

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ и СЕРТИФИКАЦИЯ

ЗАДАНИЕ 1

Определение размерности производной физической величины

Найдите размерность производной физической величины в системе СИ в виде

$$L^\alpha \cdot M^\beta \cdot T^\gamma \cdot I^\delta \cdot \theta^\varepsilon \cdot J^\eta \cdot N^\lambda,$$

где L, M, T, ... – размерности основных физических величин системы (табл. 1.1); $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ – показатели степени, в которую эти размерности возведены.

Объясните полученный результат, используя известные физические соотношения.

При написании итоговой формулы соблюдайте следующие правила:

- 1) размерности, имеющие нулевую степень, в формуле не указываются;
- 2) плоский угол (радиан) и телесный угол (стерадиан) в формуле не указываются, так как эти величины не имеют размерности;
- 3) последовательность размерностей в итоговой формуле должна быть такой же, как порядок строк в табл. 1.1.

Варианты задания

| | 0 | 10 | 20 |
|---|--|---|-----------------------------|
| 0 | | Работа | Молярная масса |
| 1 | Энтропия системы | Сила излучения | Мощность |
| 2 | Теплоемкость | Звуковое давление | Магнитный поток |
| 3 | Электрическое напряжение | Светимость | Количество движения |
| 4 | Напряженность магнитного поля | Поверхностное натяжение жидкости | Электрическое сопротивление |
| 5 | Абсолютная диэлектрическая проницаемость | Поверхностная плотность электрического заряда | Акустическое сопротивление |
| 6 | Облученность | Скорость химической реакции | Момент инерции |
| 7 | Яркость | Интенсивность звука | Освещенность |
| 8 | Индуктивность | Молярный объем | Волновое число |
| 9 | Удельный объем | Электрическая проводимость | Световой поток |

Элементы теории

Системой физических величин называется совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимаются за независимые, а другие определяются как функции этих независимых величин.

Основная физическая величина – это величина, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы.

Производная физическая величина – это физическая величина, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы.

Формализованным различием физических величин является их размерность. В табл. 1.1 приведены основные физические величины системы СИ, их размерности и единицы измерения с указанием сокращенных обозначений.

Таблица 1.1. Основные физические величины системы СИ

| Физическая величина | Размерность | Единица измерения | Сокращенное обозначение единицы измерения | |
|-------------------------------|-------------|-------------------|---|---------------|
| | | | русское | международное |
| Длина | L | метр | м | m |
| Масса | M | килограмм | кг | kg |
| Время | T | секунда | с | s |
| Сила электрического тока | I | ампер | A | A |
| Термодинамическая температура | θ | kelvin | K | K |
| Сила света | J | кандела | кд | cd |
| Количество вещества | N | моль | моль | mol |

Длина – величина, характеризующая протяженность, удаленность и перемещение тел или их частей вдоль заданной линии. *Метр* есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458$ с.

Масса – величина, определяющая инертные и гравитационные свойства материальных объектов. С 2019 г. *килограмм* устанавливается фиксацией численного значения постоянной Планка равной в точности $6,62607015 \cdot 10^{-34}$.

Время – величина, характеризующая последовательную смену явлений и состояний материи, характеризующая длительность их бытия. *Секунда* есть время, равное $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Сила электрического тока – скалярная величина, равная производной по времени от электрического заряда, переносимого носителями заряда сквозь рассмат-

риваемую поверхность. *Ампер* есть сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Термодинамическая температура – температура, отсчитываемая по термодинамической шкале температур от абсолютного нуля. *Кельвин* – это единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды.

Кроме термодинамической температуры, допускается применять также температуру Цельсия. По размеру *градус Цельсия* равен кельвину.

Количество вещества – это величина, равная числу структурных элементов, содержащихся в теле (системе тел). *Моль* есть количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг.

Сила света – это величина, равная отношению светового потока, распространяющегося от источника излучения в рассматриваемом направлении внутри малого телесного угла к этому телесному углу. *Кандела* есть сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

Пример выполнения задания

Размерность электрического сопротивления

По закону Джоуля-Ленца элементарное количество теплоты dQ , выделившееся в электрическом проводнике за элементарный промежуток времени dt (с),

$$dQ = I^2 R \cdot dt, \text{ Дж},$$

где I – сила тока, А; R – электрическое сопротивление проводника, Ом.

Тогда

$$R = \frac{dQ}{I^2 dt},$$

то есть

$$[R] = \text{Ом} = \frac{\text{Дж}}{\text{А}^2 \cdot \text{с}} = \text{Дж} \cdot \text{А}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}. \quad (1.1)$$

Размерности силы тока (ампер) и времени (секунда) входят в число основных размерностей системы СИ. Остается найти размерность количества теплоты (или, что то же самое с точки зрения размерности, – энергии).

Кинетическая энергия твердого тела массой m (кг), движущегося со скоростью v (м/с),

$$E = \frac{mv^2}{2}, \text{Дж},$$

то есть

$$\text{Дж} = \text{кг} \cdot \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)^2 = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}. \quad (1.2)$$

Подставляя (1.2) в (1.1), окончательно получаем

$$\Omega_M = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}.$$

Ответ: $\Omega_M = L^2 M T^{-3} I^{-2}$

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ и СЕРТИФИКАЦИЯ

ЗАДАНИЕ 2

Контроль размеров и определение годности детали

Рассчитайте предельные размеры отверстия и вала, сравните их с действительными размерами, измеренными контролером, и примите решение о годности детали в одном из трех вариантов:

- 1) деталь является годной;
- 2) деталь – исправимый брак;
- 3) деталь – окончательный брак.

Сделайте в удобном масштабе эскизы положения полей допусков отверстия и вала относительно нулевой линии, соответствующей номинальному диаметру соединения. Нанесите на эскизы действительные размеры поверхностей.

Заполните таблицу выполнения задания.

Варианты задания

| | Размеры на чертеже, мм | | Действительные размеры, мм | |
|----|------------------------|------------------------|----------------------------|------------|
| | отверстия D | вала d | отверстия D_d | вала d_d |
| 01 | $10^{+0,009}$ | $10^{-0,005}_{-0,014}$ | 10,010 | 9,990 |
| 02 | $12^{+0,006}_{-0,012}$ | $12^{+0,023}_{+0,012}$ | 11,800 | 12,020 |
| 03 | $14^{+0,024}_{+0,006}$ | $14_{-0,011}$ | 14,015 | 13,900 |
| 04 | $8^{+0,015}$ | $8^{-0,025}_{-0,040}$ | 8,100 | 7,950 |
| 05 | $28^{-0,014}_{-0,035}$ | $28^{+0,01}_{-0,01}$ | 27,970 | 28,020 |
| 06 | $90^{+0,047}_{+0,012}$ | $90^{-0,036}_{-0,058}$ | 90,050 | 89,970 |
| 07 | $35^{+0,039}$ | $35^{-0,025}_{-0,050}$ | 35,040 | 34,950 |
| 08 | $56^{+0,014}_{-0,032}$ | $56^{-0,030}_{-0,060}$ | 56,020 | 55,970 |
| 09 | $42^{+0,100}$ | $42^{-0,120}_{-0,159}$ | 42,100 | 41,900 |
| 10 | $20^{-0,025}_{-0,050}$ | $20^{+0,035}_{+0,022}$ | 19,950 | 20,050 |
| 11 | $50^{+0,025}$ | $50^{-0,025}_{-0,041}$ | 50,030 | 49,960 |
| 12 | $30^{+0,072}_{+0,020}$ | $30_{-0,021}$ | 30,050 | 29,820 |
| 13 | $25^{+0,084}$ | $25^{-0,020}_{-0,053}$ | 25,010 | 24,980 |

| | | | | |
|-----------|-------------------------|-------------------------|---------|---------|
| 14 | $75^{+0,076}_{+0,030}$ | $75_{-0,046}$ | 75,050 | 74,850 |
| 15 | $120^{+0,140}$ | $120^{+0,080}_{-0,080}$ | 120,100 | 120,150 |
| 16 | $17^{+0,043}_{+0,016}$ | $17^{-0,016}_{-0,043}$ | 17,030 | 17,040 |
| 17 | $26^{+0,027}$ | $26^{-0,040}_{-0,061}$ | 26,050 | 26,000 |
| 18 | $22^{+0,053}_{+0,020}$ | $22^{-0,020}_{-0,033}$ | 22,130 | 21,980 |
| 19 | $105^{-0,024}_{-0,059}$ | $105^{+0,045}_{+0,023}$ | 104,970 | 105,050 |
| 20 | $95^{+0,035}$ | $95^{-0,036}_{-0,071}$ | 95,000 | 94,900 |
| 21 | $15^{+0,075}_{+0,032}$ | $15^{-0,050}_{-0,089}$ | 15,100 | 14,950 |
| 22 | $16^{+0,013}$ | $16^{-0,005}_{-0,009}$ | 16,050 | 16,000 |
| 23 | $140^{-0,020}_{-0,045}$ | $140^{+0,040}_{+0,015}$ | 139,960 | 140,050 |
| 24 | $38^{+0,025}$ | $38^{-0,050}_{-0,075}$ | 38,040 | 37,950 |

Элементы теории

Размер – числовое значение линейной величины (диаметр, длина и т.д.) в выбранных единицах измерения.

Действительный (D_d , d_d) – размер, полученный измерением с допустимой погрешностью, которая зависит от точности измерительного средства.

Номинальный (D , d) – размер, от которого отсчитываются отклонения. Сопрягаемые поверхности имеют общий номинальный размер ($D = d$).

Предельные размеры – два размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер годной детали. Больший из двух предельных размеров называют наибольшим предельным размером ($D_{\text{нб}}, d_{\text{нб}}$), меньший – наименьшим предельным размером ($D_{\text{нм}}, d_{\text{нм}}$).

Предельное отклонение – разность между предельным и номинальным размерами (рис. 2.1). Различают верхние отклонения

$$ES = D_{\text{нб}} - D; \quad (2.1)$$

$$es = d_{\text{нб}} - d \quad (2.2)$$

и нижние отклонения

$$EI = D_{\text{нм}} - D; \quad (2.3)$$

$$ei = d_{\text{нм}} - d. \quad (2.4)$$

Поле допуска – часть пространства, ограниченная верхним и нижним отклонениями.

Допуск – абсолютная величина разности предельных размеров (см. рис. 2.1):

$$TD = D_{\text{нб}} - D_{\text{нм}} = ES - EI; \quad (2.5)$$

$$Td = d_{\text{нб}} - d_{\text{нм}} = es - ei. \quad (2.6)$$

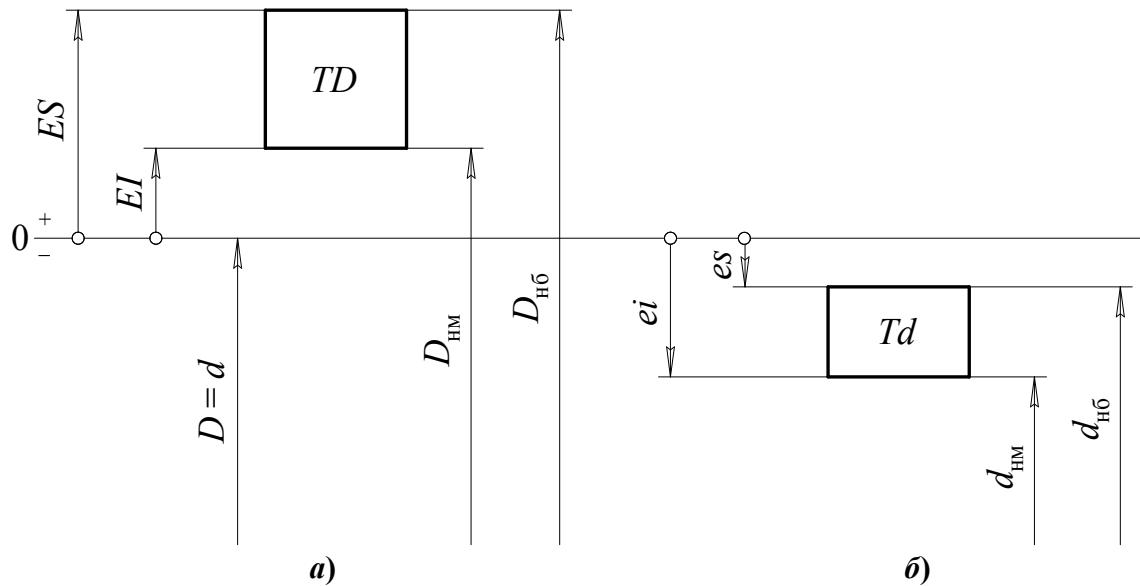


Рис. 2.1. Схемы расположения полей допусков отверстия (а) и вала (б)

Пример выполнения задания

| Наименование параметра | Размеры на чертеже | |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | отверстия | вала |
| Размер по заданию | $110^{+0,034}_{-0,020}$ | $110_{-0,035}$ |
| Номинальный размер | $D = d = 110$ | |
| Верхнее предельное отклонение | $ES = +0,034$ | $es = 0$ |
| Нижнее предельное отклонение | $EI = -0,020$ | $ei = -0,035$ |
| Наибольший предельный размер | $D_{\text{нб}} = 110,034$ | $d_{\text{нб}} = 110,000$ |
| Наименьший предельный размер | $D_{\text{нм}} = 109,980$ | $d_{\text{нм}} = 109,965$ |
| Допуск на размер | $TD = 0,054$ | $Td = 0,035$ |

| | | |
|--|--|--|
| Действительный размер (по заданию) | $D_d = 110,02$ | $d_d = 109,95$ |
| Графическое изображение полей допусков | <p>$D_{h6} = 110,034$</p> <p>$D = 110$</p> <p>$D_{hM} = 109,980$</p> <p>$D_l1 = 110,02$</p> <p>TD</p> | <p>$d_{h6} = d = 110$</p> <p>$d_d = 109,95$</p> <p>$d_{hM} = 109,965$</p> <p>$d_{l1} = 109,995$</p> <p>Td</p> |
| Заключение о годности детали | годная | брок окончательный |

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ и СЕРТИФИКАЦИЯ

ЗАДАНИЕ 3

Статистическое представление данных

В результате n измерений физической величины Q найдено ее среднее арифметическое значение \bar{Q} и рассчитан один из двух параметров: 1) среднеквадратическое отклонение результатов измерений σ или 2) оценка среднеквадратического отклонения результатов S_{σ} .

Найдите доверительный интервал значений величины Q с доверительной вероятностью P . Точность расчетов – до трех десятичных знаков.

Результат решения представьте в виде $Q_p \in [Q_{p \min}; Q_{p \max}]$.

Варианты задания

| | 0 | 10 | 20 |
|---|---|---|--|
| 0 | | $\bar{Q} = 3,15; P = 0,80;$ $S_{\sigma} = 0,02; n = 20$ | $\bar{Q} = 37,19; P = 0,98;$ $\sigma = 1,12; n = 61$ |
| 1 | $\bar{Q} = 5,28; P = 0,95;$ $S_{\sigma} = 0,50; n = 10$ | $\bar{Q} = 18,08; P = 0,99;$ $\sigma = 0,95; n = 16$ | $\bar{Q} = 61,81; P = 0,90;$ $S_{\sigma} = 0,62; n = 41$ |
| 2 | $\bar{Q} = 14,34; P = 0,98;$ $\sigma = 1,10; n = 29$ | $\bar{Q} = 75,14; P = 0,95;$ $S_{\sigma} = 1,17; n = 13$ | $\bar{Q} = 84,13; P = 0,80;$ $\sigma = 0,94; n = 9$ |
| 3 | $\bar{Q} = 63,45; P = 0,90;$ $S_{\sigma} = 0,56; n = 20$ | $\bar{Q} = 14,78; P = 0,95;$ $\sigma = 1,61; n = 25$ | $\bar{Q} = 37,21; P = 0,99;$ $S_{\sigma} = 0,89; n = 27$ |
| 4 | $\bar{Q} = 74,65; P = 0,98;$ $\sigma = 2,35; n = 61$ | $\bar{Q} = 79,82; P = 0,95;$ $S_{\sigma} = 1,48; n = 25$ | $\bar{Q} = 17,94; P = 0,90;$ $\sigma = 1,38; n = 24$ |
| 5 | $\bar{Q} = 47,14; P = 0,99;$ $S_{\sigma} = 0,59; n = 16$ | $\bar{Q} = 87,43; P = 0,98;$ $\sigma = 1,18; n = 27$ | $\bar{Q} = 29,24; P = 0,95;$ $S_{\sigma} = 0,52; n = 17$ |
| 6 | $\bar{Q} = 19,25; P = 0,80;$ $\sigma = 0,15; n = 5$ | $\bar{Q} = 24,67; P = 0,98;$ $S_{\sigma} = 0,57; n = 17$ | $\bar{Q} = 54,47; P = 0,95;$ $\sigma = 1,11; n = 23$ |
| 7 | $\bar{Q} = 65,24; P = 0,90;$ $S_{\sigma} = 1,45; n = 19$ | $\bar{Q} = 98,20; P = 0,99;$ $\sigma = 1,15; n = 13$ | $\bar{Q} = 184,28; P = 0,98;$ $S_{\sigma} = 4,15; n = 31$ |
| 8 | $\bar{Q} = 63,51; P = 0,99;$ $\sigma = 1,18; n = 29$ | $\bar{Q} = 68,09; P = 0,95;$ $S_{\sigma} = 1,25; n = 17$ | $\bar{Q} = 9,78; P = 0,80;$ $\sigma = 0,95; n = 21$ |
| 9 | $\bar{Q} = 58,94; P = 0,90;$ $S_{\sigma} = 1,76; n = 24$ | $\bar{Q} = 52,34; P = 0,98;$ $\sigma = 0,77; n = 30$ | $\bar{Q} = 38,71; P = 0,99;$ $S_{\sigma} = 1,01; n = 8$ |

Элементы теории

Среднее арифметическое измеренной физической величины Q (наружного диаметра детали, ширины шпоночного паза, угла наклона образующей конической поверхности и т.д.)

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (3.1)$$

где n – число измерений (количество деталей в выборке); Q_i – результат отдельного измерения.

В случае *нормального закона распределения* совокупности данных дисперсия (разброс) величины Q характеризуется *среднеквадратическим отклонением*

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}. \quad (3.2)$$

В других случаях используется *оценка среднеквадратического отклонения* результатов измерений

$$S_\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}. \quad (3.3)$$

Из всего массива данных выделяют *доверительный интервал* Q_p – сравнительно узкий диапазон наиболее достоверных результатов измерения физической величины Q . Вероятность P попадания отдельного результата в доверительный интервал называют *доверительной вероятностью*.

Доверительный интервал симметричен относительно центра группирования результатов (среднего арифметического \bar{Q}) и описывается зависимостью

$$Q_p = \bar{Q} \pm \delta_p, \quad (3.4)$$

где δ_p – граница доверительного интервала.

Если определено среднеквадратическое отклонение σ , то

$$\delta_p = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \cdot z_\alpha(P), \quad (3.5)$$

где $z_\alpha(P)$ – квантиль нормального распределения для вероятности P (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Квантили нормального распределения (z -распределения)

| P | 0,80 | 0,90 | 0,95 | 0,98 | 0,99 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $z_\alpha(P)$ | 1,282 | 1,645 | 1,960 | 2,326 | 2,576 |

Если определена оценка среднеквадратического отклонения S_σ , то конфигурация выражения для расчета δ_p зависит от числа измерений n :

– при $n > 30$

$$\delta_p = \frac{S_\sigma}{\sqrt{n}} \cdot z_\alpha(P); \quad (3.6)$$

– при $n \leq 30$

$$\delta_p = \frac{S_\sigma}{\sqrt{n}} \cdot t(k, P), \quad (3.7)$$

где $t(k, P)$ – табличное значение квантиля распределения Стьюдента, определяемое в зависимости от числа степеней свободы k и доверительной вероятности P (табл. 3.2).

Число степеней свободы массива данных

$$k = n - 1. \quad (3.8)$$

Таблица 3.2. Квантили распределения Стьюдента (t -распределения)

| k | P | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0,80 | 0,90 | 0,95 | 0,98 | 0,99 |
| 1 | 3,078 | 6,314 | 12,706 | 31,821 | 63,657 |
| 2 | 1,886 | 2,920 | 4,303 | 6,965 | 9,925 |
| 3 | 1,638 | 2,353 | 3,182 | 4,541 | 5,841 |
| 4 | 1,533 | 2,132 | 2,776 | 3,747 | 4,604 |
| 5 | 1,476 | 2,015 | 2,571 | 3,365 | 4,032 |
| 6 | 1,440 | 1,943 | 2,447 | 3,143 | 3,707 |
| 7 | 1,415 | 1,895 | 2,365 | 2,998 | 3,499 |
| 8 | 1,397 | 1,860 | 2,306 | 2,896 | 3,355 |
| 9 | 1,383 | 1,833 | 2,262 | 2,821 | 3,250 |
| 10 | 1,372 | 1,812 | 2,228 | 2,764 | 3,169 |
| 11 | 1,363 | 1,796 | 2,201 | 2,718 | 3,106 |
| 12 | 1,356 | 1,782 | 2,179 | 2,681 | 3,055 |
| 13 | 1,350 | 1,771 | 2,160 | 2,650 | 3,012 |
| 14 | 1,345 | 1,761 | 2,145 | 2,624 | 2,977 |
| 15 | 1,341 | 1,753 | 2,131 | 2,602 | 2,947 |
| 16 | 1,337 | 1,746 | 2,120 | 2,583 | 2,921 |
| 17 | 1,333 | 1,740 | 2,110 | 2,567 | 2,898 |
| 18 | 1,330 | 1,734 | 2,101 | 2,552 | 2,878 |
| 19 | 1,328 | 1,729 | 2,093 | 2,539 | 2,861 |
| 20 | 1,325 | 1,725 | 2,086 | 2,528 | 2,845 |
| 21 | 1,323 | 1,721 | 2,080 | 2,518 | 2,831 |
| 22 | 1,321 | 1,717 | 2,074 | 2,508 | 2,819 |
| 23 | 1,319 | 1,714 | 2,069 | 2,500 | 2,807 |
| 24 | 1,318 | 1,711 | 2,064 | 2,492 | 2,797 |
| 25 | 1,316 | 1,708 | 2,060 | 2,485 | 2,787 |

| | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 26 | 1,315 | 1,706 | 2,056 | 2,479 | 2,779 |
| 27 | 1,314 | 1,703 | 2,052 | 2,473 | 2,771 |
| 28 | 1,313 | 1,701 | 2,048 | 2,467 | 2,763 |
| 29 | 1,311 | 1,699 | 2,045 | 2,462 | 2,756 |
| 30 | 1,310 | 1,697 | 2,042 | 2,457 | 2,750 |
| 40 | 1,303 | 1,684 | 2,021 | 2,423 | 2,704 |
| 50 | 1,298 | 1,676 | 2,009 | 2,403 | 2,678 |
| 60 | 1,296 | 1,671 | 2,000 | 2,390 | 2,660 |

Пример выполнения задания

Исходные данные

Среднее арифметическое измеренной физической величины $\bar{Q} = 29,24$; оценка среднеквадратического отклонения физической величины $S_\sigma = 0,52$; число измерений $n = 16$; доверительная вероятность $P = 0,95$.

Решение

| № п/п | Рассчитываемая величина | Обозначение | Формула или номер формулы | Результат расчета |
|----------|---|--------------|------------------------------|----------------------|
| 1 | Число степеней свободы массива данных | k | (3.8) | 15 |
| 2 | Квантиль распределения Стьюдента | $t(k, P)$ | табл. 3.2 | 2,131 |
| 3 | Граница доверительного интервала | δ_p | (3.7) | 0,277 |
| 5 | Наименьшее доверительное значение физической величины | $Q_{p \min}$ | (3.4) | 28,963 |
| 6 | Наибольшее доверительное значение физической величины | $Q_{p \max}$ | | 29,517 |

Ответ: $Q_p \in [28,963; 29,517]$

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ и СЕРТИФИКАЦИЯ

ЗАДАНИЕ 4

Контроль размеров деталей штангенциркулями

Измерьте размеры детали в зонах и направлениях, показанных на рис. 4.1, с помощью штангенциркулей трёх типов.

Штангенциркулем типа ШЦ-І измерьте все диаметральные размеры и длину ступени l_1 , штангенциркулем типа ШЦ-ІІ – диаметральные размеры и длину детали l_3 , штангенциркулем типа ШЦ-ІІІ – диаметральные размеры и длину ступени l_2 .

Рассчитайте средние арифметические значения измеренных величин. Заполните табл. 4.1.

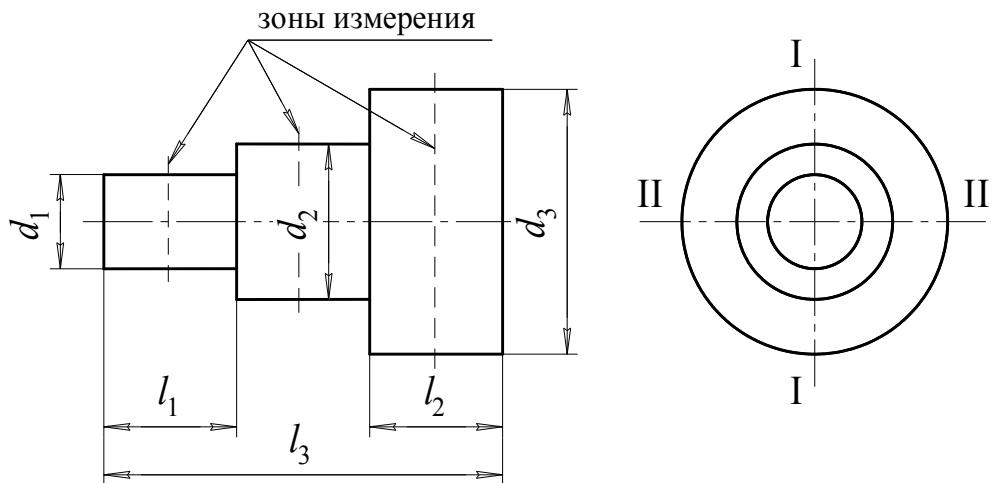


Рис. 4.1. Эскиз детали с зонами и направлениями измерения

Таблица 4.1. Результаты измерения размеров, мм

| Обозначение размера | Тип штангенциркуля | | | | | | Среднее арифметическое значение размера | | | |
|---------------------|------------------------|-------|-----|-------|-----|--------|---|--|--|--|
| | ШЦ-І | | | ШЦ-ІІ | | ШЦ-ІІІ | | | | |
| | Пределы измерения, мм | | | | | | | | | |
| | Точность измерения, мм | | | | | | | | | |
| | Направление измерения | | | | | | | | | |
| | I-I | II-II | I-I | II-II | I-I | II-II | | | | |
| | d_1 | | | | | | | | | |
| d_2 | | | | | | | | | | |
| d_3 | | | | | | | | | | |
| l_1 | | | | | | | | | | |
| l_2 | X | X | X | X | X | X | | | | |
| l_3 | X | X | X | X | X | X | | | | |

Элементы теории

Штангенциркуль – это универсальный ручной измерительный прибор, предназначенный для измерения наружных и внутренних линейных размеров деталей.

В соответствии с ГОСТ 166-89 в отечественном машиностроении используются штангенциркули трёх типов:

- 1) ШЦ-І – двусторонний с глубиномером (рис. 4.2);
- 2) ШЦ-ІІ – двусторонний с микрометрической подачей рамки (рис. 4.3);
- 3) ШЦ-ІІІ – односторонний (рис. 4.4).

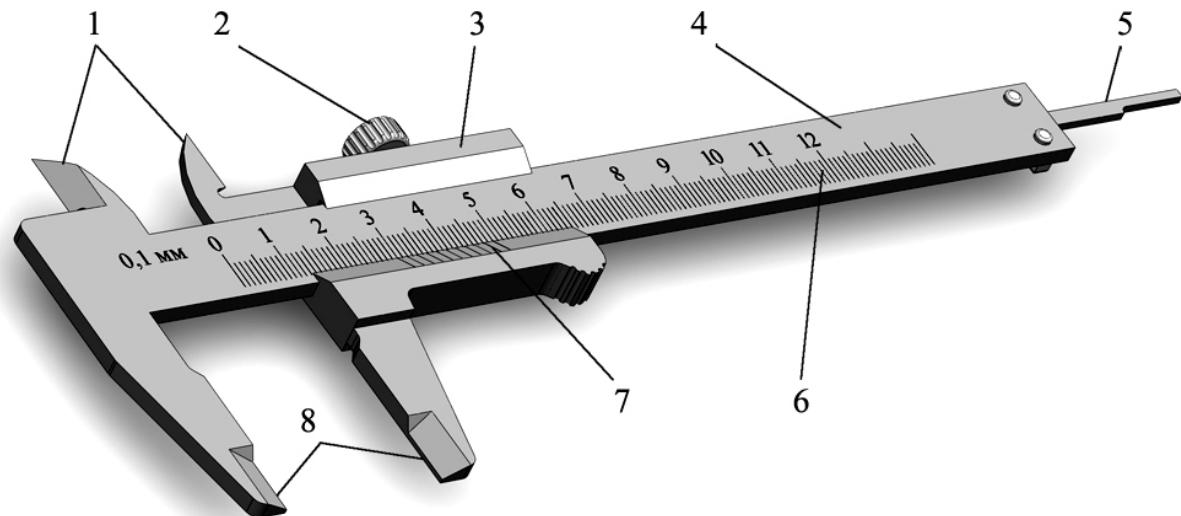


Рис. 4.2. Штангенциркуль ШЦ-І: 1 – губки для внутренних измерений; 2 – зажим рамки; 3 – рамка; 4 – штанга; 5 – линейка глубиномера; 6 – шкала штанги; 7 – нониус; 8 – губки для наружных измерений

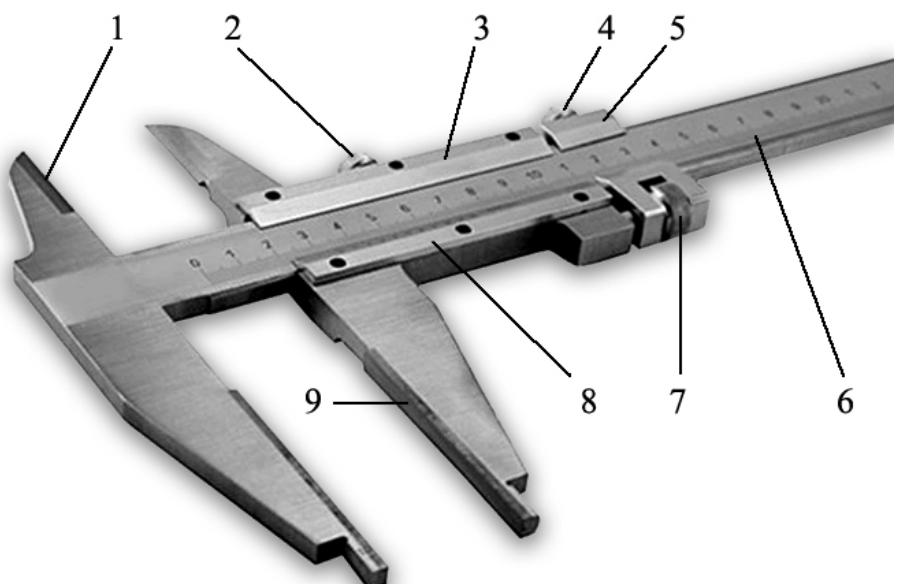


Рис. 4.3. Штангенциркуль ШЦ-ІІ: 1 – неподвижные измерительные губки; 2 – зажим рамки; 3 – рамка; 4 – зажим рамки микрометрической подачи; 5 – рамка микрометрической подачи; 6 – штанга; 7 – гайка и винт микрометрической подачи; 8 – нониус; 9 – подвижные измерительные губки

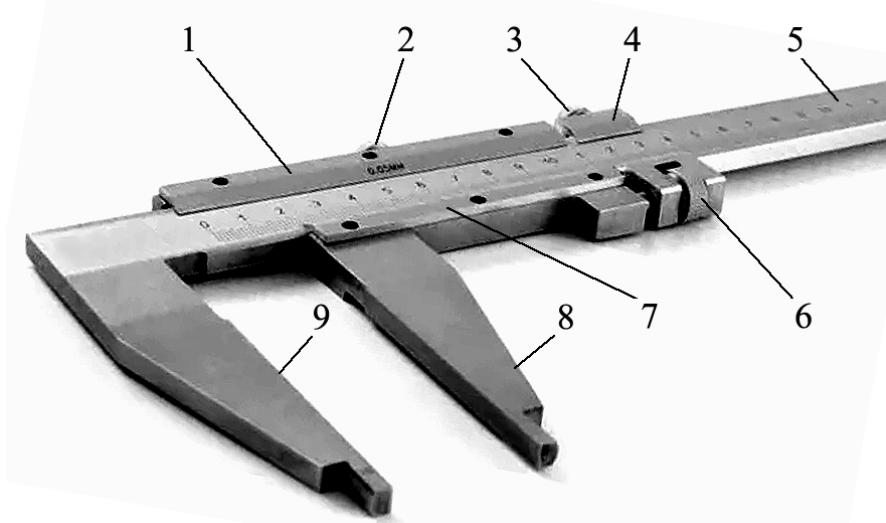


Рис. 4.4. Штангенциркуль ШЦ-III: 1 – рамка; 2 – зажим рамки; 3 – зажим рамки микрометрической подачи; 4 – рамка микрометрической подачи; 5 – штанга; 6 – гайка и винт микрометрической подачи; 7 – нониус; 8 – подвижная измерительная губка; 9 – неподвижная измерительная губка

Обязательными частями всех штангенциркулей являются штанга с основной шкалой и неподвижными губками, рамка с нониусом и подвижными губками и зажим рамки.

Основная шкала имеет цену деления 1 мм. По ней отсчитывается число целых миллиметров в измеряемом размере, которое определяется положением нулевого (крайнего левого) штриха нониуса (рис. 4.5, а). Нулевой штрих нониуса на рис. 4.5, а отмечен знаком ×.

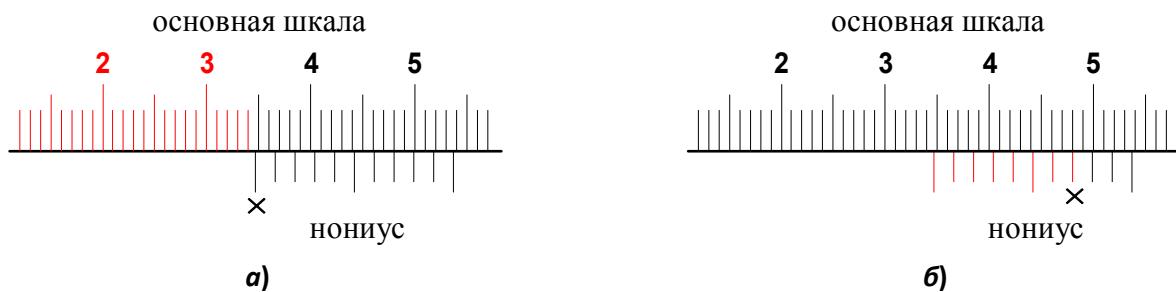


Рис. 4.5. Отсчёт по шкалам штангенциркуля с точностью 0,1 мм: а – определение целого числа миллиметров (результат отсчёта – 34 мм); б – определение десятых долей миллиметра (количество десятых долей – 7; общий результат измерения размера – 34,7 мм)

Точность измерения размеров штангенциркулями зависит от числа делений нониуса и рассчитывается по формуле

$$\text{Точность измерения} = \frac{\text{Цена деления основной шкалы}}{\text{Число делений нониуса}}. \quad (4.1)$$

В соответствии с (4.1) точность измерения (цена деления нониуса) штангенциркулем с нониусом, имеющим 10 делений, составляет 0,1 мм, а с нониусом, имеющим 20 делений, – 0,05 мм.

Для определения десятых (сотых) долей миллиметра (рис. 4.5, б):

1) визуально определяют штрих нониуса, совпадающий с каким-либо штрихом основной шкалы (на рис. 4.5, б этот штрих отмечен знаком \times);

2) подсчитывают число делений нониуса от нулевого до совпадающего штриха и умножают это число на цену деления нониуса.

Окончательный результат измерения равен сумме отсчётов по основной шкале и по нониусу.

Контрольные вопросы

1. Какова точность измерения размеров штангенциркулями, шкалы которых показаны на рис. 4.6?

2. Прочитайте показания штангенциркулей на рис. 4.6.



a)



б)

Рис. 4.6. Показания штангенциркулей при измерении размеров детали (штрихи нониусов, совпадающие со штрихами основных шкал, отмечены знаком \times)