

# Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

## Демонстрационный вариант

задания заключительного (очного) этапа

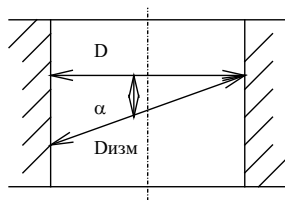
по направлению «Измерительная техника и метрология»

Категория участия: «Магистратура/специалитет»

(для поступающих в аспирантуру/ординатуру)

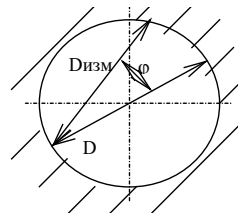
1) Опишите методические погрешности, обусловленные разницей между значениями измеряемой величины на входе средства измерений и в точке отбора и взаимодействием средств измерений и объекта измерений, и способы их оценивания.

Ответ: К методической погрешности относят и возникающую при прямых измерениях погрешность передачи измеряемых величин от объекта к средствам измерений. Вследствие этого не обеспечивается строгое равенство размеров измеряемой величины у объекта измерений и на входе измерительного прибора.



$$\begin{aligned} D &= D_{\text{изм}} \cdot \cos \alpha; \\ \Delta_{\text{мет}} &= D_{\text{изм}} - D = \\ &= D_{\text{изм}} (1 - \cos \alpha); \\ \Delta_{\text{мет}} &\approx D_{\text{изм}} \frac{\alpha^2}{2}. \end{aligned}$$

а)



$$\begin{aligned} D &= \frac{D_{\text{изм}}}{\cos \varphi}; \\ \Delta_{\text{мет}} &= D_{\text{изм}} - D = \\ &= D_{\text{изм}} \left( 1 - \frac{1}{\cos \varphi} \right); \\ \Delta_{\text{мет}} &\approx -D_{\text{изм}} \frac{\varphi^2}{2} \end{aligned}$$

б)

Так, при прямых измерениях внутреннего диаметра втулки средство измерений (например, наконечники нутромера) не может быть практически установлено так, чтобы воспринимать строго длину только того отрезка, который принят «по определению» за диаметр втулки, поскольку его практически невозможно установить строго в плоскости поперечного сечения и по диаметру (оно фактически устанавливается в плоскости, лишь близкой к плоскости поперечного сечения, и по хорде, лишь близкой к диаметру).

В качестве другого примера можно привести методическую погрешность измерений давления из-за влияния плотности среды (скопления конденсата и т.п.) в импульсной линии, соединяющей точку отбора давления с датчиком или показывающим манометром.

2) Раскройте причину возникновения методической погрешности, при контроле размеров валов в цанговых патронах.

Ответ: Основной методической погрешностью при использовании цанговых патронов является погрешность базирования, особенность которой проявляется в неравномерном контакте реальной поверхности и лепестков цанги из-за отклонения формы и шероховатости поверхности контролируемой детали и из-за разбросов размеров внутри партии. Неравномерный контакт приводит к погрешностям положения.

Физический смысл неравномерного контакта заключается в наличии кромочного контакта с деталью, вследствие неточного совпадения радиусов лепестков и детали.

3) Укажите цель метрологической экспертизы документации. Перечислите какая документация подвергается экспертизе.

Ответ: Метрологическая экспертиза производится с целью аттестации МВИ. При экспертизе документа на МВИ целесообразно проанализировать объект измерений с целью определения, насколько назначение МВИ и измеряемая величина соответствуют измерительной задаче контроля объекта. Результаты анализа используют при необходимости для уточнения назначения МВИ и формулировки измеряемой величины. Экспертиза документа на МВИ включает оценивание полноты и четкости требований к условиям измерений. При этом может возникнуть необходимость ограничения области применения МВИ.

При метрологической экспертизе проверяют:

- исходные требования (техническое задание) на разработку МВИ, в том числе требования к точности измерений и условиям измерений;
  - документ (проект документа) на МВИ;
- программу и результаты экспериментального или расчетного оценивания характеристик погрешности измерений.

4) Вкладыши из антифрикционного алюминиевого сплава ХА750 имеют размер  $\varnothing 60_{\text{н}6}$ . Измерение вкладышей производится рычажным микрометром, закрепленным в стойке при температурном режиме 2°C. Измерение предполагается

производить в помещении, где поддерживается температура  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  с допускаемыми кратковременными колебаниями  $0,5^\circ\text{C}$  в течение получаса, т.е.  $\Delta t_1 = 1^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_2 = 0,5^\circ\text{C}$ . Коэффициент линейного расширения материала детали  $\alpha_0 = (22,8 \dots 23,8) \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ . Оценить температурные условия измерения

Ответ: Так как марка стали, из которой сделан корпус микрометра, неизвестна, для  $\alpha_n$  мы вынуждены взять полный диапазон коэффициентов линейного расширения стали:

$$\alpha_n = (9,4 - 14,5) \cdot 10^{-6} \text{ 1/град.}$$

$$(\alpha_n - \alpha_0)_{\max} = (9,4 - 23,8) \cdot 10^{-6} = 14,4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/град.}$$

$$\alpha_{\max} = 23,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/град.}$$

Подставив найденные значения в общую формулу, получим:

$$\nu_t = \sqrt{\left(1 \cdot \frac{14,4 \cdot 10^{-6}}{11,6 \cdot 10^{-6}}\right)^2 + \left(0,5 \cdot \frac{23,8 \cdot 10^{-6}}{11,6 \cdot 10^{-6}}\right)^2} = 1,61^\circ\text{C}$$

Температурные условия измерения могут считаться удовлетворительными, так как значение температурного режима получилось меньше рекомендованного ( $2^\circ\text{C}$ ).

5) Определите максимально возможную погрешность базирования, влияющую на ошибку контроля, при контроле вала  $\phi 40\text{h}7_{(-0,025)}$  на призме с углом  $90^\circ$  (добавить необходимые условия).

Ответ: Дополнительные условия (ограничения) по  $t = 20^\circ\text{C}$ . Метод сравнения – настройка по эталону, который равен среднему значению. Погрешностью эталона – пренебречь.

Тогда воспользуемся формулой, связывающей погрешность базирования с допуском и углом призмы:

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

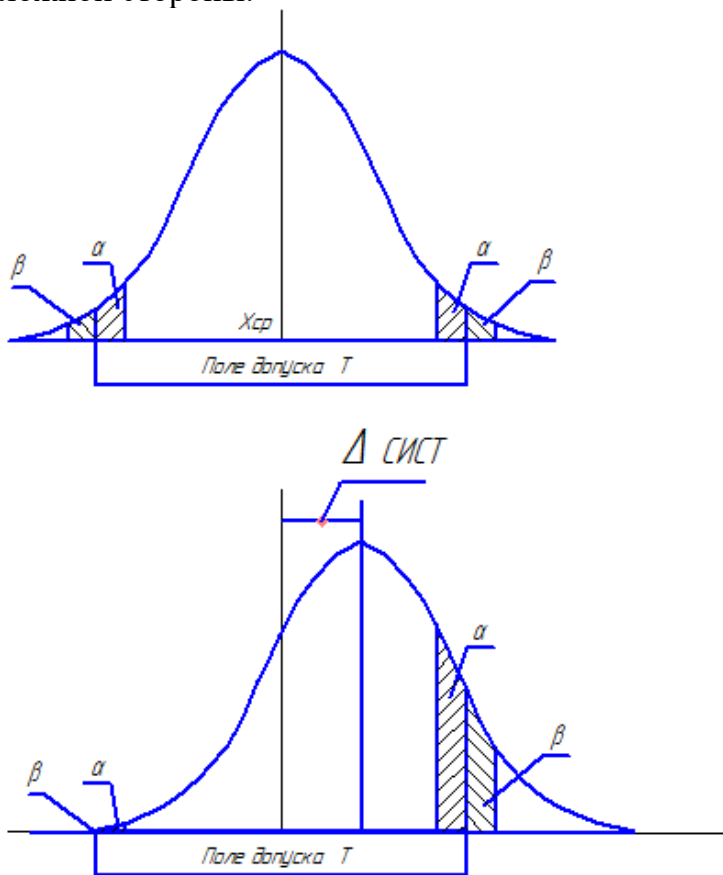
где  $\delta = \text{IT} = 25\text{мкм}$ ,  $\alpha = 90^\circ$

$$\varepsilon = \frac{25}{2} \cdot \frac{1 - \sin(45)}{\sin(45)} = \frac{25}{2} \cdot \frac{1 - 0,707}{0,707} \approx 5,2$$

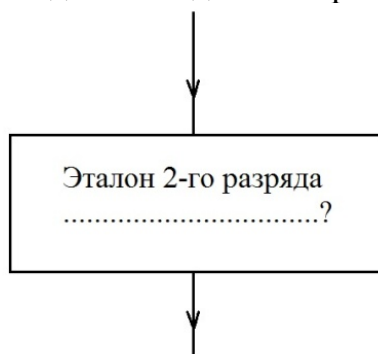
6) Опишите подробно влияние систематической погрешности на вероятность ошибок контроля.

Ответ: При отсутствии систематических погрешностей центр группирования результатов измерений при контроле размеров деталей находится в центре поля допуска (принимается нормальный закон распределения).

Наличие систематической погрешности приводит к смещению центра на величину  $\Delta_{\text{сист}}$  влево или вправо в зависимости от знака погрешности. Это приводит к увеличению зон ошибок первого и второго рода с одной стороны кривой распределения (с той, в которую произошло смещение), и уменьшению этих ошибок с противоположной стороны.



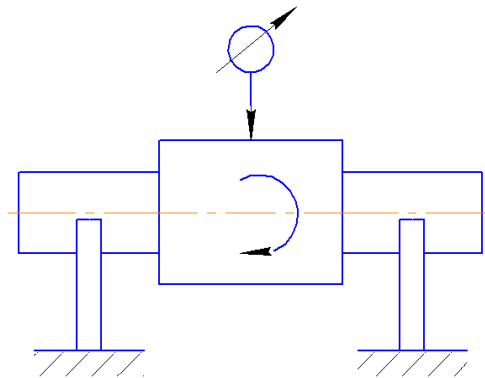
7) Перед Вами элемент ступени поверочной схемы, обозначающей средство измерений и представленный в виде прямоугольника. Что еще, кроме наименования СИ, должно быть указано в каждом из подобных прямоугольников?



Ответ: Основные метрологические характеристики СИ данной ступени поверочной схемы: пределы измерений, неисключенная составляющая систематической погрешности  $\theta_0$ , СКО случайной погрешности  $S_0$ , абсолютная погрешность  $\Delta$  .

8) Приведите примеры контроля точности взаимного расположения относительно общей оси двух поверхностей. Укажите возможные методические погрешности и их влияние на ошибки контроля.

Ответ: Рассмотрим контроль вала с несколькими поверхностями (многоступенчатый вал). Общая ось задана для двух поверхностей (под подшипники качения). Задача: проконтролировать несоосность средней части вала относительно этой оси. Общую ось реализуем с помощью узких призм. На них будем базировать вал, расположив его так, чтобы плоскость призм совпадала со средними сечениями базовых поверхностей.



Порядок измерений:

а) Настройка на «0» по эталону;

б) Построение круглограммы и разложение в ряд Фурье;

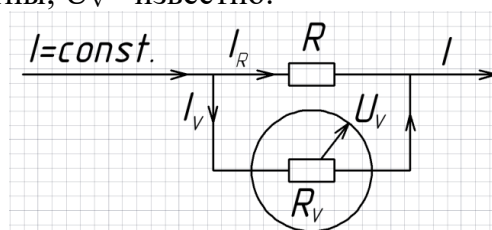
в) Амплитуда 1-ой гармоники равна величине несоосности.

Если отклонение формы существенно меньше несоосности (не более 20 %), то за результат измерения несоосности принимается радиальное биение.

Возможная методическая погрешность - это погрешность базирования, вызванная отклонением формы базовых поверхностей. Эта погрешность может увеличивать результат измеренной несоосности, что может привести к повышению вероятности ошибки первого рода.

Не исключено и уменьшение результата измерения несоосности. Тогда это может способствовать увеличению вероятности ошибки второго рода.

9) Найдите методическую погрешность измерения вольтметром напряжения.  $I$  – не известно;  $R$  и  $R_V$  – известны;  $U_V$  - известно.



Произведите вычисления методической погрешности  $\delta_m$  для значений:

$U_V = 100 \text{ В}; R_V = 10 \text{ кОм}; R = 100 \text{ Ом}.$

Ответ:  $\delta_m = IR - U_V = \frac{100}{10000} \cdot 100 = 1 \text{ В}$

10) Для повышения точности измерений детали были проведены многократные измерения размера  $L$  аттестованного образца на том же длинномере ИЗВ-1 в тех же условиях. Получены следующие результаты наблюдений  $L_{\text{обр } i}$ , мм: 36,5327; 36,5329; 36,5323; 36,5325; 36,5321. Действительный размер образца  $L_{\text{обр действ}} = 36,5337$  мм, погрешность аттестации образца  $\Delta_{\text{атт}} = 0,20$  мкм. Определите результат измерений размера детали с учетом результатов измерений образца.

Ответ: По результатам многократных наблюдений размера  $L$  образца определяем его среднее арифметическое значение, принимаемое за результат измерений образца:

$$\bar{L}_{\text{обр}} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{\text{обр } i}}{n} = \frac{36,5327 + 36,5329 + 36,5323 + 36,5325 + 36,5321}{5} = 36,5325 \text{ мм}.$$

Определяем систематическую погрешность измерений размера  $L$  образца

$$\Delta_{\text{сист.обр}} = \bar{L}_{\text{обр}} - L_{\text{обр.действ}} = 36,5325 - 36,5337 = -0,0012 \text{ мм}.$$

Систематическую погрешность измерений размера  $L$  детали принимаем равной  $\Delta_{\text{сист.обр}}$ . Поэтому поправка  $q$  будет равна

$$q = -\Delta_{\text{сист.обр}} = +0,0012 \text{ мм} = +1,2 \text{ мкм}.$$

Проверим условие целесообразности введения поправки. Для этого вычислим оценку среднего квадратического отклонения поправки  $S_q$ , равную оценке среднего квадратического отклонения результата измерений образца:

$$S_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_{\text{обр } i} - \bar{L}_{\text{обр}})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,1^2 + 0,3^2 + 0,1^2 + 0^2 + 0,3^2}{5 \cdot 4}} = 0,10 \text{ мкм}.$$

Условие целесообразности введения поправки

$$q > tS_L \left( \sqrt{1 + \frac{S_q^2}{S_L^2}} - 1 \right) = 2,87 \cdot 0,49 \left( \sqrt{1 + \frac{0,1^2}{0,49^2}} - 1 \right) = 0,03 \text{ мкм}.$$

Так как  $q=1,2 \text{ мкм} > 0,03 \text{ мкм}$ , то вводим поправку в результат измерений детали и получаем исправленный результат измерений

$$L_{\text{испр}} = \bar{L} + q = 36,5332 + 0,0012 = 36,5344 \text{ мм.}$$

Поскольку поправка  $q$  определена с погрешностью, то находим оценку среднего квадратического отклонения результата измерений  $S'_L$  после введения поправки

$$S'_L = \sqrt{S_L^2 + S_q^2} = \sqrt{0,49^2 + 0,10^2} = 0,50 \text{ мкм},$$

где  $S_L$  – оценка среднего квадратического отклонения результата измерений до введения поправки (см. пример 4.20).

Вычисляем доверительные границы случайной погрешности результата измерений после введения поправки

$$\varepsilon' = \pm t S'_L = \pm 2,78 \cdot 0,50 = \pm 1,39 \text{ мкм.}$$

Неисключенная систематическая погрешность измерений определяется в данном случае погрешностью аттестации образца

$$\theta = \Delta_{\text{атт}} = \pm 0,20 \text{ мкм.}$$

Вычислим отношение

$$\frac{\theta}{S'_L} = \frac{0,20}{0,50} = 0,4.$$

Так как  $\frac{\theta}{S'_L} = 0,4 < 0,8$ , то неисключенные систематические погрешности измерений пренебрежимо малы по сравнению со случайными. Поэтому принимаем, что общая погрешность измерений равна случайной погрешности результата измерений детали, а ее доверительные границы равны:

$$\Delta = \varepsilon' = \pm 1,39 \text{ мкм} \approx \pm 1,4 \text{ мкм.}$$

Запишем результат измерений:

$$L = (36,5344 \pm 0,0014) \text{ мм}; P = 0,95; n = 5.$$