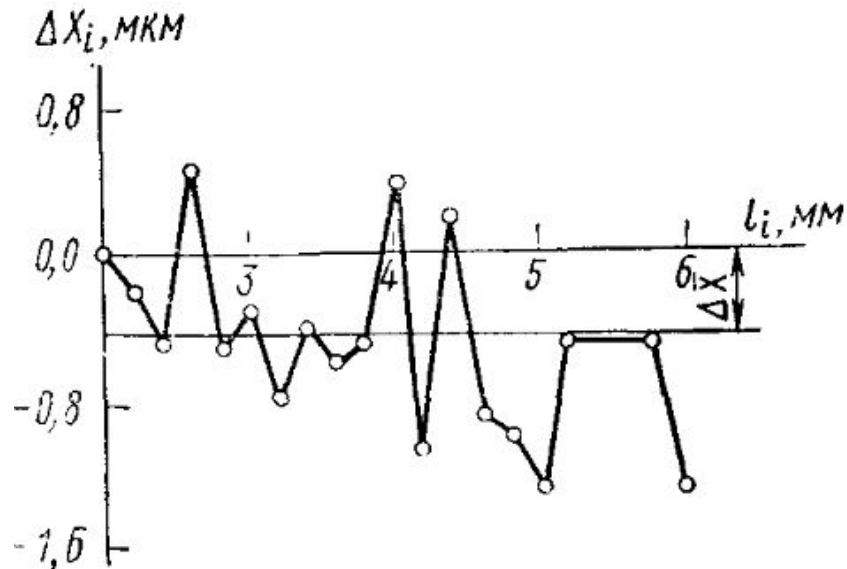


*Если неисправленные отклонения результатов наблюдений резко изменяются при изменении условий наблюдений, то данные результаты содержат постоянную систематическую погрешность, зависящую от условий наблюдений.*



## Инструментальные погрешности

## Способы обнаружения систематических погрешностей



+ + - + - + - + -  
- + - + - - - - -

*Ряд результатов наблюдений обнаруживает прогрессивную погрешность, если последовательность знаков плюс сменяется последовательностью знаков минус или наоборот, и периодическую погрешность, если группы знаков плюс и минус чередуются*

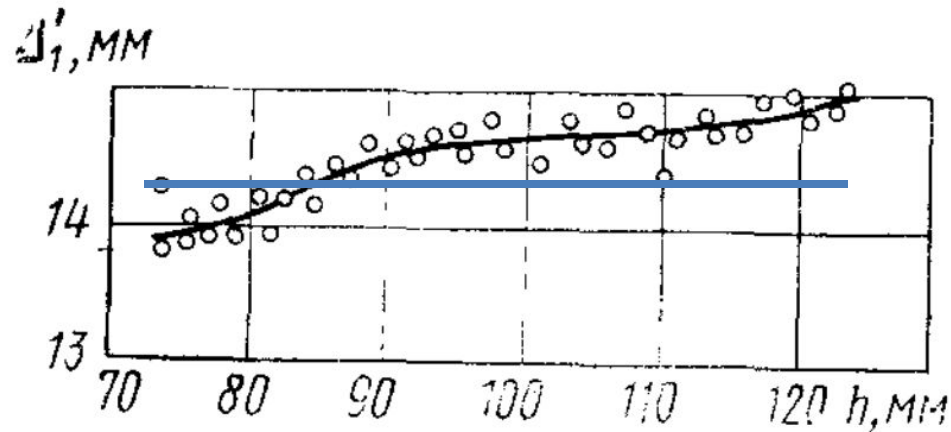


## Инструментальные погрешности

## Введение поправок

*Для исправления результатов наблюдений их складывают с поправками, равными систематическим погрешностям по величине и обратным им по знаку.*

$$X_i = X'_i + q_i \quad X_i = X'_i + \bar{q}$$





## Инструментальные погрешности

## Введение поправок

$$X_i = X'_i + \sum_{j=1}^m q_j$$

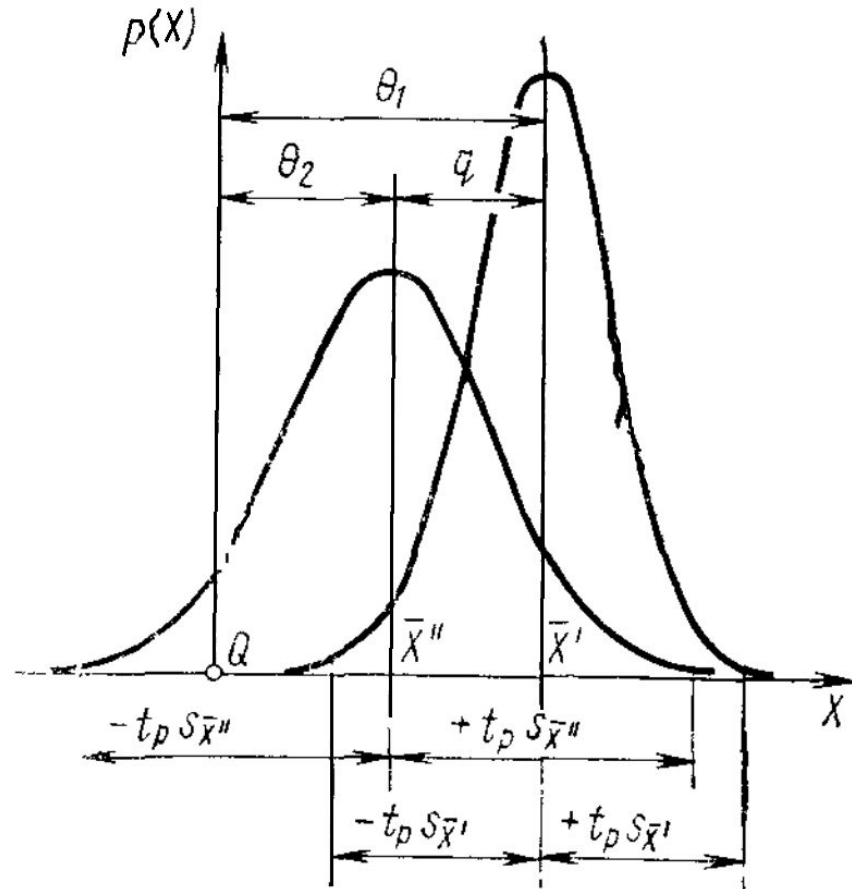
$$s_{X'}^2 = s_{X'}^2 + \sum_{j=1}^m s_j^2$$

$$Q = \bar{X}' \pm t_p s_{\bar{X}'}$$

$$Q = \bar{X}'' \pm t_p s_{\bar{X}''}$$

$$\bar{X}'' = \bar{X}' \pm q,$$

$$s_{\bar{X}''}^2 = s_{\bar{X}'}^2 + s_X^2$$





## Инструментальные погрешности

### Введение поправок

$$\Delta_1 = \Theta_1 + t_P s_{\overline{X}'},$$

$$\Delta_2 = \Theta_2 + t_P s_{\overline{X}''} = \Theta_1 - q + t_P \sqrt{s_{\overline{X}'}^2 + s_q^2}$$

$$\Delta_2 < \Delta_1$$

$$\Theta_1 - q + t_P \sqrt{s_{\overline{X}'}^2 + s_q^2} < \Theta_1 + t_P s_{\overline{X}'},$$

$$q > t_P s_{\overline{X}'} \left[ \sqrt{1 + \frac{s_q^2}{s_{\overline{X}'}^2}} - 1 \right]$$



## Инструментальные погрешности

Метод замещения

$$U_{1u} = 5,345 \text{ В}$$

$$U_{2u} = 5,348 \text{ В}$$

$$\Delta = 0,003 \text{ В}$$

Метод компенсации по знаку

$$U_{\partial} = U_{1u} + \Delta$$

$$U_{\partial} = U_{2u} - \Delta$$

$$U_{1u} + \Delta = U_{2u} - \Delta$$

$$\Delta = \frac{U_{2u} - U_{1u}}{2}$$

Метод рандомизации



### Источники

1. Основы метрологии. Бурдун Г.Д.
2. [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org)
3. РМГ 29-99
4. Основы метрологии и электрические измерения. Душин Е.М.