

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

Демонстрационный вариант

задания заключительного (очного) этапа

по направлению «Измерительная техника и метрология»

Категория участия: «Бакалавриат» (для поступающих в магистратуру)

1) Приведите пример метода измерений замещением; (метод замещения).

Решение: Метод замещения - метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой.

Пример- взвешивание на пружинных весах. Измерение производят в два приема. Вначале на чашу весов помещают взвешиваемую массу и отмечают положение указателя весов; затем массу m_x замещают массой гирь m_0 , подбирая ее так, чтобы указатель весов установился точно в том же положении, что и в первом случае. При этом ясно, что $m_x = m_0$.

2) Определите оценку ошибок контроля, если $IT = 25$ мкм, а оценка погрешности измерения (при измерительном контроле) $\varepsilon = 4$ мкм.

Ответ: $\alpha = 0,00052$; $\beta = 0,00014$

3) Дайте классификацию погрешностей измерения по свойствам.

Решение: По свойствам погрешности делятся на

- Систематические – погрешности постоянные по величине и знаку или закономерно изменяющиеся под влиянием внешних факторов (температура, усилие, базирование и др.)
- Случайные – погрешности, изменяющиеся непредсказуемым образом от измерения к измерению и описываемые методами теории вероятности и математической статистики;
- Грубые (промахи) – погрешности, завышающие или занижающие некоторые результаты измерений на существенную величину, значительно превышающую ожидаемую в данных условиях измерений.

4) Выберите средство измерения для контроля вала $\varnothing 60s6 \begin{matrix} +0,072 \\ +0,053 \end{matrix}$, если оценка методической погрешности равна 3 мкм (измерение по утверждённой методике).

Ответ: Ценра, с индуктивным датчиком (допускаемая погрешность датчика 1 мкм).

5) Цифровой вольтметр класса точности 0,04/0,02 имеет отмеченную в технической документации нижнюю границу для расчета предела допускаемой относительной погрешности, равную 10 В. Какой величине измеряемого вольтметром напряжения (какой точке его шкалы) соответствует значение предела допускаемой относительной погрешности, равное 0,03%?

Ответ: $X = 20 \text{ В}$

6) Предел дополнительной погрешности вольтметра не превышает предела основной погрешности $\Delta_0 = \pm 2\%$ при отклонении температуры от нормальной на каждые 10 °С. В рабочих условиях эксплуатации температура изменяется от 10 до 35 °С. Определите наибольшее возможное значение $\Delta_{с \max}$.

Ответ: Определяем $\Delta_{с \max 1}$ и $\Delta_{с \max 2}$, соответствующие температуре $t_1 = 10 \text{ °С}$ и $t_2 = 35 \text{ °С}$.

$$\Delta_{с \max 1} = \frac{t_{\text{НОМ}} - t_1}{\Delta t} \Delta_0 = \frac{20 - 10}{10} \cdot 2 = \pm 2\%$$

$$\Delta_{с \max 2} = \frac{t_2 - t_{\text{НОМ}}}{\Delta t} \Delta_0 = \frac{35 - 20}{10} \cdot 2 = \pm 3\%$$

В качестве $\Delta_{с \max}$ принимаем значение $\Delta_{с \max 2}$, которое больше значения $\Delta_{с \max 1}$.

7) Определите поправку к результату наблюдения при контроле вала $\varnothing 40h7 \begin{matrix} -0,025 \\ -0,012 \end{matrix}$ в призме с углом $\alpha = 120^\circ$, если результатом наблюдения было -15 мкм, при настройке по эталону равному максимальному предельному размеру. (12 баллов)

Ответ: Поправка определяется по формуле

$$\varepsilon = \Delta \cdot \frac{1 - \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{1 + \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)},$$

где $\Delta = 15 \text{ мкм}$, $\alpha = 120^\circ$

$$\varepsilon = 15 \cdot \frac{1 - \sin(60)}{1 + \sin(60)} = 15 \cdot \frac{1 - 0.866}{1 + 0.866} \approx 1,1$$

8) Для большого числа измерений физической величины получены значения $Mx = 1,27$ и $\sigma = 0,025$. Определите вероятность того, что случайная погрешность Δ_i отдельного измерения x_i не выйдет за пределы выбранного доверительного интервала $\varepsilon = \pm 0,01$, т.е. имеет место неравенство $1,26 \leq x_i \leq 1,28$.

Ответ: Находим значение

$$Z = \frac{x_i - Mx}{\sigma} = \frac{\varepsilon}{\sigma} = \frac{0,01}{0,025} = 0,4.$$

Тогда по таблицам функции Лапласа определяем вероятность $\alpha = 0,155$. Доверительная вероятность $P = 2\alpha = 0,31$. Таким образом, только около 30% общего числа измерений будут иметь погрешность, не превышающую $\pm 0,01$.

9) Предложите модели оценок ошибок многомерного контроля. Определите значение оценок двумерного (по двум параметрам одновременно) контроля, если вероятность ошибки контроля 1-го рода каждого параметра $\alpha = 0,01$, а 2-го рода $\beta = 0,002$.

Ответ: При определении ошибки 1-го рода предлагается модель совместного события, тогда вероятность общей ошибки 1-го рода. Тогда общая вероятность ошибки 1-го и 2-го рода для параметрического контроля будет равна

$$\alpha_{\text{общ}} = \alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_1 \cdot \alpha_2$$

Для предложенного примера:

$$\alpha_{\text{общ}} = 0,01 + 0,01 - 0,01 \cdot 0,01 = 0,0199$$

В качестве модели общие ошибки 2-го рода предлагается

$$\beta_{\text{общ}} = \beta_1 + \beta_2 - \beta_1 \cdot \beta_2 = 0,002 + 0,002 - 0,002 \cdot 0,002 = 0,003996$$

10) Разработана методика измерительного контроля детали по размеру. Определите полное сопротивление катушки на частоте $f = (50 \pm 0,5)$ Гц, если ее индуктивность

$L=0,1$ Гн и активное сопротивление $R=50$ Ом. Вычислите погрешность результата измерений, если индуктивность определена с погрешностью $\delta L = \pm 2\%$, а сопротивление – с $\delta R = \pm 1,5\%$.

Ответ: Полное сопротивление катушки определяем по формуле

$$Z = \sqrt{(2\pi fL)^2 + R^2} = \sqrt{4\pi^2 \cdot 50^2 \cdot 0,1^2 + 50^2} = 59,04 \text{ Ом.}$$

Предположим, что погрешности измерения Δf , δL и δR имеют нормальное распределение. Тогда погрешность измерения полного сопротивления катушки ΔZ определяется по формуле

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial f} \Delta f\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial L} \Delta L\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial R} \Delta R\right)^2}.$$

Определим частные производные

$$\frac{\partial Z}{\partial f} = \frac{4\pi^2 L^2 f}{Z} = \frac{4\pi^2 \cdot 0,1^2 \cdot 50}{59,04} = 0,334;$$

$$\frac{\partial Z}{\partial L} = \frac{4\pi^2 f^2 L}{Z} = \frac{4\pi^2 \cdot 50^2 \cdot 0,1}{59,04} = 167,1;$$

$$\frac{\partial Z}{\partial R} = \frac{R}{Z} = \frac{50}{59,04} = 0,85.$$

Определим абсолютные погрешности измерения ΔL и ΔR :

$$\Delta L = \pm \frac{\delta L \cdot L}{100\%} = \pm \frac{2\% \cdot 0,1}{100\%} = \pm 0,002 \text{ Гн;}$$

$$\Delta R = \pm \frac{\delta R \cdot R}{100\%} = \pm \frac{1,5\% \cdot 50}{100\%} = \pm 0,75 \text{ Ом.}$$

Погрешность измерения полного сопротивления катушки

$$\begin{aligned} \Delta Z &= \pm \sqrt{(0,334 \cdot 0,5)^2 + (167,1 \cdot 0,002)^2 + (0,85 \cdot 0,75)^2} = \\ &= \pm 0,74 \text{ Ом} \approx \pm 0,7 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Результат измерения полного сопротивления катушки

$$Z = (59,0 \pm 0,7) \text{ Ом.}$$