

# Погрешности измерений

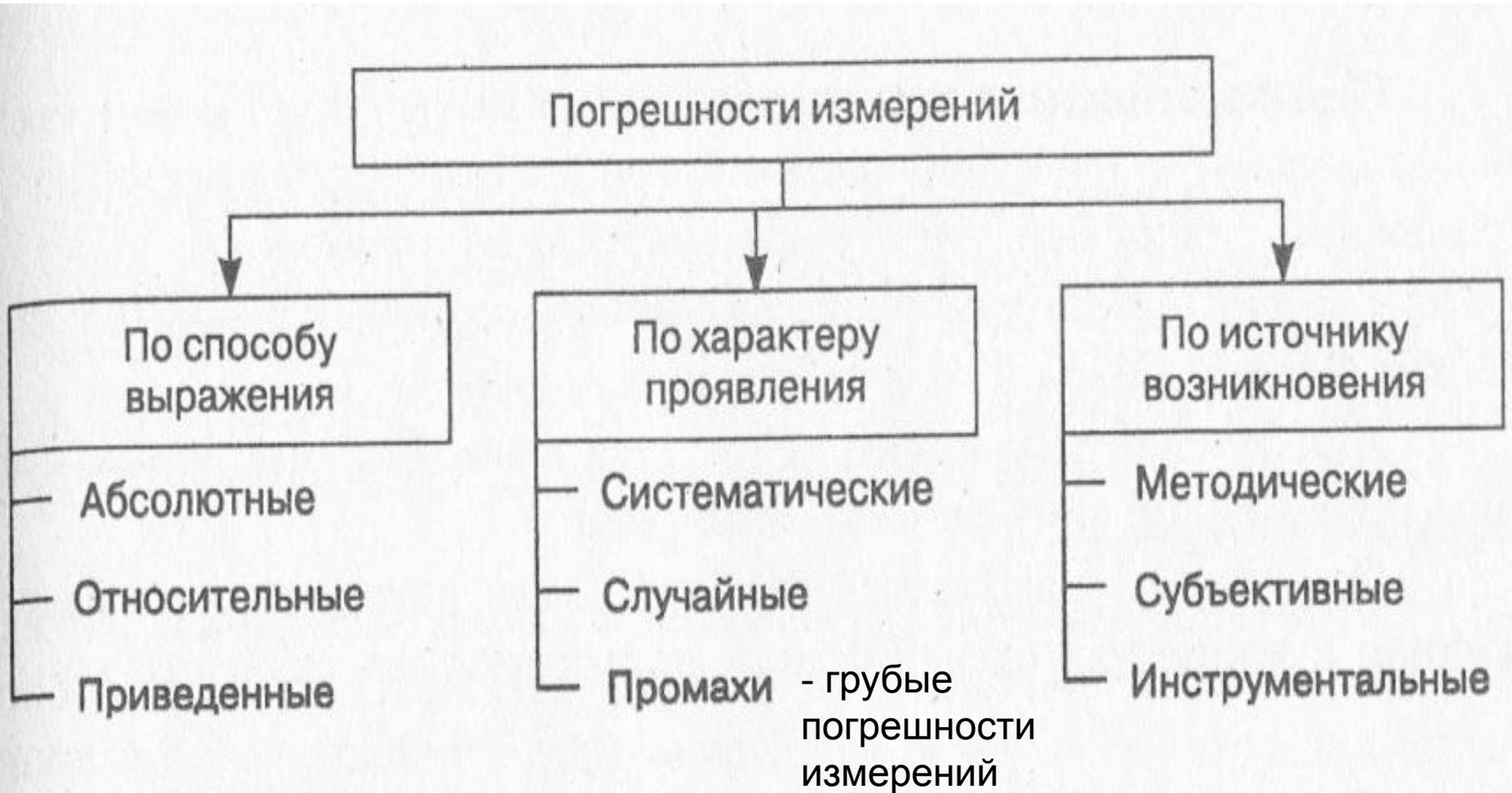


Рис. 4.4. Классификация погрешностей измерения

# Прямое измерение

## Уравнение измерения:

$$Y = c \cdot X,$$

где:  $Y$  - искомое значение измеряемой величины;

$X$  – значение величины, непосредственно

получаемое из опытных данных;

$c$  – коэффициент (переменный или постоянный).

- Погрешность результата измерения (погрешность измерения):
- $\Delta X_{\text{изм}} = X - X_{\text{д}}$ ,
- где:  $X$  – результат измерения;
- $X_{\text{д}}$  – действительное значение
- измеряемой величины.

Абсолютная погрешность измерения:

$$\Delta = X - X_{\text{д}},$$

Относительная погрешность измерений:

$$\delta_x = \frac{\Delta}{X}, \quad \text{или} \quad \delta_x = \left( \frac{\Delta}{X} \right) \cdot 100\%$$

Пример:

1. При измерении длины  $L = 100$  мм погрешность измерения составила  $0,01$  мм.
2. При измерении длины  $L = 1$  мм погрешность измерения составила тоже  $0,01$  мм

Это абсолютные погрешности измерений.

Сравнение этих погрешностей необъективно.

### Пример

Определение относительной погрешности измерения:

$$1. \delta_x = \left( \frac{0,01}{100} \right) \cdot 100\% = 0,01\%$$

$$2. \delta_x = \left( \frac{0,01}{1} \right) \cdot 100\% = 1\%$$

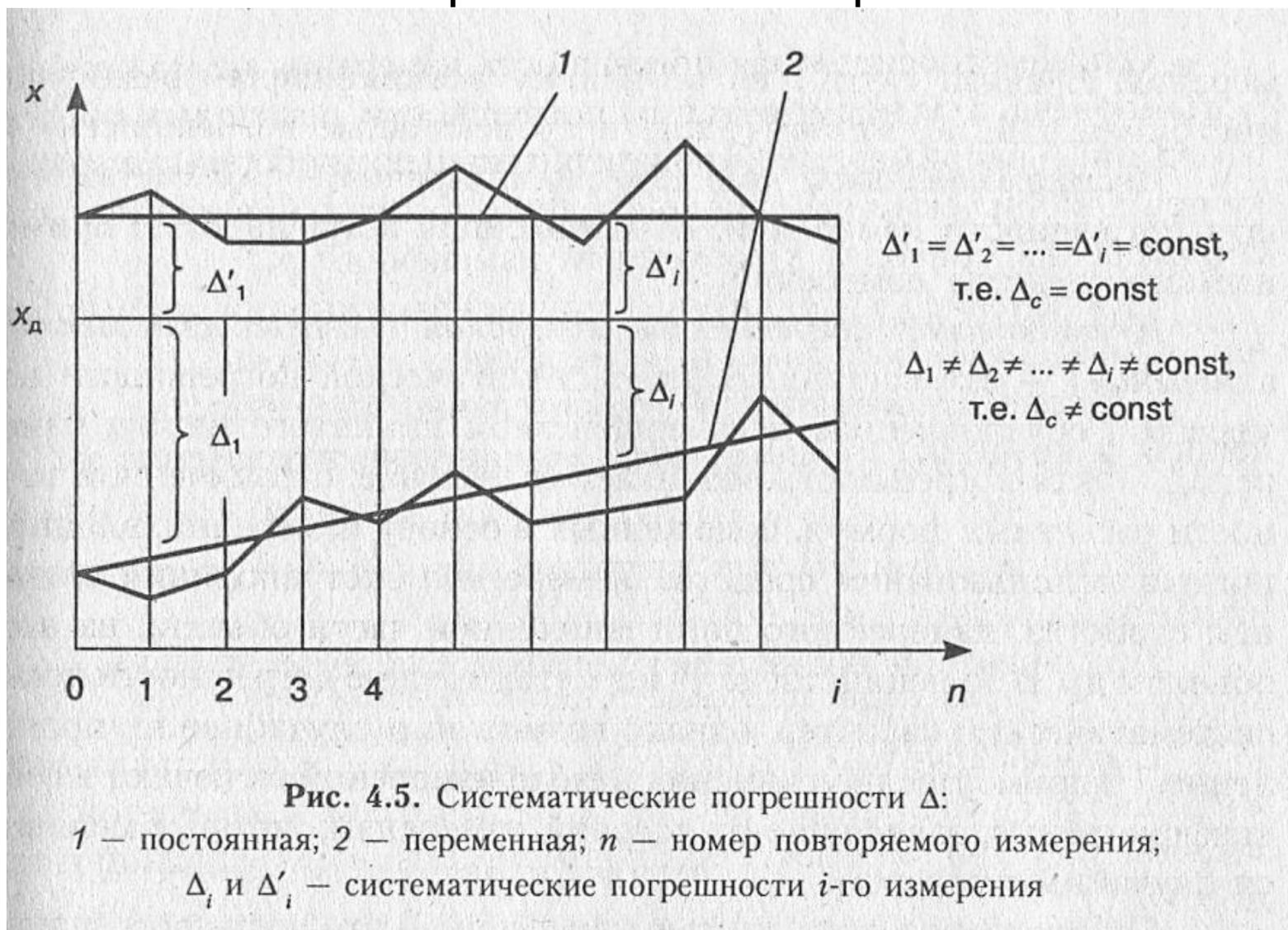
Вывод: относительная погрешность является более информативной.

Приведённая погрешность:

$$\gamma = \pm \left( \frac{\Delta}{X_N} \right) \cdot 100\% ,$$

где:  $X_N$  – некоторое нормирующее значение. Обычно принимается верхний предел измерений средств измерений.

# Графическое изображение систематических погрешностей измерения



# Погрешность измерения геометрических параметров деталей

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2 + \Delta_6^2},$$

где  $\Delta_1$  - погрешность средства измерений;

$\Delta_2$  - погрешность метода измерений;

$\Delta_3$  - погрешность от температурных деформаций;

$\Delta_4$  - погрешность от измерительного усилия;

$\Delta_5$  - субъективные погрешности оператора;

$\Delta_6$  - прочие погрешности измерений.

## Предельная погрешность измерения

Погрешности  $\Delta_1 - \Delta_4$  - предельная погрешность измерения

Предельная погрешность – неисключённая систематическая и случайная составляющие погрешности измерения.

$$\Delta_1 = \sqrt{\Delta_{11}^2 + \Delta_{12}^2 + \dots + \Delta_{1n}^2},$$

где  $\Delta_{11}$  } основные погрешности средств измерений:  
 $\Delta_{12}$  } инструментальная погрешность, погрешность установочных мер  
 $\Delta_{1n}$  } и другие (в соответствии с методом измерения)

## Методическая погрешность измерения

Методическая погрешность измерения  $\Delta_2$  :

$$\Delta_2 = \sqrt{\Delta_{21}^2 + \Delta_{22}^2 + \Delta_{23}^2},$$

где  $\Delta_{21}$  - погрешность базирования объекта измерения;

$\Delta_{22}$  - погрешность процедуры измерения;

$\Delta_{23}$  - прочие составляющие погрешности метода измерений  
(погрешности, зависящие от свойств и состояния объекта измерений).

## Погрешность, вызванная температурными деформациями

Погрешность  $\Delta_3$ , вызванная температурными деформациями:

$$\Delta_3 = \Delta_t = \sqrt{\Delta_{t_1}^2 + \Delta_{t_2}^2} .$$

где  $\Delta_{t_1}$  - систематическая погрешность от температурных деформаций;

$\Delta_{t_2}$  - случайная погрешность от температурных деформаций.

$$\Delta_{t_1} = l \Delta t_1 (\alpha_n - \alpha_D)_{\max};$$

$$\Delta_{t_2} = l \Delta t_2 \alpha_{\max},$$

где  $l$  - измеряемый размер;

$\Delta t_1$  - допускаемое при измерении отклонение температуры среды от нормальной области значений ( $20^\circ$ );

$\Delta t_2$  - допускаемое при измерении колебание температуры среды;

$(\alpha_n - \alpha_D)_{\max}$  - максимально возможная разность коэффициентов линейного расширения элементов средств измерений (прибора) и объекта измерения (измеряемой детали);

$\alpha_{\max}$  - максимальный по величине коэффициент линейного расширения (материала элемента средства измерений или объекта измерения)

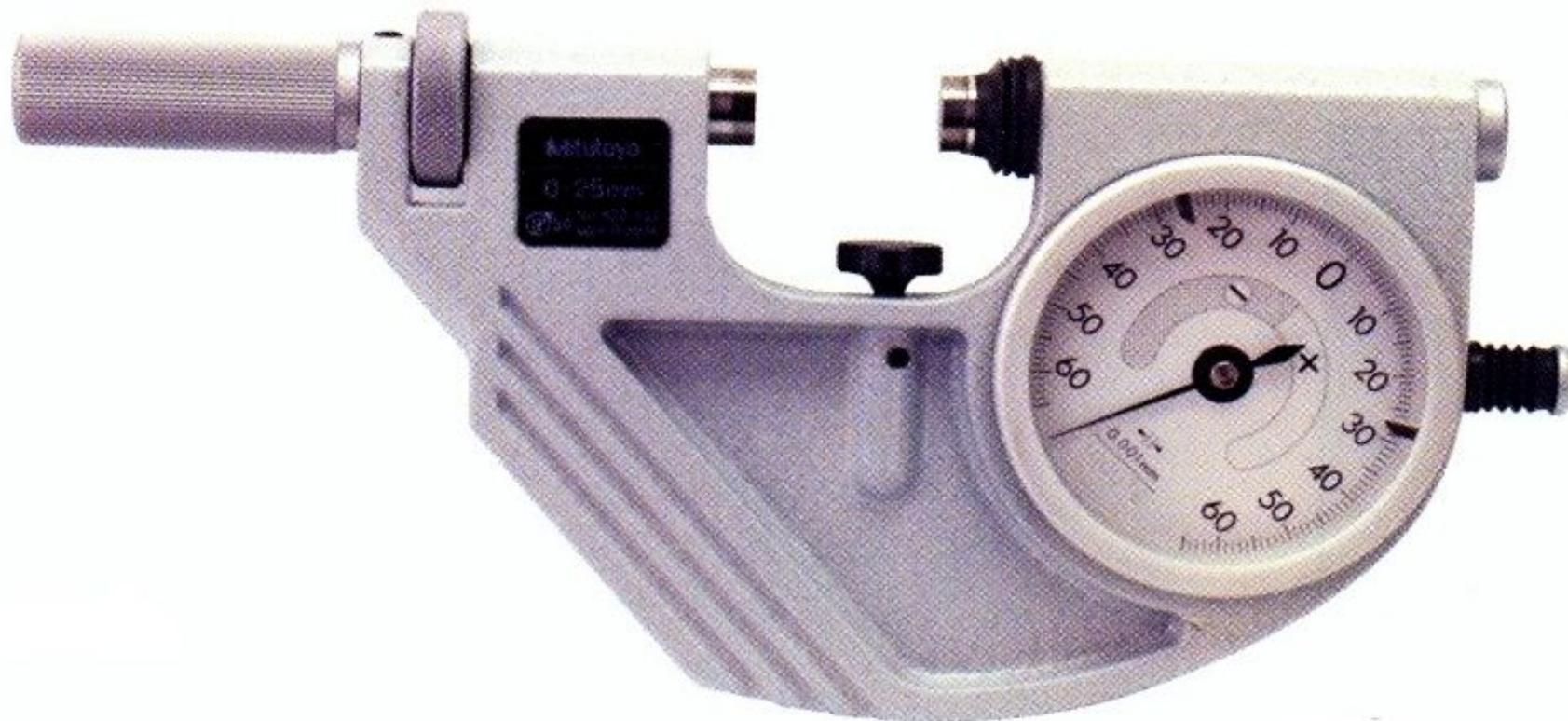


1. Определить погрешность измерения  $\Delta_u$  диаметра детали при заданном температурном режиме измерения.
2. Установить соответствие этой погрешности допускаемой  $\delta$ .

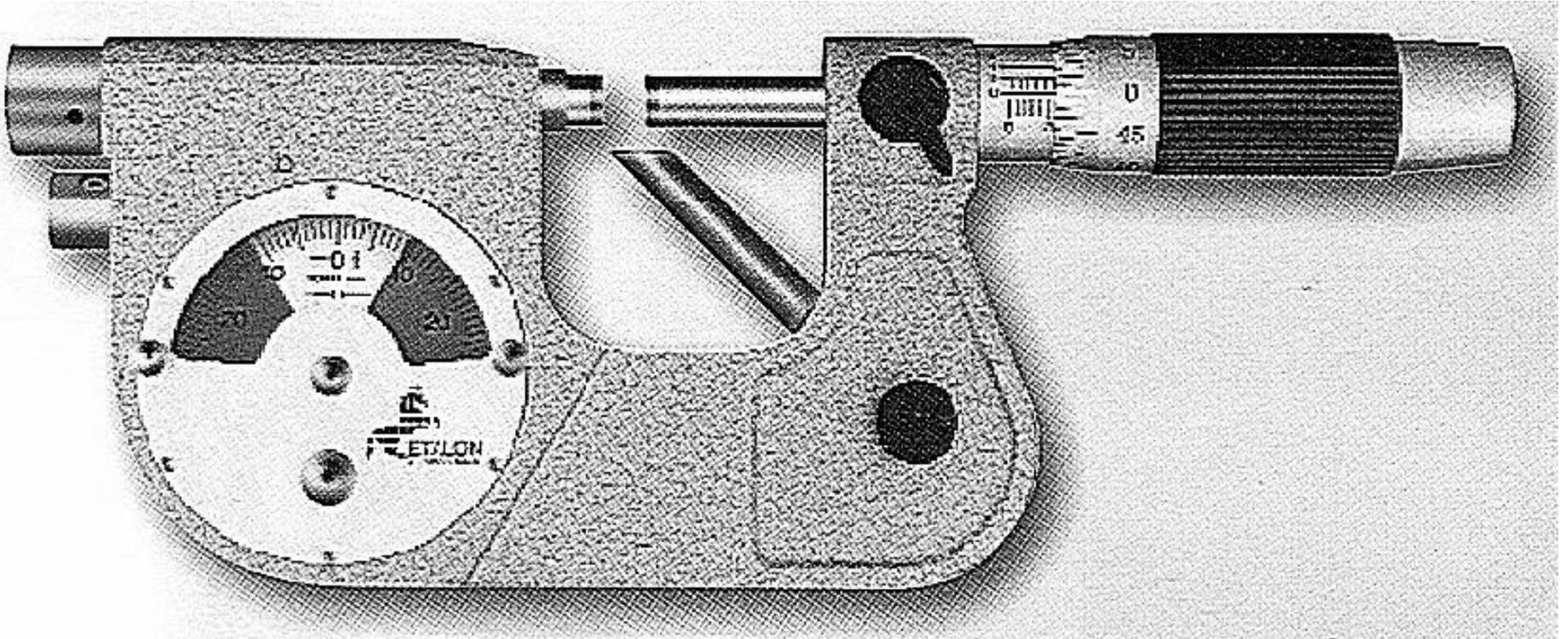
## Варианты заданий

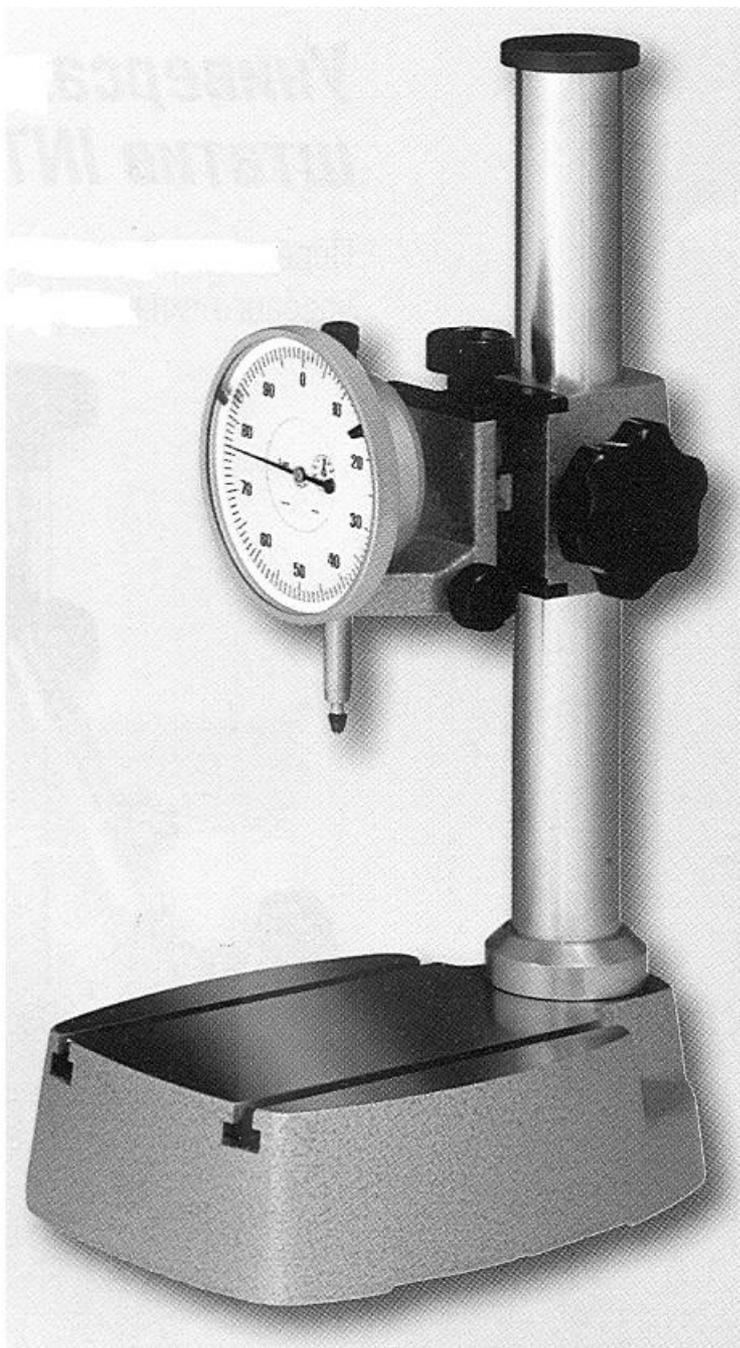
№ вариант а	Объект измерения	Измеряемый размер	Материал детали	Измерительное средство
1	Ролик	$\varnothing 10e7$	Сталь 20	Микрометр рычажный
2	Валик	$\varnothing 38f7$	Сталь 30	Рычажная скоба
3	Вал	$\varnothing 70e7$	Сталь 40	Индикатор на стойке
4	Ролик	$\varnothing 12f7$	Сталь 50	Микрометр рычажный
5	Втулка	$\varnothing 40e7$	Алюминиевый сплав	Рычажная скоба
6	Вал	$\varnothing 75f7$	Латунь	Индикатор на стойке

# Рычажная скоба



# Микрометр рычажный





Индикатор  
на стойке

## Пример решения задачи

Объект измерения: вкладыш  $\varnothing 80$  н6 ( $^{+0,039}_{+0,020}$ ) из антифрикционного алюминиевого сплава.

Инструмент: скоба рычажная СР100.

Метрологические характеристики:

класс точности 2;

цена деления шкалы 0,002 мм;

диапазон измерения 50 – 100 мм.

Настройка рычажной скобы производится по концевой мере размером 80,000 мм.

Класс точности концевых мер – 2.

Погрешность измерения детали  $\Delta_u$  при заданных условиях равна:

$$\Delta_u = \sqrt{\Delta_m^2 + \Delta_t^2},$$

где:  $\Delta_m$  – погрешность метода измерения;

$\Delta_t$  – погрешность измерения, связанная с температурными деформациями.

1. Определим допускаемую погрешность  $\delta$  измерения размера  $\varnothing 80 \text{ н}6 \left( \begin{smallmatrix} +0,039 \\ +0,020 \end{smallmatrix} \right)$  рычажной скобой  $\Delta_m$  по таблице 1 (ГОСТ 8.051 – 81 Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм). При измерении детали диаметром  $\varnothing 80 \text{ н}6 \left( \begin{smallmatrix} +0,039 \\ +0,020 \end{smallmatrix} \right)$  мм  $\delta = 5$  мкм.

2. Определим предельную погрешность измерения  $\varnothing 80 \text{ н}6 \left( \begin{smallmatrix} +0,039 \\ +0,020 \end{smallmatrix} \right)$  мм рычажной скобой, находящейся в стойке, где обеспечивается надёжная изоляция от рук оператора, по таблице 2 (РД 50-98-86 Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм. По применению ГОСТ 8.051-81). При использовании для настройки рычажной скобы концевых мер 2 класса точности она составляет 3 мкм.

3. Определим погрешность  $\Delta_t$ , вызванную температурными деформациями при измерении, по зависимости:

$$\Delta_t = \sqrt{\Delta_{t_1}^2 + \Delta_{t_2}^2} \quad ,$$

где:  $\Delta_{t_1}$  - систематическая погрешность: отклонение при измерении температуры окружающей среды от нормальной (20°);

$\Delta_{t_2}$  - систематическая погрешность: колебание при измерении температуры окружающей среды.

$$\Delta_{t_1} = l \cdot \Delta t_1 (\alpha_{np} + \alpha_{дет})_{\max},$$

где:  $l$  – измеряемый размер детали;

$\Delta t_1$  – допускаемое при измерении отклонение температуры среды от нормальной области значений ( $20^\circ$ );

$(\alpha_{np} + \alpha_{дет})_{\max}$  – максимально возможная разность коэффициентов линейного расширения элементов измерительного средства  $\alpha_{np}$  измеряемой детали  $\alpha_{дет}$ .

$l$  – измеряемый размер детали 80 мм;

$\Delta t = 5^\circ\text{C} (20 \pm 5)^\circ$ ;

$\alpha_{дет}$  – коэффициент линейного расширения материала детали (алюминиевого сплава) 0,024 мкм/град·мм;

$\alpha_{np}$  – коэффициент линейного расширения корпуса скобы рычажной (корпус выполнен из незакалённой стали) 0,011 мкм/град·мм.

Отсюда:  $\Delta t_1 = 80 \cdot 5 \cdot (0,024 - 0,011) = 5,2$  мкм

3.2 Рассчитываем  $\Delta_{t_2}$  :

$$\Delta_{t_2} = l \cdot \Delta t_2 \alpha_{max} ,$$

где:  $l$  – измеряемый размер детали.  $l = 80$  мм;

$\Delta t_2$  - погрешность измерения, связанная с колебанием температуры среды при измерении детали;  $\Delta t_2$  согласно условию равна  $0,5^\circ$ ;

$\alpha_{max}$  – максимальный по величине коэффициент линейного расширения материала детали или измерительного средства. В нашем случае это коэффициент линейного расширения алюминиевого сплава  $0,024$  мкм/град·мм.

$$\Delta_{t_2} = 80 \cdot 0,5 \cdot 0,024 = 0,96 \text{ мкм}$$

Тогда погрешность, вызванная температурными деформациями, будет равна:

$$\Delta_t = \sqrt{5,2^2 + 0,96^2} = 5,3 \text{ мкм}$$

4. Рассчитываем погрешность измерения детали  $\Delta_u$ :

$$\Delta_u = \sqrt{3^2 + 5,3^2} = 6,09 \text{ мкм}$$

5. Погрешность измерения  $\varnothing 80 \text{ нб } \left( \begin{smallmatrix} +0,039 \\ +0,020 \end{smallmatrix} \right) \text{ мм}$  рычажной скобой  $\Delta_u = 6,09$  мкм. Это больше допускаемой погрешности  $\delta = 5$  мкм. Расчёты показали, что доминирующей является температурная погрешность.

Уменьшить погрешность измерения можно либо за счёт устранения источников погрешностей до начала измерений, либо путём введения известных поправок в результат измерения в процессе измерения.