

## ОБЩИЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

При расчете, конструировании, эксплуатации инструментов возникают вопросы, связанные с математическими функциями, условными обозначениями, расчетами площадей и объемов фигур и тел, размерностями различных величин в системе СИ и ранее применявшихся системах, с некоторыми физико-механическими и теплофизическими свойствами материалов, правилами простановки размеров и отклонений в технической документации, расчетами размерных цепей.

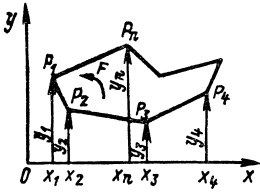
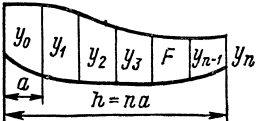
## 1.1. Вычисление площадей и других элементов фигур

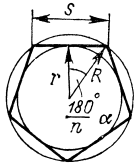
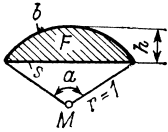
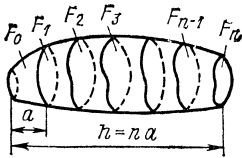
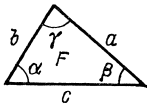
**Вычисление элементов многоугольников.** Основные элементы многоугольников приведены в табл. 1.1, 1.2. Площади геометрических фигур вычисляются по следующим формулам:

площадь ромба —  $F = d_1 d_2 / 2$ , где  $d_1$  и  $d_2$  — диагонали ромба;

площадь параллелограмма —  $F = ab \sin \alpha = ah$ , где  $\alpha$  — угол между сторонами  $a$  и  $b$  ( $a \parallel b$ );  $h$  — высота,  $h \perp a$ ;

## 1.1. Основные элементы многоугольников

| Элемент и формула для расчета                                                                                                                                                              | Эскиз                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Площадь фигуры, ограниченной прямыми линиями, <math>F = 0,5 [(x_1 y_2 - x_2 y_1) + (x_2 y_3 - x_3 y_2) + \dots + (x_n y_1 - x_1 y_n)]</math></p>                                        |  |
| <p>Площадь фигуры, ограниченной произвольной кривой (разбивается на <math>n</math> равных частей),</p> $F_n \approx h \frac{y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + \dots + 4y_{n-1} + y_n}{3n}$ |  |

| Элемент и формула для расчета                                                                                                                                                                                                                                                                      | Эскиз                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Основные размеры правильных многоугольников (<math>n</math> — число сторон):<br/> <math>S = 2R \sin \alpha</math>; <math>r = R \cos \alpha</math>; <math>F = 0,5nr^2 \operatorname{tg} \alpha</math>;<br/> <math>\alpha = 180^\circ/n</math>; значения <math>S, r, R</math> см. в табл. 1.2</p> |    |
| <p>Размеры сегментов</p> $h = r \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) = \frac{s}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4}; \quad b = r\alpha;$ $S = 2r \sin \frac{\alpha}{2}; \quad F = 0,5 [r(b-s) + Sh]$                                                                                         |    |
| <p>Объем фигуры произвольной формы:</p> $V = h \frac{F_0 + 4F_1 + 2F_2 + 4F_3 + 2F_4 + \dots + 4F_{n-1} + F_n}{3n}$                                                                                                                                                                                |    |
| <p>Площадь и углы треугольника:</p> $\cos \alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}; \quad \cos \beta = \frac{c^2 + a^2 - b^2}{2ac};$ $F = \sqrt{S(S-a)(S-b)(S-c)}, \quad \text{где } S = \frac{a+b+c}{2}; \quad \gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta)$                                                 |  |

площадь трапеции —  $F = h(a+b)/2 = mh$ , где  $a$  и  $b$  — длины сторон трапеции ( $a \parallel b$ );  $m$  — средняя линия трапеции,  $m = (a+b)/2$ ;  $h$  — высота трапеции,  $h \perp a$ ;

площадь кругового сектора —  $F = lR/a = \alpha R^2/2 = \alpha_1 R^2 \pi/360^\circ$ , где  $l$  — длина дуги сектора;  $\alpha$  и  $\alpha_1$  — центральный угол сектора в радианах и градусах соответственно;

площадь кольцевого сектора —  $F = \alpha(R^2 - r^2) \pi/360^\circ$ .

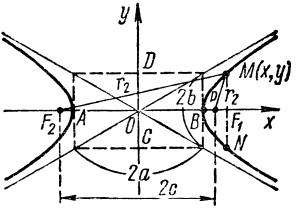
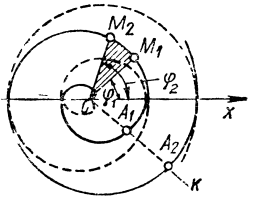
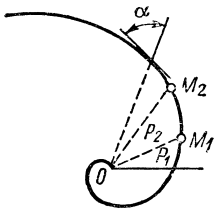
Элементы некоторых плоских кривых приведены в табл. 1.3 и 1.4.

1.2. Значения  $S$ ,  $R$  и  $r$  для многоугольников  
в зависимости от числа сторон  $n$

| $n$ | $S$            | $R$            | $r$            |
|-----|----------------|----------------|----------------|
| 3   | 1,732R; 3,464r | 0,577S; 2,000r | 0,289S; 0,500R |
| 4   | 1,414R; 2,000r | 0,707S; 1,414r | 0,500S; 0,707R |
| 5   | 1,176R; 1,453r | 0,851S; 1,236r | 0,688S; 0,809R |
| 6   | 1,000R; 1,155r | 1,000S; 1,155r | 0,866S; 0,866R |
| 7   | 0,868R; 0,963r | 1,152S; 1,110r | 1,038S; 0,901R |
| 8   | 0,765R; 0,828r | 1,307S; 1,082r | 1,207S; 0,924R |
| 9   | 0,684R; 0,728r | 1,462S; 1,064r | 1,374S; 0,940R |
| 10  | 0,618R; 0,650r | 1,618S; 1,052r | 1,539S; 0,951R |
| 11  | 0,564R; 0,587r | 1,775S; 1,042r | 1,703S; 0,960R |
| 12  | 0,518R; 0,536r | 1,932S; 1,035r | 1,866S; 0,966R |

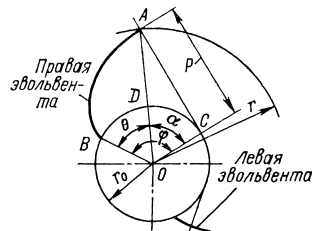
1.3. Элементы некоторых плоских кривых

| Кривая, ее уравнение,<br>радиус кривизны<br>в точке $M(x, y)$                                                                                     | Площадь сектора<br>или сегмента                                                                                                                                                       | Эскиз |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <p>Эллипс: <math>\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1</math>; <math>R = a^2b^2 \left( \frac{x^2}{a^4} + \frac{y^2}{b^4} \right)^{3/2}</math></p> | <p><math>F = \pi ab</math>; площадь сектора <math>F_c = \frac{ab}{2} \times \arccos \frac{x}{a}</math>; площадь сегмента <math>F_{cm} = ab \times \arccos \frac{x}{a} - xy</math></p> |       |
| <p>Парабола: <math>y^2 = 2px</math>;<br/><math>R = \frac{(p + 2x)^{3/2}}{\sqrt{p}}</math></p>                                                     | <p>Площадь сегмента <math>F_{cm} = 2/3 Sh</math></p>                                                                                                                                  |       |

| Кривая, ее уравнение<br>радиус кривизны<br>в точке $M(x, y)$                                                                                                 | Площадь сектора<br>или сегмента                                                                  | Эскиз                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Гипербола: <math>\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1</math>; <math>R =</math></p> $= a^2 b^2 \left( \frac{x^2}{a^4} + \frac{y^2}{b^4} \right)^{3/2}$    | <p>Площадь сегмента</p> $F_{\text{с.м.}} = xy - ab \ln \left( \frac{x}{a} + \frac{y}{b} \right)$ |    |
| <p>Спираль Архимеда: <math>\rho = a\varphi</math>; <math>a = \frac{v}{\omega}</math>;</p> $R = a \frac{(\varphi^3 + 1)^{3/2}}{\varphi^2 + 2}$                | <p>Площадь сектора</p> $M_1 O M_2 \quad F_c =$ $= \frac{a^2}{6} (\varphi_2^3 - \varphi_1^3)$     |   |
| <p>Логарифмическая спираль: <math>\rho = a^\varphi</math>,<br/>где <math>a = \text{const}</math>; (<math>a &gt; 0</math>),</p> $R = \rho \sqrt{1 + \ln^2 a}$ | <p>—</p>                                                                                         |  |

1.4. Значения инвалюты  $\text{inv } \alpha \cdot 10$  при значениях угла  $\alpha$  от  $10^\circ$  до  $30^\circ$  и  $r = 1$  мм

$$\theta = \text{inv } \alpha = \text{tg } \alpha - \alpha; AC = \text{tg } \alpha = P = \widehat{BDC}; \widehat{DC} = \alpha$$



| $\alpha, ^\circ$ | $0'$    | $5'$    | $10'$   | $15'$   | $20'$   | $25'$   | $30'$   | $35'$   | $40'$   | $45'$   | $50'$   | $55'$   | $60'$   |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 10               | 0,01794 | 0,01840 | 0,01886 | 0,01933 | 0,01981 | 0,02030 | 0,02079 | 0,02130 | 0,02181 | 0,02233 | 0,02286 | 0,02340 | 0,02394 |
| 11               | 0,02394 | 0,02449 | 0,02506 | 0,02563 | 0,02621 | 0,02680 | 0,02739 | 0,02800 | 0,02862 | 0,02924 | 0,02988 | 0,03052 | 0,03117 |
| 12               | 0,03117 | 0,03183 | 0,03250 | 0,03318 | 0,03388 | 0,03458 | 0,03528 | 0,03600 | 0,03673 | 0,03747 | 0,03822 | 0,03898 | 0,03975 |
| 13               | 0,03975 | 0,04053 | 0,04132 | 0,04213 | 0,04294 | 0,04376 | 0,04459 | 0,04544 | 0,04629 | 0,04716 | 0,04803 | 0,04892 | 0,04982 |
| 14               | 0,04982 | 0,05073 | 0,05165 | 0,05258 | 0,05353 | 0,05448 | 0,05545 | 0,05643 | 0,05742 | 0,05842 | 0,05943 | 0,06046 | 0,06150 |
| 15               | 0,06150 | 0,06255 | 0,06361 | 0,06469 | 0,06577 | 0,06687 | 0,06798 | 0,06911 | 0,07025 | 0,07140 | 0,07256 | 0,07374 | 0,07493 |
| 16               | 0,07493 | 0,07613 | 0,07735 | 0,07857 | 0,07982 | 0,08107 | 0,08234 | 0,08362 | 0,08492 | 0,08623 | 0,08756 | 0,08889 | 0,09026 |
| 17               | 0,09025 | 0,09161 | 0,09299 | 0,09439 | 0,09580 | 0,09723 | 0,09866 | 0,10012 | 0,10158 | 0,10307 | 0,10456 | 0,10608 | 0,10760 |
| 18               | 0,10760 | 0,10915 | 0,11071 | 0,11228 | 0,11387 | 0,11547 | 0,11709 | 0,11873 | 0,12038 | 0,12205 | 0,12373 | 0,12543 | 0,12715 |
| 19               | 0,12715 | 0,12888 | 0,13063 | 0,13240 | 0,13418 | 0,13598 | 0,13779 | 0,13963 | 0,14148 | 0,14334 | 0,14522 | 0,14713 | 0,14904 |
| 20               | 0,14904 | 0,15098 | 0,15293 | 0,15490 | 0,15689 | 0,15890 | 0,16092 | 0,16296 | 0,16502 | 0,16710 | 0,16920 | 0,17132 | 0,17345 |
| 21               | 0,17345 | 0,17560 | 0,17777 | 0,17996 | 0,18217 | 0,18400 | 0,18665 | 0,18891 | 0,19120 | 0,19350 | 0,19583 | 0,19817 | 0,20054 |
| 22               | 0,20054 | 0,20292 | 0,20533 | 0,20775 | 0,21019 | 0,21266 | 0,21514 | 0,21765 | 0,22018 | 0,22272 | 0,22529 | 0,22788 | 0,23049 |
| 23               | 0,23049 | 0,23312 | 0,23577 | 0,23745 | 0,24114 | 0,24386 | 0,24660 | 0,24936 | 0,25214 | 0,25495 | 0,25778 | 0,26062 | 0,26350 |
| 24               | 0,26350 | 0,26639 | 0,26931 | 0,27225 | 0,27521 | 0,27820 | 0,28121 | 0,28424 | 0,28729 | 0,29037 | 0,29348 | 0,29660 | 0,29975 |
| 25               | 0,29975 | 0,30293 | 0,30613 | 0,30935 | 0,31260 | 0,31587 | 0,31916 | 0,32249 | 0,32583 | 0,32920 | 0,33260 | 0,33602 | 0,33947 |
| 26               | 0,33947 | 0,34294 | 0,34644 | 0,34996 | 0,35352 | 0,35709 | 0,36069 | 0,36432 | 0,36798 | 0,37166 | 0,37537 | 0,37910 | 0,38287 |
| 27               | 0,38286 | 0,38666 | 0,39047 | 0,39432 | 0,39819 | 0,40209 | 0,40602 | 0,40997 | 0,41395 | 0,41797 | 0,42201 | 0,42607 | 0,43017 |
| 28               | 0,43017 | 0,43430 | 0,43845 | 0,44264 | 0,44685 | 0,45110 | 0,45537 | 0,45967 | 0,46400 | 0,46837 | 0,47276 | 0,47718 | 0,48164 |
| 29               | 0,48164 | 0,48612 | 0,49063 | 0,49518 | 0,49976 | 0,50437 | 0,50901 | 0,51368 | 0,51838 | 0,52312 | 0,52788 | 0,53268 | 0,53751 |

## 1.2. Международная система единиц (СИ)

Размерность физических величин, а также их наименования и использование по ГОСТ 8.417—81\* (СТ СЭВ 1052—78) должны соответствовать Международной системе единиц, представляющей собой основу для унификации единиц физических величин во всем мире (табл. 1.5—1.7).

Кратные и дольные единицы измерения образуются путем умножения основных единиц на степень числа 10 (табл. 1.8). Их наименование (обозначение) добавляется в виде приставки к наименованию (обозначению) основных (или производных) единиц, например сантиметр (см), пикофарада (пф) и т. д.

Ниже приведены двухсимвольные латинские коды стран.

| Страна         | Код | Страна     | Код | Страна    | Код |
|----------------|-----|------------|-----|-----------|-----|
| Австралия      | AU  | Ирландия   | IE  | СФРЮ      | JU  |
| Австрия        | AT  | Италия     | IT  | США       | US  |
| АРЕ            | EG  | Канада     | CA  | Финляндия | FI  |
| БНР            | BG  | КНДР       | KP  | Франция   | FR  |
| Великобритания | GB  | Нидерланды | NL  | ФРГ       | BR  |
| ВНР            | HU  | Норвегия   | NO  | ЧССР      | CS  |
| ГДР            | DD  | ПНР        | PL  | Швейцария | SH  |
| Дания          | DK  | СРР        | RO  | Швеция    | SE  |
| Индия          | TN  | СССР       | SU  | Япония    | JP  |

Европейский патент обозначается через ЕР; международная заявка (PST) — через WO.

### 1.5. Основные и дополнительные единицы международной системы единиц (СИ)

| Величина                         | Размерность | Единица      |                |         |
|----------------------------------|-------------|--------------|----------------|---------|
|                                  |             | Наименование | Обозначение    |         |
|                                  |             |              | между-народное | русское |
| Основные единицы                 |             |              |                |         |
| Длина                            | L           | метр         | m              | м       |
| Масса                            | M           | килограмм    | kg             | кг      |
| Время                            | T           | секунда      | s              | с       |
| Сила электрического<br>тока      | I           | ампер        | A              | А       |
| Термодинамическая<br>температура | Θ           | кельвин      | K              | К       |
| Количество вещества              | N           | моль         | mol            | моль    |
| Сила света                       | J           | кандела      | cd             | кд      |

| Величина                                                 | Размерность     | Единица                      |               |                    |
|----------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------|---------------|--------------------|
|                                                          |                 | Наименование                 | Обозначение   |                    |
|                                                          |                 |                              | международное | русское            |
| Дополнительные единицы                                   |                 |                              |               |                    |
| Плоский угол                                             | —               | радиан                       | rad           | рад                |
| Телесный угол                                            | —               | стерадиан                    | sr            | ср                 |
| Производные единицы                                      |                 |                              |               |                    |
| Площадь                                                  | $L^2$           | квадратный метр              | $m^2$         | $m^2$              |
| Объем, вместимость                                       | $L^3$           | кубический метр              | $m^3$         | $m^3$              |
| Скорость                                                 | $LT^{-1}$       | метр в секунду               | m/s           | м/с                |
| Угловая скорость                                         | $T^{-1}$        | радиан в секунду             | rad/s         | рад/с              |
| Ускорение                                                | $LT^{-2}$       | метр на секунду в квадрате   | $m/s^2$       | $m/c^2$            |
| Угловое ускорение                                        | $T^{-2}$        | радиан на секунду в квадрате | $rad/s^2$     | рад/с <sup>2</sup> |
| Плотность                                                | $L^{-3}M$       | килограмм на кубический метр | $kg/m^3$      | $кг/м^3$           |
| Удельный объем                                           | $L^3M^{-1}$     | кубический метр на килограмм | $m^3/kg$      | $м^3/кг$           |
| Плотность электрического тока                            | $L^{-2}I$       | ампер на квадратный метр     | $A/m^2$       | $A/м^2$            |
| Напряженность магнитного поля                            | $L^{-1}I$       | ампер на метр                | $A/m$         | $A/м$              |
| Яркость                                                  | $L^{-2}J$       | кандела на квадратный метр   | $cd/m^2$      | $кд/м^2$           |
| Производные единицы СИ, имеющие специальные наименования |                 |                              |               |                    |
| Частота                                                  | $T^{-1}$        | герц                         | Hz            | Гц                 |
| Сила, вес                                                | $LMT^{-2}$      | ньютон                       | N             | Н                  |
| Давление, механическое напряжение, модуль упругости      | $L^{-1}MT^{-2}$ | паскаль                      | Pa            | Па                 |
| Энергия, работа, количество теплоты                      | $L^2MT^{-2}$    | джоуль                       | J             | Дж                 |
| Мощность, поток энергии                                  | $L^2MT^{-3}$    | ватт                         | W             | Вт                 |

| Величина                                                                                                    | Размерность           | Единица              |                |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------|----------|
|                                                                                                             |                       | Наименование         | Обозначение    |          |
|                                                                                                             |                       |                      | международное  | русское  |
| Производные единицы СИ (примеры),<br>названия которых образованы с использованием специальных наименований  |                       |                      |                |          |
| Момент силы                                                                                                 | $L^2MT^{-2}$          | ньютон-метр          | <b>N·m</b>     | Н·м      |
| Поверхностное напряжение, жесткость                                                                         | $MT^{-2}$             | ньютон на метр       | <b>N/m</b>     | Н/м      |
| Динамическая вязкость                                                                                       | $L^{-1}MT^{-1}$       | паскаль-секунда      | <b>Pa·s</b>    | Па·с     |
| Напряженность электрического поля                                                                           | $LMT^{-3}I^{-1}$      | вольт на метр        | <b>V/m</b>     | В/м      |
| Абсолютная диэлектрическая проницаемость                                                                    | $L^{-3}M^{-1}T^4I^2$  | фарад на метр        | <b>F/m</b>     | Ф/м      |
| Абсолютная магнитная проницаемость                                                                          | $LMT^{-2}I^{-2}$      | генри на метр        | <b>H/m</b>     | Гн/м     |
| Удельная энергия                                                                                            | $L^2T^{-2}$           | джоуль на килограмм  | <b>J/kg</b>    | Дж/кг    |
| Теплопроводность                                                                                            | $LMT^{-3}\Theta^{-1}$ | ватт на метр-кельвин | <b>W (m·K)</b> | Вт/(м·К) |
| Энергетическая сила света (сила излучения)                                                                  | $L^2MT^{-3}$          | ватт на стерадиан    | <b>W/sr</b>    | Вт/ср    |
| Количество электричества (электрический заряд)                                                              | <b>TI</b>             | кулон                | <b>C</b>       | Кл       |
| Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила | $L^2MT^{-3}$          | вольт                | <b>V</b>       | В        |
| Электрическая емкость                                                                                       | $L^{-2}M^{-1}T^4I^2$  | фарад                | <b>F</b>       | Ф        |
| Электрическое сопротивление                                                                                 | $L^2MT^{-3}I^2$       | ом                   | <b>Ω</b>       | Ом       |
| Электрическая проводимость                                                                                  | $L^{-2}M^{-1}T^3I^2$  | сименс               | <b>S</b>       | См       |
| Поток магнитной индукции, магнитный поток                                                                   | $L^2MT^{-2}I^{-1}$    | вебер                | <b>Wb</b>      | Вб       |
| Плотность магнитного потока, магнитная индукция                                                             | $MT^{-2}I^{-1}$       | тесла                | <b>T</b>       | Тл       |
| Индуктивность, взаимная индуктивность                                                                       | $L^2MT^{-2}I^{-2}$    | генри                | <b>H</b>       | Гн       |
| Световой поток                                                                                              | <b>J</b>              | люмен                | <b>lm</b>      | лм       |
| Освещенность                                                                                                | $L^{-2}J$             | люкс                 | <b>lx</b>      | лк       |

\* Примеры производных единиц, образованных из основных и дополнительных единиц

**1.6. Внесистемные единицы, допускаемые к применению  
наравне с единицами СИ**

| Величина            | Единица                     |                      |                      | Примечание                                                                                                        |
|---------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     | Наименование                | Обозначение          |                      |                                                                                                                   |
|                     |                             | международное        | русское              |                                                                                                                   |
| Масса               | тонна                       | t                    | т                    | —                                                                                                                 |
| Время               | минута<br>час<br>сутки      | min<br>h<br>d        | мин<br>ч<br>сут      | Допускается применять широко распространенные единицы (неделя, месяц, год, век, тысячелетие и т. п.)              |
| Плоский угол        | градус<br>минута<br>секунда | ...°<br>...'<br>..." | ...°<br>...'<br>..." | —                                                                                                                 |
| Объем, вместимость  | литр                        | l                    | л                    | Применять при точных измерениях не рекомендуется. При возможности смешения l с цифрой 1 допускается обозначение L |
| Оптическая сила     | диоптрия                    | —                    | дптр                 | —                                                                                                                 |
| Площадь             | гектар                      | ha                   | га                   | —                                                                                                                 |
| Энергия             | электрон-вольт              | eV                   | эВ                   | —                                                                                                                 |
| Полная мощность     | вольт-ампер                 | V·A                  | В·А                  | —                                                                                                                 |
| Реактивная мощность | вар                         | var                  | вар                  | —                                                                                                                 |

**1.7. Соотношения некоторых внесистемных и замененных единиц  
с единицами СИ**

| Величина | Единица                |                 | Соотношение с единицей СИ                 |
|----------|------------------------|-----------------|-------------------------------------------|
|          | Наименование           | Обозначение     |                                           |
| Длина    | микрон<br>ангстрем     | μ<br>Å          | 10 <sup>-6</sup> м<br>10 <sup>-10</sup> м |
| Время    | минута<br>час<br>сутки | мин<br>ч<br>сут | 60 с<br>3 600 с<br>86 400 с               |

| Величина                | Единица                                   |                 | Соотношение<br>с единицей СИ                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------|-------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | Наименование                              | Обозначение     |                                                                                                                                                                                                                           |
| Плоский угол            | градус                                    | $\dots^\circ$   | $(\pi/180) = 1,745329 \cdot 10^{-2}$ рад<br>$(\pi/10\ 800)$ рад =<br>$= 2,908882 \dots \cdot 10^{-4}$ рад<br>$(\pi/648\ 000)$ рад =<br>$= 4,848137 \dots \cdot 10^{-6}$ рад<br>1,570796 рад<br>6,283185 рад<br>0,0157 рад |
|                         | минута                                    | $\dots'$        |                                                                                                                                                                                                                           |
|                         | секунда                                   | $\dots''$       |                                                                                                                                                                                                                           |
|                         | прямой угол                               | $\perp$         |                                                                                                                                                                                                                           |
|                         | оборот (пол-<br>ный угол)                 | об              |                                                                                                                                                                                                                           |
|                         | град (или гон)                            | град            |                                                                                                                                                                                                                           |
| Телесный угол           | квадратный<br>градус                      | $\square^\circ$ | $3,0462 \dots \cdot 10^{-4}$ ср                                                                                                                                                                                           |
| Масса                   | карат                                     | —               | $2 \cdot 10^{-4}$ кг                                                                                                                                                                                                      |
| Объем, вмести-<br>мость | литр                                      | л               | $10^{-3}$ м <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                  |
| Частота враще-<br>ния   | оборот                                    | об/с            | $1\ c^{-1}$                                                                                                                                                                                                               |
|                         | в секунду<br>оборот<br>в минуту           | об/мин          | $1/60c^{-1} = 0,016\ (6)\ c^{-1}$                                                                                                                                                                                         |
| Угловая ско-<br>рость   | градус                                    | $\dots^\circ/c$ | $0,01745329$ рад/с                                                                                                                                                                                                        |
|                         | в секунду                                 | об/с            | $6,283185$ рад/с                                                                                                                                                                                                          |
|                         | оборот<br>в секунду<br>оборот<br>в минуту | об/мин          | $0,1047197$ рад/с                                                                                                                                                                                                         |
| Массовый рас-<br>ход    | килограмм                                 | кг/мин          | $16,60 \cdot 10^{-3}$ кг/с                                                                                                                                                                                                |
|                         | в минуту<br>килограмм<br>в час            | кг/ч            | $277,8 \cdot 10^{-6}$ кг/с                                                                                                                                                                                                |
| Объемный рас-<br>ход    | литр<br>в секунду                         | л/с             | $10^{-3}$ м <sup>3</sup> /с                                                                                                                                                                                               |

| Величина                                             | Единица                                                                        |                                          | Соотношение с единицей СИ                      |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                                                      | Наименование                                                                   | Обозначение                              |                                                |
| Давление                                             | техническая атмосфера<br>килограмм-сила на квадратный сантиметр                | ат<br><br>кгс/см <sup>2</sup>            | 98 066,5 Па (точно)                            |
|                                                      | физическая атмосфера<br>миллиметр водяного столба<br>миллиметр ртутного столба | атм<br><br>мм вод. ст.<br><br>мм рт. ст. | 101 325 Па<br><br>9,80665 Па<br><br>133,322 Па |
| Напряжение (механическое) нормальное и касательное   | килограмм-сила на квадратный миллиметр                                         | кгс/мм <sup>2</sup>                      | 9,80665 · 10 <sup>6</sup> Па (точно)           |
| Работа, энергия                                      | киловатт-час<br>ватт-час                                                       | кВт·ч<br>Вт·ч                            | 3,6 · 10 <sup>6</sup> Дж<br>3600 Дж            |
| Мощность                                             | лошадиная сила                                                                 | л. с.                                    | 735,499 Вт                                     |
| Количество электричества                             | ампер-час                                                                      | А·ч                                      | 3,6 · 10 <sup>3</sup> Кл                       |
| Динамическая вязкость                                | пуаз                                                                           | П                                        | 0,1 Па·с                                       |
| Кинематическая вязкость                              | стокс                                                                          | Ст.                                      | 10 <sup>-4</sup> м <sup>2</sup> /с             |
| Удельное электрическое сопротивление                 | ом-квадратный миллиметр                                                        | Ом·мм <sup>2</sup> /м                    | 10 <sup>-6</sup> Ом·м                          |
| Магнитный поток                                      | максвелл                                                                       | Мкс                                      | 10 <sup>-8</sup> Вб                            |
| Магнитная индукция                                   | гаусс                                                                          | Гс                                       | 10 <sup>-4</sup> Т                             |
| Магнитодвижущая сила, разность магнитных потенциалов | гильберт                                                                       | Гб                                       | (10/4π) А = 0,795775... А                      |
| Напряженность магнитного поля                        | эрстед                                                                         | Э                                        | (10 <sup>3</sup> /4π) А = 79,5775... А/м       |

### 1.8. Наименование и обозначение кратных и дольных приставок к единицам измерений

| Приставка | Обозначение приставки |         | Кратность<br>(дольность) | Принятое в обиходе<br>наименование |
|-----------|-----------------------|---------|--------------------------|------------------------------------|
|           | международное         | русское |                          |                                    |
| —         | —                     | —       | $10^{18}$                | Триллион                           |
| —         | —                     | —       | $10^{15}$                | Биллиард                           |
| Тера      | T                     | Т       | $10^{12}$                | Биллион                            |
| Гига      | G                     | Г       | $10^9$                   | Миллиард                           |
| Мега      | M                     | М       | $10^6$                   | Миллион                            |
| Кило      | k                     | К       | $10^3$                   | Тысяча                             |
| Гекто     | h                     | г       | $10^2$                   | Сто                                |
| Дека      | da                    | да      | 10                       | Десять                             |
| Деци      | d                     | д       | $10^{-1}$                | Десятая                            |
| Санتي     | c                     | с       | $10^{-2}$                | Сотая                              |
| Милли     | m                     | м       | $10^{-3}$                | Тысячная                           |
| Микро     | $\mu$                 | мк      | $10^{-6}$                | Миллионная                         |
| Нано      | n                     | н       | $10^{-9}$                | Миллиардная                        |
| Пико      | p                     | п       | $10^{-12}$               | Биллионная                         |
| Фемто     | f                     | ф       | $10^{-15}$               | Биллиардная                        |
| Атто      | a                     | а       | $10^{-18}$               | Триллионная                        |

### 1.3. Физико-механические характеристики материалов

Физико-механические свойства металлов приведены в табл. 1.9, а физические свойства некоторых материалов — в табл. 1.10.

Термодинамические параметры тела (плотность, температура, давление) характеризуют процессы взаимного превращения тепла и работы и называются термическими параметрами состояния. В связи с этим значения некоторых параметров в таблицах приведены при определенной температуре.

Температура оценивается в градусах шкалы Кельвина ( $T^{\circ}\text{K}$ ) или Цельсия ( $t^{\circ}\text{C}$ ). В литературе встречаются также обозначения температуры по другим шкалам — Реомюра ( $T^{\circ}\text{R}$ ), Фаренгейта ( $T^{\circ}\text{F}$ ). Как и шкала Цельсия, они строятся делением интервала между температурой плавления льда и температурой кипения воды на равные части: шкала Реомюра на 80 частей ( $0-80^{\circ}$ ), шкала Фаренгейта на 180 частей ( $32-212^{\circ}$ ). Существуют следующие соотношения между температурами различных шкал  $t^{\circ}\text{C} = 0,555(T^{\circ}\text{F} - 32) = 1,25T^{\circ}\text{R}$ ;  $T^{\circ}\text{F} = 1,8t^{\circ}\text{C} + 32 = 2,25T^{\circ}\text{R} + 32$ ;  $T^{\circ}\text{R} = 0,8t^{\circ}\text{C} = 0,44(T^{\circ}\text{F} - 32)$ ;  $T^{\circ}\text{K} = t^{\circ}\text{C} + 273,15$ .

Тепловое расширение тел характеризуется коэффициентом линейного расширения твердых тел  $\alpha = \frac{1}{l} \frac{dl}{dt}$ , где  $l$  — линейный размер (например, длина)  $l = l_0(1 + \alpha t)$ . Значения  $\alpha$  приведены в табл. 1.9 и 1.10. Коэффициент объемного расширения для однородных тел  $\beta = 3\alpha$ .

## 1.9. Физико-механические свойства металлов

| Вещество, элемент                       | Плотность<br>$\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Темпера-<br>тура плав-<br>ления, °C | $\alpha \cdot 10^6$ ,<br>К <sup>-1</sup> | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $C_p$ ,<br>Дж/(кг·К) | НВ      | $\sigma_B$ , МПа | $\sigma_T$ , МПа | $E$ , МПа |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------|----------------------|---------|------------------|------------------|-----------|
| Алюминий (Al)                           | 2,6—2,75                                | 600,1                               | 23,7                                     | 202—229                 | 879,2                | 20—25   | 80—110           | 30—70            | 72 000    |
| Бериллий (Be)                           | 1,82                                    | 1284                                | 11,7                                     | 157—172                 | —                    | 107     | 190              | 100              | 250 000   |
| Вольфрам (W)                            | 19,1—19,3                               | 3410                                | 4,4                                      | 163                     | 134                  | 350     | 1000—1200        | 750              | 40 000    |
| Железо (Fe)                             | 7,87                                    | 1539                                | 12,15                                    | 87                      | 439,6                | 50      | 250—330          | 125              | 210 000   |
| Золото (Au)                             | 19,32                                   | 1063                                | 14,32                                    | 313                     | 130,2                | 18      | 140              | 30—40            | 79 000    |
| Иридий (Ir)                             | 22,5                                    | 2443                                | 6,65                                     | 59                      | 128,5                | 170     | 230              | —                | 520 000   |
| Кадмий (Cd)                             | 8,54—8,64                               | 321                                 | 30,4                                     | 93,4                    | —                    | 20      | 64               | 10               | 530 000   |
| Кальций (Ca)                            | 1,54                                    | 851                                 | —                                        | —                       | —                    | 20—30   | 60               | 38               | 26 000    |
| Кобальт (Co)                            | 8,9                                     | 1495                                | 12,5                                     | 70                      | 448                  | 125     | 240              | —                | 207 500   |
| Магний (Mg)                             | 1,74                                    | 651                                 | 26,0                                     | 172                     | 1000,6               | 25      | 170—200          | 20—60            | 43 600    |
| Марганец<br>(Mn $\alpha$ ; Mn $\beta$ ) | 7,2—7,4                                 | 1250                                | 22,2                                     | 157                     | 473                  | 210     | Хрупкий          | —                | 201 600   |
| Медь (Cu)                               | 8,9—9                                   | 1084,2                              | 17,06                                    | 393                     | 376,8                | 35      | 220              | 60—80            | 132 000   |
| Молибден (Mo)                           | 10,3                                    | 2622                                | 5,19                                     | 140                     | 247                  | 125     | 700              | —                | 330 000   |
| Никель (Ni)                             | 8,6—8,9                                 | 1453                                | 13,6                                     | 93                      | 439,6                | 120     | 300              | 200              | 105 000   |
| Ванадий (V)                             | 5,96                                    | 1710                                | —                                        | —                       | —                    | —       | —                | —                | —         |
| Олово (Sn)                              | 7,2—7,5                                 | 231,9                               | 26,2                                     | 66,3                    | 222                  | 5       | 20—40            | —                | 55 000    |
| Палладий (Pd)                           | 11,9                                    | 1552                                | —                                        | —                       | —                    | 30      | 200              | —                | 123 600   |
| Платина (Pt)                            | 21,45                                   | 1769                                | 9,1                                      | 69,8                    | 132,7                | 25      | 150              | —                | 170 000   |
| Свинец (Pb)                             | 11,34                                   | 327,4                               | 29,2                                     | 35,1                    | 127,3                | 4—6     | 10               | 5—10             | 17 000    |
| Серебро (Ag)                            | 10,5                                    | 900,8                               | 19,62                                    | 418,7                   | 232,8                | 25      | 180              | 35               | 81 000    |
| Тантал (Ta)                             | 16,6                                    | 3000                                | —                                        | —                       | —                    | 70      | 350—450          | —                | 190 000   |
| Титан (Ti)                              | 4,54                                    | 1668                                | 8,1                                      | —                       | 531,7                | 130—150 | 400—450          | 300—400          | 105 000   |
| Хром (Cr)                               | 7,14                                    | 1800                                | 6,61                                     | —                       | 427                  | 70—100  | 250—300          | 200              | 252 000   |
| Цинк (Zn)                               | 7—7,2                                   | 419,4                               | 32                                       | 112,8                   | 381                  | 30—42   | 100—150          | 90—100           | 94 000    |
| Цирконий (Zr)                           | 6,53                                    | 1830                                | —                                        | —                       | —                    | 120     | 300—500          | 200—300          | 75 000    |
| Ниобий (Nb)                             | 8,6                                     | 2415                                | 7,2                                      | —                       | —                    | 120     | 300              | 200              | 105 000   |

Примечание. Значения удельной весовой теплоемкости  $c_p$  приведены при 0° C.

# 1.10. Физические свойства материалов

| Материал                         | Плотность<br>$\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Темпера-<br>тура плавл-<br>нения,<br>°С | $\alpha \cdot 10^6$ , К <sup>-1</sup> | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $C_p$ ,<br>Дж/(<br>кг·К) |
|----------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Алюминиевые<br>и литейные сплавы | 2,65—2,95                               | —                                       | —                                     | 104,7                | —                        |
| Бронза:                          |                                         |                                         |                                       |                      |                          |
| алюминиевая                      | 7,5—8,1                                 | 1040                                    | 17,6                                  | 82,6                 | 418,68                   |
| оловянистая                      | 8,7—8,9                                 | 1000                                    | 17,6                                  | 25,6—46,5            | 368,4                    |
| Бура                             | 1,7—1,8                                 | 741                                     | —                                     | —                    | —                        |
| Воск:                            |                                         |                                         |                                       |                      |                          |
| мягкий                           | 0,96                                    | 37—52                                   | —                                     | —                    | —                        |
| твердый                          | 0,96                                    | 52—56                                   | —                                     | —                    | —                        |
| Сплав Вуда                       | 9,7                                     | 70                                      | —                                     | 12,8                 | —                        |
| Глина огнеупор-<br>ная           | 1,5—1,8                                 | 71 580                                  | —                                     | —                    | 1046,7                   |
| Дуралюмин                        | 2,75—2,8                                | 540                                     | 22,6                                  | 165,0                | —                        |
| Известь                          | 2,8—3,2                                 | 2 570                                   | —                                     | —                    | —                        |
| Каменное литье                   | —                                       | 71 000                                  | —                                     | —                    | —                        |
| Канифоль                         | 1,07                                    | 52—68                                   | —                                     | —                    | —                        |
| Каучук                           | 0,9—0,92                                | 125                                     | —                                     | —                    | 1130,4—<br>2009,7        |
| Кварц                            | 2,65                                    | 1600—<br>1700                           | 8,0—13,4                              | 7,2—13,6             | 774,6                    |
| Латунь                           | 8,3—8,73                                | 920                                     | 17,2—17,8                             | 104,7—<br>117,5      | 376,8—<br>389,4          |
| Нихром                           | 8,4                                     | 1100                                    | 14,5                                  | 12,6—17,4            | 448,0                    |
| Парафин                          | 0,87—0,9                                | 49—54                                   | —                                     | 0,126                | 3349,4                   |
| Сера                             | 1,93—2,07                               | 112,8                                   | —                                     | 0,28                 | 762,0                    |
| Слюда                            | 2,6—3,2                                 | 1100                                    | —                                     | 0,46—0,58            | 879,2                    |
| Сода кальцини-<br>рованная       | 2,53                                    | 853                                     | —                                     | —                    | —                        |
| Соль поваренная                  | 2,15—2,17                               | 770                                     | —                                     | —                    | —                        |
| Сталь конструк-<br>ционная       | 7,85                                    | 1400—<br>1500                           | 10,2—16,6                             | 62,8                 | —                        |
| Стальное литье                   | 7,8                                     | —                                       | —                                     | —                    | —                        |
| Стекло оконное                   | 2,6                                     | 460—800                                 | 2,5                                   | 0,74                 | 670,0                    |
| Графит                           | 2,3—2,7                                 | 3500                                    | 7,9                                   | —                    | —                        |
| Фарфор                           | 2,3—2,5                                 | 1530                                    | 3,4—4,1                               | 1,04—1,96            | 1088,6                   |
| Чугун:                           |                                         |                                         |                                       |                      |                          |
| серый                            | 7,0—7,4                                 | 1150                                    | 8,7—11,1                              | 56,5                 | —                        |
| белый                            | 7,2—7,7                                 | 1130                                    | —                                     | —                    | —                        |
| Шамот                            | 1,85—2,2                                | 1500                                    | —                                     | 0,84                 | 879,2                    |
| Янтарь                           | 1,0—1,1                                 | 352—381                                 | —                                     | —                    | —                        |
| Агат                             | 2,5—2,8                                 | —                                       | —                                     | —                    | —                        |
| Алебастр                         | 2,2—2,9                                 | —                                       | —                                     | —                    | —                        |
| Асбест                           | 1,2                                     | —                                       | —                                     | 0,106                | —                        |
| Береза сухая                     | 0,5—0,8                                 | —                                       | —                                     | —                    | —                        |
| Бетон                            | 1,8—2,5                                 | —                                       | —                                     | 0,84                 | 837,4                    |
| Бук сухой                        | 0,62—0,82                               | —                                       | —                                     | —                    | —                        |
| Гравий                           | 1,8—2,0                                 | —                                       | —                                     | —                    | —                        |
| Дуб сухой                        | 0,6—0,9                                 | —                                       | 4,9/61,4                              | 0,35—0,43            | 2386,5                   |
| Ель сухая                        | 0,37—0,75                               | —                                       | 5,4/34,0                              | 0,23—0,29            | 544,3—<br>1465,4         |

| Материал                | Плотность<br>$\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Темпера-<br>тура плавления,<br>°C | $\alpha \cdot 10^6$ , К <sup>-1</sup> | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $C_p$ ,<br>Дж/(кг·К) |
|-------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Кирпич огне-<br>поушный | 1,4—1,6                                 | —                                 | 4,0—7,0                               | 0,814                | 879,2                |
| Керосин                 | 0,81—0,84                               | —                                 | —                                     | 0,145                | 4103,0               |
| Линолеум                | 1,15—1,3                                | —                                 | —                                     | —                    | —                    |
| Картон прокладочный     | 0,8—0,85                                | —                                 | —                                     | 0,14—0,35            | 1507,2               |
| Пробка                  | 0,22—0,26                               | —                                 | —                                     | 0,042—<br>0,053      | 1758,5               |
| Резина                  | 1,3—1,8                                 | —                                 | —                                     | 0,157—<br>0,160      | 1381,6               |
| Текстолит               | 1,3—1,4                                 | —                                 | 20,0                                  | 0,23—0,34            | 1465,4—<br>1507,2    |
| Эбонит                  | 1,25                                    | —                                 | 70,0                                  | 0,157—<br>0,174      | 2470,2               |
| Полипропилен            | 0,9                                     | 170                               | —                                     | —                    | —                    |
| Полиэтилен:             |                                         |                                   |                                       |                      |                      |
| высокого давления       | 0,92                                    | 112                               | 220,0                                 | —                    | —                    |
| низкого давления        | 0,94                                    | 140                               | —                                     | —                    | —                    |
| Полистирол ударопрочный | 0,48                                    | —                                 | —                                     | —                    | —                    |
| Поллиуретан             | 1,21                                    | 130                               | —                                     | —                    | —                    |
| Фторопласт              | 2,1—2,2                                 | 220                               | —                                     | —                    | —                    |

Удельная теплоемкость — количество тепла, Дж, необходимое для нагревания на 1 °C единицы количества вещества. В таблицах приведена удельная теплоемкость  $C_p$ , Дж/(кг·К).

Коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·К), характеризует способность вещества проводить тепло. С ним связан и коэффициент температуропроводности  $a$ , м<sup>2</sup>/с, характеризующий скорость выравнивания температуры в неравномерно нагретом теле:  $a = \lambda / C_p \rho$ , где  $\rho$  — плотность тела, кг/м<sup>3</sup>.

Твердость материалов приведена в единицах НВ (по Бринелю). Соотношения между числами твердости, определенной различными методами, приведены в табл. 1.11. Перевод чисел твердости HRC в твердость по новой, введенной в СССР, шкале HRC<sub>3</sub> — приведен в табл. 1.12.

**1.11. Соотношение между числами твердости,  
измеренными различными методами**

| Викерс HV | Роквелл |      | Бринель HB | ШОР HSh |
|-----------|---------|------|------------|---------|
|           | HRB     | HRC  |            |         |
| 80        | —       | —    | 76         | —       |
| 85        | 41,0    | —    | 80,7       | —       |
| 90        | 48,0    | —    | 85,5       | —       |
| 95        | 52,0    | —    | 90,2       | —       |
| 100       | 56,2    | —    | 95         | —       |
| 105       | —       | —    | 99,8       | —       |
| 110       | 62,3    | —    | 105        | —       |
| 115       | —       | —    | 109        | —       |
| 120       | 66,7    | —    | 114        | —       |
| 125       | —       | —    | 119        | —       |
| 130       | 71,2    | —    | 124        | —       |
| 135       | —       | —    | 128        | —       |
| 140       | 75,0    | —    | 133        | —       |
| 145       | —       | —    | 138        | —       |
| 150       | 78,7    | —    | 143        | —       |
| 155       | —       | —    | 147        | —       |
| 160       | 81,7    | —    | 152        | —       |
| 165       | —       | —    | 156        | —       |
| 170       | 85,0    | —    | 162        | —       |
| 175       | —       | —    | 166        | —       |
| 180       | 87,1    | —    | 171        | —       |
| 185       | —       | —    | 176        | —       |
| 190       | 89,5    | —    | 181        | —       |
| 195       | —       | —    | 185        | —       |
| 200       | 91,5    | —    | 190        | —       |
| 205       | 92,5    | —    | 195        | —       |
| 210       | 93,5    | —    | 199        | —       |
| 215       | 94,0    | —    | 204        | —       |
| 220       | 95,0    | —    | 209        | —       |
| 225       | 96,0    | —    | 214        | —       |
| 230       | 96,7    | —    | 219        | 35      |
| 235       | —       | —    | 223        | 36      |
| 240       | 98,1    | 20,3 | 228        | 36      |
| 245       | —       | 21,3 | 233        | 37,5    |
| 250       | 99,5    | 22,2 | 238        | 38      |
| 255       | —       | 23,0 | 242        | 39      |
| 260       | —       | 24,0 | 247        | 40      |
| 265       | —       | 24,8 | 252        | 40,5    |
| 270       | —       | 25,6 | 257        | 41      |
| 275       | —       | 26,4 | 261        | 42      |
| 280       | —       | 27,1 | 266        | 43      |
| 285       | —       | 27,8 | 271        | 43,5    |
| 290       | —       | 28,5 | 276        | 44      |
| 295       | —       | 29,2 | 280        | 44,5    |
| 300       | —       | 29,8 | 285        | 45,5    |
| 310       | —       | 31,0 | 295        | 46,5    |
| 320       | —       | 32,2 | 304        | 47,5    |
| 330       | —       | 33,3 | 314        | 49      |

| Виккерс HV | Роквелл |      | Бринель HB | ШОР HSh |
|------------|---------|------|------------|---------|
|            | HRB     | HRC  |            |         |
| 340        | —       | 34,4 | 323        | 50      |
| 350        | —       | 35,5 | 333        | 51      |
| 360        | —       | 36,6 | 342        | 52      |
| 370        | —       | 37,7 | 352        | 53,5    |
| 380        | —       | 38,8 | 361        | 54,5    |
| 390        | —       | 39,8 | 371        | 55,5    |
| 400        | —       | 40,8 | 380        | 56,5    |
| 410        | —       | 41,8 | 390        | 57,5    |
| 420        | —       | 42,7 | 399        | 58,5    |
| 430        | —       | 43,6 | 409        | 59,5    |
| 440        | —       | 44,5 | 418        | 61      |
| 450        | —       | 45,3 | 428        | 62      |
| 460        | —       | 46,1 | 437        | 63      |
| 470        | —       | 46,9 | 447        | 64      |
| 480        | —       | 47,7 | 456        | 65      |
| 490        | —       | 48,4 | 466        | 66      |
| 500        | —       | 49,1 | 475        | 67      |
| 510        | —       | 49,8 | 485        | 68,5    |
| 520        | —       | 50,5 | 494        | 69,5    |
| 530        | —       | 51,1 | 504        | 70,5    |
| 540        | —       | 51,7 | 513        | 71,5    |
| 550        | —       | 52,3 | 523        | 72,5    |
| 560        | —       | 53,0 | 532        | 74      |
| 570        | —       | 53,6 | 542        | 75      |
| 580        | —       | 54,1 | 551        | 76      |
| 590        | —       | 54,7 | 561        | 77      |
| 600        | —       | 55,2 | 570        | 78,5    |
| 610        | —       | 55,7 | 580        | 79,5    |
| 620        | —       | 56,3 | 589        | 80,5    |
| 630        | —       | 56,8 | 599        | 81,5    |
| 640        | —       | 57,3 | 608        | 82,5    |
| 650        | —       | 57,8 | 618        | 83,5    |
| 660        | —       | 58,3 | —          | 84,5    |
| 670        | —       | 58,8 | —          | 85,5    |
| 680        | —       | 59,2 | —          | 87      |
| 690        | —       | 59,7 | —          | 88      |
| 700        | —       | 60,1 | —          | 89      |
| 720        | —       | 61,0 | —          | 91,5    |
| 740        | —       | 61,8 | —          | 93,5    |
| 760        | —       | 62,5 | —          | 96      |
| 780        | —       | 63,3 | —          | 97,5    |
| 800        | —       | 64,0 | —          | 99      |
| 820        | —       | 64,7 | —          | 100,5   |
| 840        | —       | 65,3 | —          | 101,5   |
| 860        | —       | 65,9 | —          | 102,5   |
| 880        | —       | 66,4 | —          | 103,5   |
| 900        | —       | 67,0 | —          | 104     |
| 920        | —       | 67,5 | —          | 104,5   |
| 940        | —       | 68,0 | —          | 105     |

**1.12. Перевод чисел твердости HRC шкалы С Роквелла  
в числа твердости HRC<sub>9</sub> шкалы C<sub>9</sub> Роквелла (ГОСТ 8.064—79 \*)**

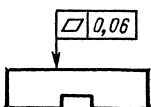
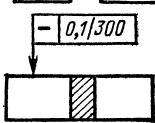
| HRC  | HRC  | HRC <sub>9</sub> | HRC  | HRC <sub>9</sub> | HRC  | HRC <sub>9</sub> | HRC  | HRC <sub>9</sub> | HRC  |
|------|------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|
| 20,0 | 17,8 | 29,5             | 27,6 | 39,0             | 37,4 | 48,5             | 47,1 | 58,0             | 56,9 |
| 20,5 | 18,3 | 30,0             | 28,1 | 39,5             | 37,9 | 49,0             | 47,7 | 58,5             | 57,4 |
| 21,0 | 18,8 | 30,5             | 28,6 | 40,0             | 38,4 | 49,5             | 48,2 | 59,0             | 58,0 |
| 21,5 | 19,3 | 31,0             | 29,1 | 40,5             | 38,9 | 50,0             | 48,7 | 59,5             | 58,5 |
| 22,0 | 19,9 | 31,5             | 29,6 | 41,0             | 39,4 | 50,5             | 49,2 | 60,0             | 59,0 |
| 22,5 | 20,4 | 32,0             | 30,2 | 41,5             | 39,9 | 51,0             | 49,7 | 60,5             | 59,5 |
| 23,0 | 20,9 | 32,5             | 30,7 | 42,0             | 40,5 | 51,5             | 50,2 | 61,0             | 60,0 |
| 23,5 | 21,4 | 33,0             | 31,2 | 42,5             | 41,0 | 52,0             | 50,7 | 61,5             | 60,5 |
| 24,0 | 21,9 | 33,5             | 31,7 | 43,0             | 41,5 | 52,5             | 51,3 | 62,0             | 61,0 |
| 24,5 | 22,4 | 34,0             | 32,2 | 43,5             | 42,0 | 53,0             | 51,8 | 62,5             | 61,6 |
| 25,0 | 23,0 | 34,5             | 32,7 | 44,0             | 42,5 | 53,5             | 52,3 | 63,0             | 62,1 |
| 25,5 | 23,5 | 35,0             | 33,2 | 44,5             | 43,0 | 54,0             | 52,8 | 63,5             | 62,6 |
| 26,0 | 24,0 | 35,5             | 33,8 | 45,0             | 43,5 | 54,5             | 53,3 | 64,0             | 63,1 |
| 26,5 | 21,5 | 36,0             | 34,3 | 45,5             | 44,1 | 55,0             | 53,8 | 64,5             | 63,6 |
| 27,0 | 25,0 | 36,5             | 34,8 | 46,0             | 44,6 | 55,5             | 54,3 | 65,0             | 64,1 |
| 27,5 | 25,5 | 37,0             | 35,3 | 46,5             | 45,1 | 56,0             | 54,9 | 65,5             | 64,6 |
| 28,0 | 26,0 | 37,5             | 35,8 | 47,0             | 45,6 | 56,5             | 55,4 | 66,0             | 65,2 |
| 28,5 | 26,6 | 38,0             | 36,3 | 47,5             | 46,1 | 57,0             | 55,9 | 66,5             | 65,7 |
| 29,0 | 27,1 | 38,5             | 36,8 | 48,0             | 46,6 | 57,5             | 56,4 | 67,0             | 66,2 |
|      |      |                  |      |                  |      |                  |      | 67,5             | 66,7 |

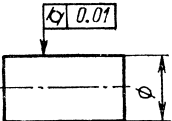
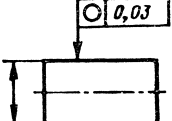
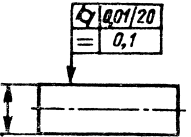
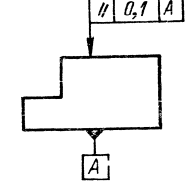
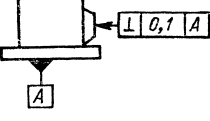
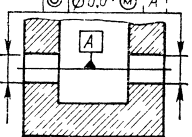
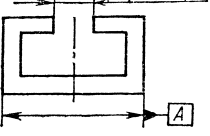
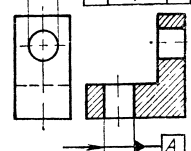
Примечание Промежуточные значения находятся методом линейной интерполяции.

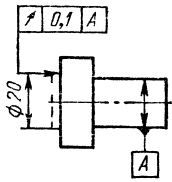
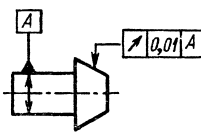
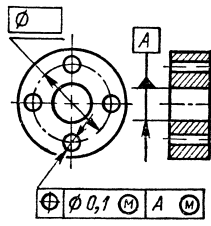
**1.4. Условные обозначения на чертежах  
и в другой технической документации**

Правила указания допусков формы и расположения поверхностей на чертежах изделий приведены в табл. 1.13—1.17. Термины и определения допусков формы и расположения поверхностей приведены в ГОСТ 24642—81, а их числовые значения в ГОСТ 24643—81. Не указанные на чертежах допуски формы и расположения оговариваются в технических требованиях чертежа со ссылкой на ГОСТ 25069—81 или другие документы, например ОСТ 2Н31—3—81, применяемый в системе Минстанкопрома.

**1.13. Примеры указания на чертежах допусков формы  
и расположения поверхностей по ГОСТ 2308—79 \* (СТ СЭВ 363—76)**

| Вид допуска            | Условное обозначение на чертеже                                                     | Пояснения                                                 |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Допуск плоскостности   |  | Допуск плоскостности поверхности 0,06 мм                  |
| Допуск прямолинейности |  | Допуск прямолинейности поверхности 0,1 мм на длине 300 мм |

| Вид допуска                        | Условное обозначение на чертеже                                                     | Пояснения                                                                                                         |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Допуск цилиндричности              |    | Допуск цилиндричности поверхности 0,01 мм                                                                         |
| Допуск круглости                   |    | Допуск круглости поверхности 0,03 мм                                                                              |
| Допуск профиля продольного сечения |    | Допуск цилиндричности поверхности 0,01 мм на длине 20 мм. Допуск профиля продольного сечения 0,1 мм по всей длине |
| Допуск параллельности              |    | Допуск параллельности поверхности A 0,1 мм                                                                        |
| Допуск перпендикулярности          |   | Допуск перпендикулярности поверхности относительно основания 0,1 мм                                               |
| Допуск соосности                   |  | Допуск соосности отверстий относительно общей оси 0,01 мм                                                         |
| Допуск симметричности              |  | Допуск симметричности паза относительно поверхности A 0,05 мм                                                     |
| Допуск пересечения осей            |  | Допуск пересечения осей отверстий 0,06 мм                                                                         |

| Вид допуска               | Условное обозначение на чертеже                                                   | Пояснения                                                                                   |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Допуск торцового биения   |  | Допуск торцового биения поверхности относительно оси поверхности A 0,1 мм на диаметре 20 мм |
| Допуск радиального биения |  | Допуск радиального биения конуса относительно оси поверхности A 0,01 мм                     |
| Позиционный допуск        |  | Позиционный допуск осей отверстий 0,1 мм (база — отверстие A)                               |

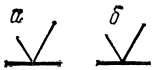
**1.14. Условные обозначения направлений неровностей по ГОСТ 2.309—73 \* (СТ СЭВ 1632—79, ИСО МС 1302)**

| Тип направлений неровностей и их характеристика                                                                                                                  | Схематичное изображение                                                             | Условный знак | Условное изображение на чертежах                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Параллельное — параллельно линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования                                        |  | =             |  |
| Перпендикулярное — перпендикулярно к линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования                              |  | ⊥             |  |
| Перекрещивающееся — перекрещивание в двух направлениях наклонно к линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования |  | ×             |  |

| Тип направлений неровностей и их характеристика                                                                                                    | Схематичное изображение | Условный знак | Условное изображение на чертежах |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|----------------------------------|
| Произвольное — различные направления по отношению к линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования |                         | M             |                                  |
| Кругообразное — приблизительно кругообразно по отношению к центру поверхности, к шероховатости которой устанавливаются требования                  |                         | C             |                                  |
| Радиальное — приблизительно радиально по отношению к центру поверхности, к шероховатости которой устанавливаются требования                        |                         | R             |                                  |

**1.15. Условные обозначения шероховатости поверхности  
(ГОСТ 2.309—73\*)**

| Условный знак                                 | Характеристика обозначаемой шероховатости поверхности                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               | Шероховатость поверхности, образованной без удаления слоя металла (литьем, ковкой, объемной штамповкой, прокатом, волочением и т. п.); шероховатость поверхности, не обрабатываемой по данному чертежу |
|                                               | Шероховатость поверхности, образованной удалением слоя металла (точением, фрезерованием, сверлением, шлифованием, полированием, травлением и т. п.)                                                    |
|                                               | Шероховатость поверхности, вид обработки которой конструктором не устанавливается                                                                                                                      |
| <p>0,025  Полировать</p> <p>0,32  Шабрить</p> | Вид обработки поверхности, который является единственным для получения требуемого качества, или если шероховатость поверхностей, изображения которых образуют контур, должна быть одинаковой           |

| Условный знак                                                                               | Характеристика обозначаемой шероховатости поверхности                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             | <p>Упрощенное обозначение шероховатости поверхности с разъяснением его в технических условиях чертежа, например:</p> $a \sqrt{\quad} = \sqrt[0,32]{\frac{0,25}{0,08}} \text{ Полировать } M$ $\delta \sqrt{\quad} = \sqrt[0,63]{\frac{0,40}{0,25}} \sqrt[0,60]{2,5}$                                                                                                                                                                     |
|            | <p>Упрощенное обозначение одинаковой шероховатости для части поверхностей изделия. Помещается в правом верхнем углу чертежа за знаком обозначения одинаковой шероховатости. Это означает, что все поверхности, на изображении которых не нанесены обозначения шероховатости или знак , должны иметь шероховатость, указанную перед обозначением (√)</p> |
| <p>Примечание. Числовые значения параметров шероховатости принимаются по ГОСТ 2789—73*.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

### 1.16. Условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей (ГОСТ 2.308—79\*)

| Группа допусков | Вид допуска                        | Условный знак                                                                       |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Допуски формы   | Допуск прямолинейности             | —                                                                                   |
|                 | Допуск плоскостности               |  |
|                 | Допуск круглости                   | ○                                                                                   |
|                 | Допуск цилиндричности              |  |
|                 | Допуск профиля продольного сечения | ≡                                                                                   |

| Группа допусков                        | Вид допуска                                                                                  | Условный знак                                                                       |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Допуски расположения                   | Допуск параллельности                                                                        |    |
|                                        | Допуск перпендикулярности                                                                    |    |
|                                        | Допуск наклона                                                                               |    |
|                                        | Допуск соосности                                                                             |    |
|                                        | Допуск симметричности                                                                        |    |
|                                        | Позиционный допуск                                                                           |    |
|                                        | Допуск пересечения осей                                                                      |    |
| Суммарные допуски формы и расположения | Допуск радиального биения<br>Допуск торцового биения<br>Допуск биения в заданном направлении |  |
|                                        | Допуск полного радиального биения<br>Допуск полного торцового биения                         |  |
|                                        | Допуск формы заданного профиля                                                               |  |
|                                        | Допуск формы заданной поверхности                                                            |  |

# 1.17 Соотношения между применявшимися ранее и новыми обозначениями параметров шероховатости поверхностей и предпочтительные их значения

| Класс шероховатости (старое обозначение) | $R_a$ , мкм       |                           | $R_z$ , мкм            |                           |
|------------------------------------------|-------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
|                                          | Диапазон          | Предпочтительное значение | Диапазон               | Предпочтительное значение |
| ▽ 1                                      | 80; 63; 40        | 50                        | 320; 250; 200; 160     | 200                       |
| ▽ 2                                      | 40; 32; 20        | 25                        | 160; 125; 100; 80      | 100                       |
| ▽ 3                                      | 20; 16; 10        | 12,5                      | 80; 63; 50; 40         | 50                        |
| ▽ 4                                      | 10; 8; 5;         | 6,3                       | 40; 32; 25; 20         | 25                        |
| ▽ 5                                      | 5; 4; 2,5         | 3,2                       | 20; 16; 12,5; 10       | 12,5                      |
| ▽ 6                                      | 2,5; 2; 1,25      | 1,6                       | 10; 8; 6,3             | 6,3                       |
| ▽ 7                                      | 1,25; 1; 0,63     | 0,8                       | 6,3; 5; 4; 3,2         | 3,2                       |
| ▽ 8                                      | 0,63; 0,5; 0,32   | 0,4                       | 3,2; 2,5; 2; 1,6       | 1,6                       |
| ▽ 9                                      | 0,32; 0,25; 0,16  | 0,2                       | 1,6; 1,25; 1,0; 0,8    | 0,8                       |
| ▽ 10                                     | 0,16; 0,125; 0,08 | 0,1                       | 0,8; 0,63; 0,5; 0,4    | 0,4                       |
| ▽ 11                                     | 0,08; 0,063; 0,04 | 0,05                      | 0,4; 0,32; 0,25; 0,2   | 0,2                       |
| ▽ 12                                     | 0,04; 0,032; 0,02 | 0,025                     | 0,2; 0,16; 0,125; 0,1  | 0,1                       |
| ▽ 13                                     | 0,02; 0,016; 0,01 | 0,012                     | 0,1; 0,08; 0,063; 0,05 | 0,05                      |
| ▽ 14                                     | 0,01; 0,008       | —                         | 0,05; 0,04; 0,032      | —                         |

Примечания: 1. Параметр  $R_a$  является предпочтительным. Он наиболее удобен для измерения профилометрами. 2. Параметр  $R_z$  нормируют в тех случаях, когда прямой контроль параметра  $R_a$  с помощью профилометров или образцов сравнения не представляется возможным, например, для поверхностей, имеющих малые размеры или сложную конфигурацию (режущие кромки инструментов).

## 1.5. Размерные цепи

При конструировании режущего инструмента, а также машин, приборов и других изделий, выборе средств и методов измерений часто возникает необходимость в проведении размерного анализа, с помощью которого достигается правильное соотношение взаимосвязанных размеров и определяются допустимые ошибки (допуски). Подобные геометрические расчеты выполняются с применением теории размерных цепей. Основные понятия по размерным цепям, приемы их использования при расчете допусков приведены в ГОСТ 16319—80, ГОСТ 16320—80, ГОСТ 19415—74, ГОСТ 19416—74.

**Основные понятия.** *Размерная цепь* — совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур.

*Звено размерной цепи* — один из размеров, образующих размерную цепь. Существуют следующие звенья размерной цепи:

*замыкающее* — звено размерной цепи, являющееся исходным при постановке задачи или получающееся последним в результате ее решения;

*составляющее* — звено размерной цепи, функционально связанное с замыкающим звеном;

*компенсирующее* — составляющее звено размерной цепи, изменением которого достигается требуемая точность замыкающего звена;

*общее* — звено, одновременно принадлежащее нескольким размерным цепям;

*уменьшающее (увеличивающее)* — составляющее звено размерной цепи, с увеличением (уменьшением) которого замыкающее звено уменьшается (увеличивается).

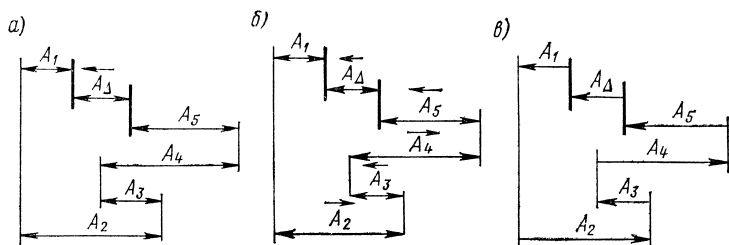


Рис. 1.1. Схемы построения размерных цепей

Размерная цепь обозначается прописными буквами русского ( $A, B, B$  и т. д.) или строчными буквами греческого алфавита (кроме букв  $\alpha, \delta, \xi, \lambda, \omega$ ) без индексов.

Замыкающее, составляющее и компенсирующее звенья цепи обозначаются теми же буквами, но с индексами:  $\Delta (A_\Delta, B_\Delta)$  — замыкающее звено; с индексом, соответствующим порядковому номеру составляющего звена ( $A_1, A_2, A_3$  и т. д.) — составляющее и с обозначением звена, заключенного в прямоугольник ( $\overline{A_1}$ ,  $\overline{B_1}$  и т. д.) — компенсирующее звено.

Пример составления размерной цепи с обозначением звеньев приведен на рис. 1.1, а—в. Замыкающее звено (рис. 1.1, а) обозначается стрелкой над буквенным обозначением звена, соответствующей определенному направлению. Обозначения составляющих звеньев целесообразно дополнить стрелками над буквенными обозначениями, при этом составляющие звенья, направление которых совпадают с замыкающим звеном, будут уменьшающими ( $A_1, A_3, A_5$ ), остальные — увеличивающими ( $A_2, A_4$ ) (рис. 1.1, б). Иногда размерные линии удобнее выполнять в виде векторов (рис. 1.1, в). Стрелки над буквенным индексом при этом не прощаются.

**Основные расчетные формулы.** Номинальный размер замыкающего звена

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_{A_i} A_i,$$

где  $i = 1, 2, \dots, m$  — порядковый номер звена;  $\xi_{A_i}$  — передаточное отношение  $i$ -го звена размерной цепи.

Для линейных цепей с параллельными звеньями передаточные отношения равны:  $\xi_i = 1$  для увеличивающих и  $\xi_i = -1$  для уменьшающих составляющих.

Для звеньев пространственной размерной цепи или звеньев, повернутых относительно координатных осей,  $\xi$  — тригонометрические функции, с помощью которых пространственные или повернутые звенья проектируются на координатные оси.

Для размерной цепи, изображенной на рис. 1.1,  $A_\Delta = -A_1 + A_2 - A_3 + A_4 - A_5$ .

Координата середины поля допуска  $\Delta$  замыкающего звена

$$\Delta_{0\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{0i}. \quad (1.1)$$

Здесь

$$\Delta_{0\Delta} = \frac{\Delta_{B\Delta} + \Delta_{H\Delta}}{2}; \quad \Delta_{0i} = \frac{\Delta_{Bi} + \Delta_{Hi}}{2},$$

где  $\Delta_{B\Delta}$ ,  $\Delta_{H\Delta}$  — верхнее и нижнее предельные отклонения замыкающего звена соответственно;  $\Delta_{Bi}$ ,  $\Delta_{Hi}$  — верхнее и нижнее предельные отклонения составляющего звена соответственно.

Допуск замыкающего звена определяется так:

при расчете по максимуму-минимуму

$$\delta_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \delta_i, \quad (1.2)$$

где  $\delta_\Delta = \Delta_{B\Delta} - \Delta_{H\Delta}$ ;  $\delta_i = \Delta_{Bi} - \Delta_{Hi}$ ;

при расчете по вероятностному методу

$$\delta_\Delta = t_\Delta \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 \delta_i^2}, \quad (1.3)$$

где  $t_\Delta$  — коэффициент риска (выбирается по таблицам значений функции Лапласа  $\Phi(t)$  в зависимости от риска  $P$ ).

При нормальном законе распределения и риске  $P$ , %, равном 32; 10; 4,5; 1,0; 0,27; 0,10; 0,01,  $t_\Delta$  будет составлять соответственно 1,0; 1,65; 2,0; 2,57; 3,0; 3,29; 3,89;  $\lambda_i^2 = 1/9$ .

Среднее значение допуска составляющих звеньев определим:

при расчете по максимуму-минимуму

$$\delta_{cp} = \frac{\delta_\Delta}{\sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i|}; \quad (1.4)$$

при расчете по вероятностному методу

$$\delta_{cp} = \frac{\delta_\Delta}{t_\Delta \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2}}. \quad (1.5)$$

Предельные отклонения  $i$ -го звена

$$\Delta_{B_i} = \Delta_{0_i} + \frac{\delta_i}{2}; \quad \Delta_{H_i} = \Delta_{0_i} - \frac{\delta_i}{2}.$$

Координата середины поля рассеивания замыкающего звена

$$\Delta_{\omega_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{\omega_i}.$$

Координата центра группирования отклонений замыкающего звена

$$M(x)_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \left( \xi_i \Delta_{\omega_i} + \alpha_i \frac{|\xi_i| \omega_i}{2} \right).$$

Коэффициент относительной асимметрии  $i$ -го звена

$$\alpha_i = \frac{M(x)_i - \Delta_{\omega_i}}{\omega_i/2}.$$

Поле рассеивания замыкающего звена определяется по формулам:

при расчете по максимуму-минимуму

$$\omega_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \omega_i;$$

при расчете вероятностным методом

$$\omega_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 \omega_i^2},$$

где  $\lambda_i$  — относительное среднеквадратическое отклонение,  $\lambda_i = \frac{2\sigma_i}{\omega_i}$ , где  $\sigma_i$  — среднеквадратическое отклонение.

**Методы достижения точности замыкающего звена.** Существуют четыре метода достижения точности замыкающего звена размерной цепи:

1) метод полной взаимозаменяемости — требуемая точность достигается включением в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения значений;

2) метод неполной взаимозаменяемости — требуемая точность достигается включением в размерную цепь составляющих звеньев, предварительно рассортированных по группам;

3) метод пригонки — требуемая точность достигается изменением размера компенсирующего звена;

4) метод регулирования — требуемая точность достигается регулировкой (изменением размера компенсирующего звена без удаления материала).

**Задачи, решаемые с помощью теории размерных цепей.** С помощью этой теории решаются прямые и обратные задачи.

*Прямая задача:* при заданных параметрах замыкающего звена требуется определить параметры составляющих звеньев. Напри-

мер, дано  $\delta_{\Delta}$  [формула (1.2) или (1.3)]. Требуется определить  $\delta_{срi}$  [формулы (1.4) или (1.5)].

*Обратная задача:* при известных параметрах составляющих звеньев требуется определить параметры замыкающего звена. Например, дано  $\delta_{ср}$  [формулы (1.4) или (1.5)], требуется определить  $\delta_{\Delta}$  [формулы (1.2) или (1.3)].

В инструментальном производстве такие задачи используют, например, при расчете торцового или радиального биения зубьев многозубого неперегачиваемого инструмента. При этом  $\delta_{\Delta}$  — допускаемое (или требуемое) биение,  $\delta_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta_{срi}$ ;  $\delta_{срi}$  — допускаемые средние значения погрешностей размеров составляющих звеньев в направлении измерения биения.

*Прямая задача:* при заданном значении  $\delta_{\Delta}$  и расчете по максимуму-минимуму возможны следующие варианты определения  $\delta_{срi}$ .

1. Распределение заданного значения  $\delta_{\Delta}$  равномерно между составляющими:  $\delta_{ср1} = \delta_{ср2} = \dots = \delta_{срm-1} = \frac{\delta_{\Delta}}{m-1}$ ; точность изготовления составляющих звеньев должна быть в  $(m-1)$  раз больше, чем допускаемое отклонение.

2. Распределение заданного значения  $\delta_{\Delta}$  между составляющими звеньями пропорционально числу единиц допуска  $a_c$  (способ одной степени точности для всех составляющих звеньев)

$$a_c = \frac{\delta_{\Delta}}{\sum_{i=1}^{m-1} i} = \frac{\delta_{\Delta}}{\sum_{i=1}^{m-1} (0,45 \sqrt[3]{D_{и}} + 0,001 D_{и})},$$

где  $i$  — коэффициент единицы поля допуска,  $i = 0,45 \sqrt[3]{D_{и}} + 0,001 D_{и}$   $D_{и} = \sqrt{D_{\min} D_{\max}}$  — среднее геометрическое интервала размеров, мм. При  $D_{и}$ , равном 3; 3—6; 6—10; 10—18; 18—30; 30—50; 50—80; 80—120; 120—180; 180—250  $i$  соответственно составляет 0,55; 0,73; 0,9; 1,08; 1,31; 1,56; 1,86; 2,17; 2,52; 2,89.

По рассчитанному значению  $a_c$  определяют качество точности звеньев из соотношения  $IT_n = a_c i$ :  $IT5-7i$ ;  $IT6-10i$ ;  $IT7-16i$ ;  $IT8-25i$ ;  $IT9-40i$ ;  $IT10-64i$ ;  $IT11-100i$ ;  $IT12-160i$ ;  $IT13-250i$ ;  $IT14-400i$ ;  $IT15-600i$ ;  $IT16-1000i$ ;  $IT17-1600i$ .

При  $a_c = 40$  точность соответствует 9-му качеству.

При заданных значениях  $\delta_{\Delta}$  и отклонений замыкающих звеньев вероятностным методом средний допуск может быть определен следующим образом:

по способу равных допусков

$$\delta_{ср} = \delta_{ср1} = \delta_{ср2} = \dots = \delta_{срm-1} = \frac{\delta_{\Delta}}{i \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^2}} \approx \frac{\delta_{\Delta}}{i \lambda_c \sqrt{m-1}};$$

| $\delta_{\Delta}$ , мм    | Число звеньев |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           | 4             | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    |
| $\delta_{\text{ср}}$ , мм |               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0,01                      | 0,004         | 0,004 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| 0,02                      | 0,008         | 0,007 | 0,007 | 0,006 | 0,006 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,004 |
| 0,03                      | 0,012         | 0,011 | 0,010 | 0,009 | 0,009 | 0,008 | 0,008 | 0,007 | 0,007 | 0,007 |
| 0,04                      | 0,016         | 0,014 | 0,013 | 0,012 | 0,011 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,009 | 0,009 |
| 0,05                      | 0,020         | 0,018 | 0,017 | 0,016 | 0,015 | 0,014 | 0,013 | 0,012 | 0,012 | 0,011 |
| 0,06                      | 0,025         | 0,022 | 0,020 | 0,019 | 0,016 | 0,017 | 0,016 | 0,015 | 0,014 | 0,014 |
| 0,08                      | 0,033         | 0,029 | 0,027 | 0,025 | 0,023 | 0,022 | 0,021 | 0,020 | 0,019 | 0,018 |
| 0,1                       | 0,041         | 0,036 | 0,033 | 0,031 | 0,029 | 0,027 | 0,026 | 0,025 | 0,024 | 0,023 |
| 0,2                       | 0,082         | 0,072 | 0,067 | 0,062 | 0,058 | 0,055 | 0,052 | 0,049 | 0,047 | 0,046 |

по способу одной степени точности

$$a_c = \frac{\delta_{\Delta}}{t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^2}} = \frac{\delta_{\Delta}}{t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^2 (0,45 \sqrt{D_{\text{и}}} + 0,01 D_{\text{и}})^2}}.$$

Обратная задача: при заданных значениях  $\delta_i$  найти значение  $\delta_{\Delta}$ . Решение при расчетах по максимуму-минимуму — по формуле (1.2), т. е. суммированием погрешностей звеньев. Решение по вероятностному методу — по формуле (1.3). Значения  $\lambda_i$  принимают равными  $\lambda_i = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577$  при неизвестном законе рассеивания размера детали,  $\lambda_i = \frac{1}{\sqrt{6}} = 0,408$  — при рассеивании, близком к закону треугольника и  $\lambda_i = \frac{1}{3} = 0,33$  — при рассеивании, близком к нормальному значению.

Значения  $t_{\Delta}$  принимаются в зависимости от степени риска  $P$  (обычно  $P = 0,01$  %;  $t_{\Delta} = 3,89$ )

Упрощенный вероятностный расчет  $\delta_{\Delta}$  производится по формуле

$$\delta_{\Delta} = \Theta \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \delta_i, \quad (1.6)$$

где  $\Theta$  — коэффициент, равный при числе составляющих звеньев 3; 4; 5; 6—8; 9—12 и более 12 соответственно 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4.

Из формул (1.2) и (1.6) видно, что допуски составляющих звеньев при вероятностной оценке могут быть расширены. Это дает возможность снизить стоимость изготовления изделий.