

## ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

### по расчету валов и опор зубчатых передач

На рис.1 представлена схема промежуточного валика механической передачи приборного электропривода с установленными на нем зубчатыми колесами  $Z_1$  и  $Z_2$  с диаметрами делительных окружностей  $d_1$  и  $d_2$ . Каждое из колес в соответствии с заданием может быть цилиндрическим прямозубым или косозубым, коническим, червячным, винтовым, что определяет наличие или отсутствие осевых сил  $F_{a1}$  и  $F_{a2}$ .

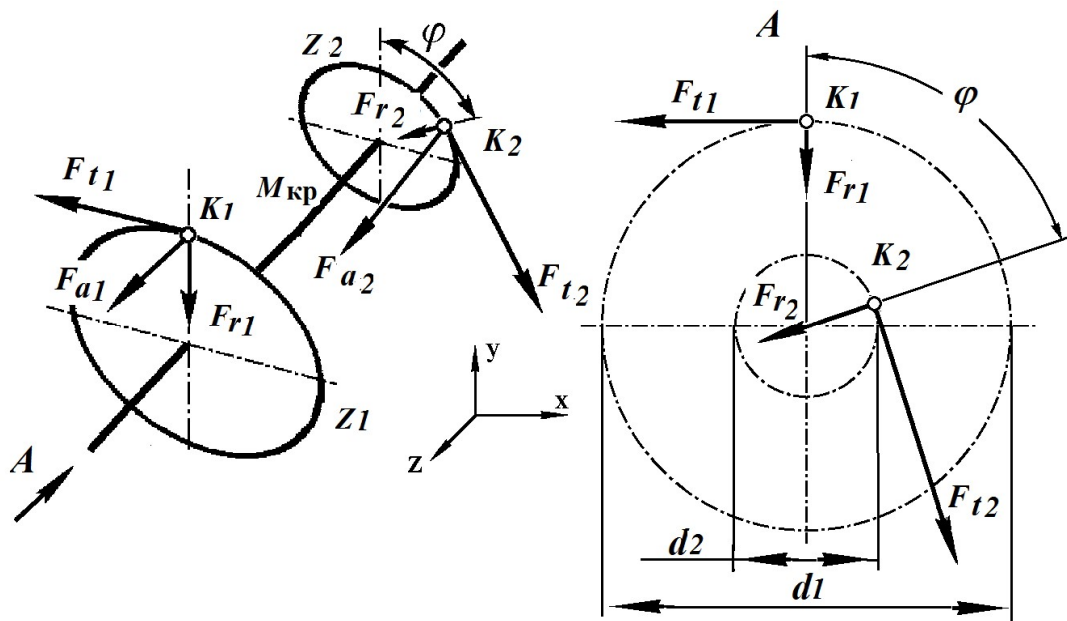


Рис.1

$K_1$  и  $K_2$  - точки зацепления 1-го и 2-го колес вала с колесами предыдущей и последующей ступеней, расположенные под углом  $f$  в пространстве;

$F_{t1}$  и  $F_{t2}$  - окружные силы, приложенные к зубчатым колесам в точках зацепления  $K_1$  и  $K_2$ ;

$F_{r1}$  и  $F_{r2}$  - радиальные силы в зацеплении, линия действия которых проходит через центр колеса;

$F_{a1}$  и  $F_{a2}$  - осевые силы в зацеплении, направленные вдоль оси вала;

$d_1$  и  $d_2$  - делительные диаметры зубчатых колес  $Z_1$  и  $Z_2$ ;

$M_{кр}$  - крутящий момент нагрузки на валу.

На рис. рис. 2 представлены схемы распределения сил, действующих на зубья в прямозубых рис. 2а и косозубых рис. 2б передачах.

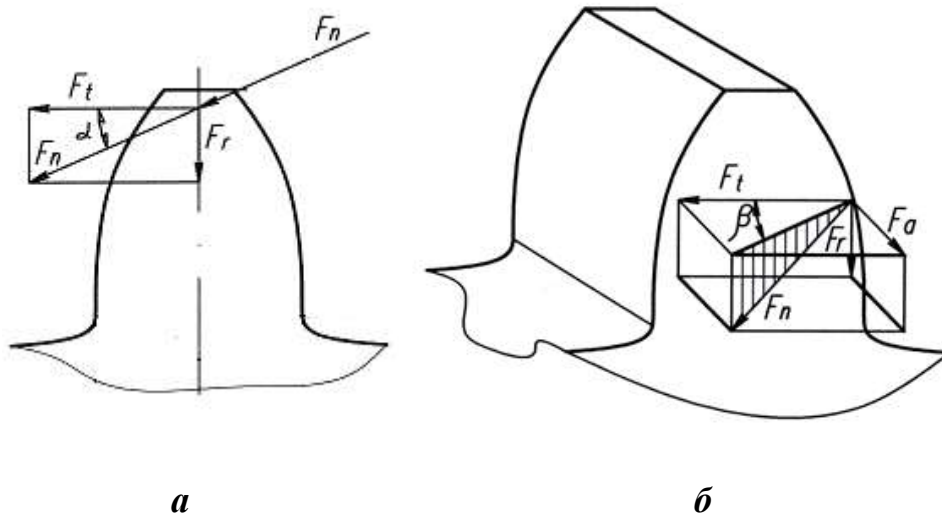


Рис. 2. Схемы действия сил в прямозубых **а** и косозубых **б** зубчатых передачах.

Силы определяются по формулам:

$$F_{ti} = \frac{M_{крi}}{d_i}$$

$$F_{ri} = F_{ti} \times \operatorname{tg} \alpha$$

$$F_{ai} = F_t \times \operatorname{tg} \beta$$

Варианты расположения опор относительно мест установки зубчатых колес представлены на рис. 3.

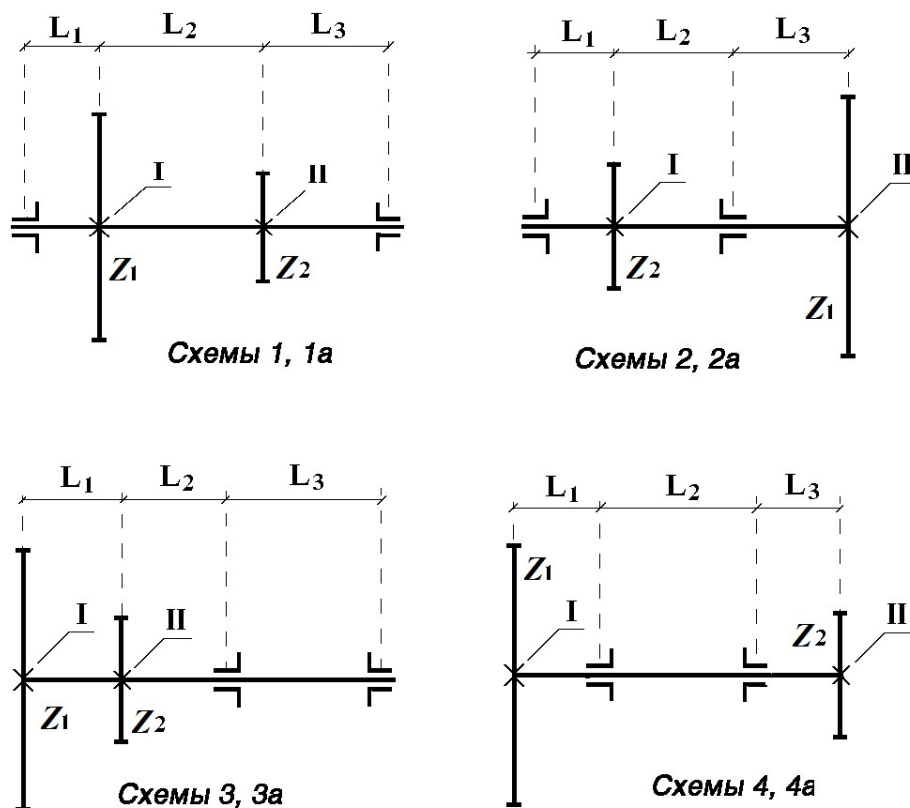


Рис.3. Схемы установки зубчатых колес на валиках (схемы 1, 1а, 2, 2а, 3, 3а, 4, 4а).

### Принятые обозначения:

$M_{кр}$  - крутящий момент на валиках в сечениях между установленными зубчатыми колесами;

$L_1, L_2, L_3$  - расстояния между опорами и местами установки зубчатых колес.

Варианты задания (таблица 1) задаются преподавателем.

В соответствии с вариантом задания произвести:

1. Расчёт вала на прочность и жесткость;
2. Подбор шариковых подшипников;
3. Расчёт опор с трением скольжения;
4. Сравнительный анализ типов опор;

5. Выполнить на бумаге формата А4 эскизы валов с опорными узлами на шариковых подшипниках и подшипников скольжения.

Номера вариантов задания приведены в таблице 1, выдаются преподавателем.

Таблица 1

Номера заданий и вариантов

| № вар. | №<br>схемы | М    | φ     | n      | Срок сл. | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | β <sub>1</sub> | β <sub>2</sub> | L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | L <sub>3</sub> |
|--------|------------|------|-------|--------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|        |            | Нмм  | град. | об/мин | час      | мм             | мм             | град           | град           | мм             | мм             | мм             |
| 1      | 1          | 500  | 180   | 500    | 1000     | 25             | 10             | 12             | 0              | 15             | 8              | 10             |
| 2      | 1а         | 600  | 180   | 1500   | 1200     | 10             | 30             | 0              | 12             | 15             | 15             | 15             |
| 3      | 2          | 700  | 180   | 2000   | 1600     | 9              | 28             | 12             | 0              | 15             | 10             | 10             |
| 4      | 2а         | 800  | 180   | 800    | 800      | 9              | 25             | 0              | 12             | 15             | 10             | 15             |
| 5      | 3          | 900  | 180   | 800    | 1000     | 20             | 8              | 12             | 0              | 15             | 10             | 15             |
| 6      | 3а         | 1000 | 180   | 1000   | 1200     | 20             | 10             | 0              | 12             | 18             | 15             | 12             |
| 7      | 4          | 1500 | 180   | 300    | 1500     | 30             | 10             | 12             | 0              | 15             | 20             | 15             |
| 8      | 4а         | 2000 | 180   | 1200   | 2500     | 10             | 27             | 0              | 12             | 10             | 30             | 10             |
| 9      | 1          | 2500 | 180   | 1200   | 800      | 25             | 10             | 12             | 0              | 12             | 20             | 18             |
| 10     | 1а         | 2000 | 180   | 1000   | 1500     | 10             | 24             | 0              | 12             | 30             | 12             | 20             |
| 11     | 2          | 2500 | 180   | 50     | 2000     | 10             | 24             | 12             | 0              | 10             | 10             | 10             |
| 12     | 2а         | 2000 | 180   | 300    | 1800     | 8              | 22             | 0              | 12             | 10             | 18             | 15             |
| 13     | 3          | 500  | 180   | 800    | 1800     | 20             | 8              | 12             | 0              | 13             | 15             | 8              |
| 14     | 3а         | 600  | 180   | 800    | 1000     | 20             | 9              | 0              | 12             | 14             | 14             | 15             |
| 15     | 4          | 700  | 180   | 1000   | 1200     | 20             | 10             | 12             | 0              | 18             | 10             | 8              |
| 16     | 4а         | 800  | 180   | 300    | 1500     | 8              | 20             | 0              | 12             | 16             | 8              | 10             |
| 17     | 1          | 900  | 180   | 1200   | 2500     | 9              | 20             | 12             | 0              | 15             | 8              | 15             |
| 18     | 1а         | 1000 | 180   | 1200   | 800      | 10             | 20             | 0              | 12             | 18             | 18             | 8              |
| 19     | 2          | 1500 | 180   | 1000   | 1500     | 20             | 10             | 12             | 0              | 15             | 15             | 15             |
| 20     | 2а         | 2000 | 180   | 750    | 2000     | 8              | 20             | 0              | 12             | 18             | 12             | 30             |
| 21     | 3          | 2500 | 180   | 2500   | 1600     | 25             | 8              | 12             | 0              | 18             | 18             | 20             |
| 22     | 3а         | 2000 | 180   | 1800   | 800      | 20             | 8              | 0              | 12             | 18             | 15             | 25             |
| 23     | 4          | 1500 | 180   | 2000   | 1000     | 35             | 10             | 12             | 0              | 15             | 25             | 10             |
| 24     | 4а         | 2000 | 180   | 1400   | 1200     | 10             | 20             | 0              | 12             | 10             | 25             | 15             |
| 25     | 1          | 500  | 180   | 900    | 2500     | 20             | 10             | 12             | 0              | 15             | 15             | 15             |
| 26     | 1а         | 600  | 180   | 800    | 1500     | 8              | 20             | 0              | 12             | 18             | 15             | 12             |
| 27     | 2          | 700  | 180   | 1000   | 1800     | 10             | 20             | 12             | 0              | 10             | 20             | 15             |
| 28     | 2а         | 800  | 180   | 300    | 2500     | 10             | 22             | 0              | 12             | 10             | 30             | 10             |
| 29     | 3          | 900  | 180   | 1200   | 2000     | 22             | 10             | 12             | 0              | 16             | 16             | 18             |
| 30     | 3а         | 1000 | 180   | 1100   | 1800     | 10             | 20             | 0              | 12             | 18             | 10             | 20             |
| 31     | 4          | 1500 | 180   | 1000   | 1500     | 20             | 8              | 12             | 0              | 10             | 30             | 10             |
| 32     | 4а         | 2000 | 180   | 750    | 1800     | 10             | 20             | 0              | 12             | 17             | 20             | 15             |
| 33     | 1          | 2500 | 180   | 950    | 1000     | 10             | 25             | 12             | 0              | 10             | 10             | 15             |
| 34     | 1а         | 2000 | 180   | 1250   | 1200     | 10             | 20             | 0              | 12             | 13             | 15             | 8              |
| 35     | 2          | 1500 | 180   | 1500   | 1500     | 10             | 30             | 12             | 0              | 14             | 24             | 15             |
| 36     | 2а         | 2000 | 180   | 500    | 2500     | 20             | 10             | 0              | 12             | 18             | 30             | 8              |

## **КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ВАЛА**

1. Выбрать материал вала и определить его механические характеристики.

2. Рассчитать изгибающие моменты в сечениях вала, построить эпюры изгибающих и крутящих моментов, рассчитать диаметры вала на прочность по эквивалентным напряжениям (приведенному моменту  $M_{пр}$ ) в наиболее опасных сечениях вала.

3. Предложить конструкцию вала, соответствующую варианту схемы с учетом собираемости его с подшипниками, зубчатыми колесами и корпусом.

4. Произвести расчет вала на крутильную и изгибную жесткость.

### **А. Расчет на прочность**

Если на вал или его участок действует только крутящий момент  $M_k$ , то его диаметр можно определить из условия прочности на кручение:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_k}{0,2 \times [\tau]}}$$

При одновременном действии крутящего  $M_{кр}$  и изгибающего  $M_{и}$  моментов расчёт можно вести через приведённый момент  $M_{пр}$  в опасном сечении:

$$M_{пр} = \sqrt{M_{и}^2 + 0,75 \times M_k^2}$$

по формуле:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{пр}}{0,1 \times [\sigma]}}$$

### **Б. Расчет на жесткость.**

С целью уменьшения упругого мёртвого хода в точных механизмах крутильная жёсткость валиков определяется условием

$$\varphi_{расч} \leq [\varphi]$$

где  $[\varphi]$ -допустимая величина угла закручивания валика на рабочей длине  $l_{\text{раб}}$  (при расчёте принять  $[\varphi]=20$  угловых минут).

Тогда диаметр валика на рабочем участке определяется по формуле:

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{64 \times M_k \times \ell_{\text{раб}}}{\pi \times G \times [\varphi]}}$$

Для уменьшения возможных перекосов, появления люфта и заклинивания передачи необходимо провести проверку размеров валов из условия изгибной жёсткости по формуле:

$$f_{\text{расч.}} \leq f_{\text{пред.}}$$

где:

$f_{\text{расч.}}$  - расчётная величина прогиба валика в месте установки колеса или шкива,

$f_{\text{пред.}}$  -предельно допускаемая величина прогиба.

В общем случае принимают  $f_{\text{пред}} \leq (0,0002...0,0003) \times L$ , где  $L$ -расстояние между опорами либо между опорой и зубчатым колесом.

По результатам расчета определить необходимые размеры и конструкцию вала. Обычно конструкция получается ступенчатой, так как  $M_{\text{пр}}$  на разных участках разные.

## **ПОДБОР ШАРИКОПОДШИПНИКОВ ДЛЯ ОПОР ВАЛА**

В настоящем задании предполагается провести подбор шарикоподшипников только по динамической грузоподъемности.

Принятые обозначения:

$C$  – динамическая грузоподъемность, Н;

$C_0$  – статическая грузоподъемность, Н;

$D_w$  – диаметр шарика (тела качения);

$D_0$  – диаметр окружности центров расположения шариков;

$e$  – безразмерная величина, характеризующая отношение радиального и осевого усилия;

$X$  – коэффициент динамической радиальной нагрузки;

$Y$  – коэффициент динамической осевой нагрузки;

$V$  – коэффициент вращения колец относительно вектора нагрузки при расчете динамической эквивалентной нагрузки

При расчетах принять:

- температура в подшипниках не превышает  $+60^{\circ}\text{C}$ ;
- возможные перегрузки до 200% расчетной нагрузки во всех вариантах задания.

### **Расчетные формулы**

Расчётная динамическая грузоподъёмность  $(C)_p$  определяется как:

$$(C)_p = 0,01 \times P \times \sqrt[3]{60 \times n \times L_h}$$

где  $L_h$  – долговечность в часах,

$n$  – частота вращения, об/мин,

$P$  – эквивалентная динамическая нагрузка, Н.

$$P = (X \times V \times F_r + Y \times F_a) \times k_{\sigma} \times k_T \quad \text{при} \quad \frac{F_a}{V \times F_r} > e$$

$$P = (X \times V \times F_r + Y \times [F_a \pm F_S]) \times k_{\sigma} \times k_T \quad \text{для радиально-упорных ш/п ;}$$

$$F_S = 1,3 F_r \times \operatorname{tg} \alpha$$

$$P = F_r \times V \times k_{\sigma} \times k_T \quad \text{при} \quad \frac{F_a}{V \times F_r} \leq e$$

$X$ ,  $Y$ ,  $k_{\sigma}$ ,  $k_T$ , и  $e$  – приведены в табл.3, 4;

$V=1,2$  при вращающемся наружном кольце;

$V=1$  при вращающемся внутреннем кольце.

Пользуясь данными таблиц 5, 6, подобрать подшипник, указать его номер и выписать его табличные данные.

Основные конструктивные элементы стандартного однорядного радиального подшипника приведены на рис. 4.

Момент трения в шарикоподшипнике определяется по формуле :

$$M_{\text{тр}} = M_0 + (1,25 \times F_r + 1,5 \times F_a) \times f_k \frac{d_o}{d_{\text{ш}}}, \text{ Нмм}; \quad f_k = 0,01 \dots 0,02 \text{ мм}$$

$$M = 0,04 \times d_o \text{ Нмм}; \quad d_o = \frac{D + d}{2}$$

| $d(\text{мм})$ | 1    | 2 | 3    | 4, 5 | 6    | 7, 8 | 9   | 10   |
|----------------|------|---|------|------|------|------|-----|------|
| $d_{\text{ш}}$ | 0,68 | 1 | 1,59 | 2    | 2,38 | 3    | 3,5 | 3,96 |

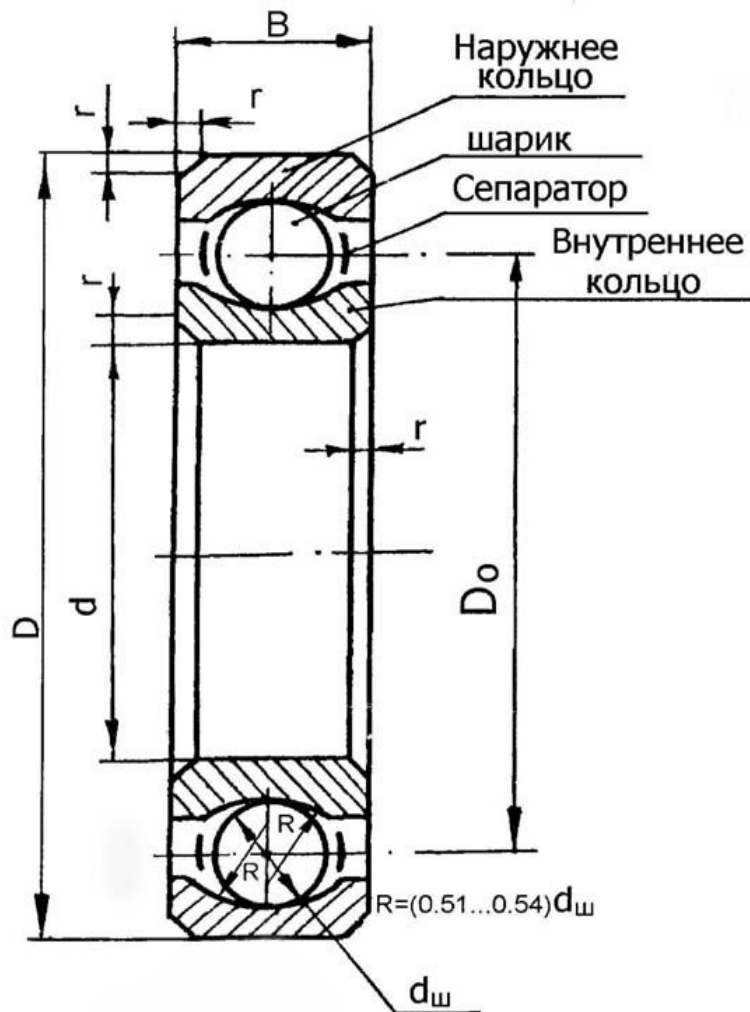


Рис. 4. Основные конструктивные элементы стандартного однорядного радиального подшипника.



Пользуясь атласом ЭПУ [1] или приложением, выбрать конструкцию вала и опор.

### **РАСЧЕТ ОПОР С ТРЕНИЕМ СКОЛЬЖЕНИЯ**

1. Выбрать тип и материал опор исходя из условий нагружения и эксплуатации (таблицы 7 и 8).

2. Для выбранных материалов цапф и втулок (корпуса) определить по таблицам:

допускаемое давление  $[p]$ ,

допускаемое значение критерия теплостойкости  $[pv]$ ,

допускаемое значение напряжения изгиба материала цапфы  $[\sigma_u]$ .

3. Определить параметр  $\lambda = \ell/d$  по формуле 1

$$\lambda \leq \frac{1}{4} \sqrt{\frac{[\sigma_u] \times \pi}{[p]}}$$

Обычно принимают  $\lambda = 0,5 \dots 1,5$

Если  $\lambda$  не находится в допускаемом диапазоне, то необходимо выбрать другие материалы с другими  $[\sigma_u]$  и  $[p]$ .

4. Определить диаметры цапф

$$d = 4 \sqrt{\frac{F_r \times \lambda}{\pi \times [\sigma_u]}}$$

Найденное значение  $d$  округляется и согласуется с расчётными диаметрами участков валика из условий прочности и жёсткости.

5. Найти длину цапфы  $\ell = \lambda d$

6. Проверить найденные параметры цапф на соответствие критерию  $[pv]$ :

$$\ell \geq \frac{F_r \times \omega}{2 \times [pv]}$$

Найденное значение  $\ell$  сравнить с ранее вычисленным (п.5) и выбрать наибольшее, имея ввиду, что при этом должно выполняться условие (п.3). Если оно не выполняется, то необходимо проанализировать результаты расчетов и соответственно изменить параметры опор.

7. Определить моменты трения в левой и правой опорах и к.п.д. опор:

$$M_{\text{тр}} = 0,635 \times F_r \times f \times d; (f=0,08); M_{\text{тр(сум.)}} = M_{\text{тр(лев)}} + M_{\text{тр(прав)}}.$$

$$\eta = \frac{M_{\text{кр}} - M_{\text{тр(сум.)}}}{M_{\text{кр}}}$$

# Материалы для валов

Таблица 2

| Марка стали                  | Термообработка                                     | $\sigma_T$<br>МПа  | $\sigma_B$<br>МПа    | $\sigma_{-1}$<br>МПа | Твердость<br>(среднее значение)                 | Примечания                                       | ГОСТ    |
|------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------|
| 40X<br>45X                   | Улучшение<br>Улучшение                             | -<br>850           | 860<br>1050          | 380<br>600           | 235 <i>HB</i><br>250 <i>HB</i>                  | не стойкие<br>коррозионно                        | 4543-71 |
| 40XH<br>45XH<br>50XH         | -<br>Улучшение                                     | 800<br>850<br>900  | 1100<br>1150<br>1200 | 394<br>-<br>-        | -<br>-<br>-                                     | не стойкие<br>коррозионно                        |         |
| AC40<br>AC40XГНМ<br>AC20XГНМ | Улучшение<br>Улучшение<br>Улучшение                | 450<br>850<br>1200 | 600<br>1000<br>1400  | 230<br>190<br>-      | 230 <i>HB</i><br>240 <i>HB</i><br>260 <i>HB</i> | не стойкие<br>коррозионно<br>автоматные          | 1414-75 |
| 12XH2<br>20XH3A<br>12X2H4A   | Улучшение<br>Улучшение<br>Закалка,<br>нормализация | 600<br>750<br>950  | 760<br>950<br>1150   | 330<br>390<br>530    | 230 <i>HB</i><br>250 <i>HB</i><br>300 <i>HB</i> | нерж. малое<br>коробление<br>хладостойкие        | 4543-71 |
| 30X13<br>430X1               | Улучшение<br>Улучшение                             | 770<br>770         | 950<br>950           | -<br>-               | 44..51<br>HRC<br>40..50<br><i>HRC</i>           | выс.корр.стойк<br>до 300 град С<br>до 400 град С | 5632-72 |

Для неуказанных значений можно приближенно принять:

$\sigma_{-1} \approx 0,5\sigma_B$ ,  $HB \approx \sigma_B/3,3$  для высоколегированных сталей,  $HB \approx \sigma_B/3,5$  для среднелегированных сталей.

Таблица 3

Значения  $X$  и  $Y$  для радиальных и радиально-упорных  
однорядных шарикоподшипников (ГОСТ 18855-82)

| $\alpha^\circ$ | $\frac{F_a}{C_o}$ | $\frac{F_a}{V \times F_r} \leq e$ | $\frac{F_a}{V \times F_r} > e$ | $e$ |
|----------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----|
|----------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----|

| (градус) |       | $X$ | $Y$ | $X$  | $Y$  |      |
|----------|-------|-----|-----|------|------|------|
| 0        | 0,014 | 1   | 0   | 0,56 | 2,30 | 0,19 |
|          | 0,028 |     |     |      | 1,99 | 0,22 |
|          | 0,056 |     |     |      | 1,71 | 0,26 |
|          | 0,084 |     |     |      | 1,55 | 0,28 |
|          | 0,110 |     |     |      | 1,45 | 0,30 |
|          | 0,170 |     |     |      | 1,31 | 0,34 |
|          | 0,280 |     |     |      | 1,15 | 0,38 |
|          | 0,420 |     |     |      | 1,04 | 0,42 |
|          | 0,560 |     |     |      | 1,00 | 0,44 |
| 12       | 0,014 | 1   | 0   | 0,45 | 1,81 | 0,30 |
|          | 0,057 |     |     |      | 1,46 | 0,37 |
|          | 0,110 |     |     |      | 1,22 | 0,45 |
|          | 0,170 |     |     |      | 1,13 | 0,48 |
|          | 0,290 |     |     |      | 1,04 | 0,52 |
|          | 0,570 |     |     |      | 1,00 | 0,54 |
| 18       |       | 1   | 0   | 0,43 | 1,00 | 0,57 |
| 26       |       |     |     | 0,41 | 0,87 | 0,68 |
| 36       |       |     |     | 0,37 | 0,66 | 0,95 |

Таблица 4

Коэффициент безопасности  $k_6$  \*

| Характер нагрузки на подшипнике                                       | $k_6$   |
|-----------------------------------------------------------------------|---------|
| Спокойная без толчков                                                 | 1       |
| Легкие толчки. Кратковременная перегрузка до 125% расчетной нагрузки. | 1...1,2 |

|                                                                                                                                                                                                                                         |                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Умеренные толчки. Вибрационная нагрузка.<br>Кратковременная перегрузка до 150% расчетной нагрузки.<br>То же, в условиях повышенной надежности.<br>Значительные толчки. Вибрация. Кратковременная перегрузка до 200% расчетной нагрузки. | 1,3...1,5<br>1,5...1,8<br>1,8...2,5 |
| Нагрузки с сильными ударами и кратковременная перегрузка до 300% расчетной нагрузки.                                                                                                                                                    | 2,5...3                             |

\* В устройствах с реверсивным электроприводом можно приближенно принимать  $k_6$  равным коэффициенту инерции кратности пускового момента электродвигателя. В виброударных системах (например, с электромагнитным механизмом) принимать  $k_6=3$ .

Таблица 5.

Параметры радиальных однорядных шарикоподшипников типа 0000 (ГОСТ 8338-75\*).

| Условное обозначение          | Основные размеры, мм |          |          |          |                      | Z  | C<br>H | C <sub>o</sub><br>H |
|-------------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------------------|----|--------|---------------------|
|                               |                      |          |          |          |                      |    |        |                     |
|                               | <i>d</i>             | <i>D</i> | <i>B</i> | <i>r</i> | <i>D<sub>w</sub></i> |    |        |                     |
| Сверхлёгкая серия диаметров 8 |                      |          |          |          |                      |    |        |                     |
| 1000084                       | 4                    | 9        | 2,5      | 0,2      | 1,300                | 9  | 420    | 190                 |
| 1000085                       | 5                    | 11       | 3        | 0,3      | 1,588                | 9  | 635    | 280                 |
| 1000088                       | 8                    | 16       | 4        | 0,4      | 2,000                | 10 | 980    | 500                 |

| Сверхлёгкая серия диаметров 9  |     |    |     |     |       |   |      |      |
|--------------------------------|-----|----|-----|-----|-------|---|------|------|
| 1000091                        | 1   | 4  | 1,6 | 0,2 | 0,680 | 6 | 200  | 30   |
| 1000092                        | 2   | 6  | 2,3 | 0,2 | 1,000 | 7 | 220  | 90   |
| 1000093                        | 3   | 8  | 3   | 0,2 | 1,588 | 6 | 440  | 200  |
| 1000094                        | 4   | 11 | 4   | 0,3 | 2,000 | 7 | 750  | 350  |
| 1000095                        | 5   | 13 | 4   | 0,4 | 2,000 | 8 | 850  | 400  |
| 1000096                        | 6   | 15 | 5   | 0,4 | 2,381 | 8 | 1160 | 570  |
| 1000097                        | 7   | 17 | 5   | 0,5 | 3,000 | 7 | 1580 | 790  |
| 1000098                        | 8   | 19 | 6   | 0,5 | 3,000 | 8 | 1750 | 900  |
| 1000099                        | 9   | 20 | 6   | 0,5 | 3,500 | 7 | 2100 | 1070 |
| 1000900                        | 10  | 22 | 6   | 0,5 | 3,969 | 7 | 2620 | 1380 |
| Сверхлёгкая серия диаметров 8  |     |    |     |     |       |   |      |      |
| 2000154                        | 1,5 | 4  | 1,7 | 0,1 | 0,680 | 7 | 140  | 39   |
| 2000083                        | 3   | 7  | 2,5 | 0,3 | 1,300 | 7 | 450  | 147  |
| 2000087                        | 7   | 14 | 4   | 0,3 | 2,000 | 9 | 1170 | 440  |
| Особо лёгкая серия диаметров 1 |     |    |     |     |       |   |      |      |
| 13                             | 3   | 9  | 3   | 0,3 | 1,588 | 6 | 440  | 190  |
| 17                             | 7   | 19 | 6   | 0,5 | 3,969 | 6 | 2240 | 1180 |
| 18                             | 8   | 22 | 7   | 0,5 | 3,969 | 7 | 2260 | 1380 |
| 100                            | 10  | 26 | 8   | 0,5 | 4,763 | 7 | 3600 | 2000 |
| Лёгкая серия диаметров 2       |     |    |     |     |       |   |      |      |
| 23                             | 3   | 10 | 4   | 0,3 | 1,588 | 7 | 500  | 220  |
| 24                             | 4   | 13 | 5   | 0,4 | 2,381 | 6 | 920  | 430  |
| 25                             | 5   | 16 | 5   | 0,5 | 3,175 | 6 | 1500 | 760  |
| 26                             | 6   | 19 | 6   | 0,5 | 3,969 | 6 | 2210 | 1180 |
| 27                             | 7   | 22 | 7   | 0,5 | 3,969 | 7 | 2560 | 1380 |
| 28                             | 8   | 24 | 7   | 0,5 | 3,969 | 7 | 2620 | 1380 |
| 29                             | 9   | 26 | 8   | 1,0 | 4,763 | 7 | 3570 | 2000 |

| Средняя серия диаметров 3 |   |    |   |     |       |   |      |      |
|---------------------------|---|----|---|-----|-------|---|------|------|
| 34                        | 4 | 16 | 5 | 0,5 | 1,588 | 7 | 1450 | 740  |
| 35                        | 5 | 19 | 6 | 0,5 | 3,969 | 6 | 2170 | 1180 |

Таблица 6

Конструктивные параметры радиально-упорных однорядных шарикоподшипников (ГОСТ 831-75)

| Условное обозначение           | Основные размеры, мм |          |          |          |          |           |          |
|--------------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
|                                | <i>d</i>             | <i>D</i> | <i>B</i> | <i>T</i> | <i>r</i> | <i>Dw</i> | <i>Z</i> |
| Тип 1006000. Серия диаметров 9 |                      |          |          |          |          |           |          |
| 1006095                        | 5                    | 13       | 4        | 4        | 0,4      | 2,000     | 7        |
| 1006096                        | 6                    | 15       | 5        | 5        | 0,4      | 2,381     | 8        |
| Тип 6000. Серия диаметров 1    |                      |          |          |          |          |           |          |
| 6017                           | 7                    | 19       | 6        | 6        | 0,5      | 3,969     | 6        |
| 6100                           | 10                   | 26       | 8        | 8        | 0,5      | 4,763     | 9        |
| Тип 36000. Серия диаметров 1   |                      |          |          |          |          |           |          |
| 36100                          | 10                   | 26       | 8        | 8        | 0,5      | 4,763     | 8        |
| Тип 46000. Серия диаметров 1   |                      |          |          |          |          |           |          |
| 46100Ю                         | 10                   | 26       | 8        | 8        | 0,5      | 4,763     | 8        |
| Тип 6000. Серия диаметров 2    |                      |          |          |          |          |           |          |
| 6023                           | 3                    | 10       | 4        | 4        | 0,3      | 1,588     | 7        |
| 6025                           | 5                    | 16       | 5        | 5        | 0,5      | 3,175     | 8        |
| 6026                           | 6                    | 19       | 6        | 6        | 0,5      | 3,969     | 6        |
| 6027                           | 7                    | 22       | 7        | 7        | 0,5      | 4,763     | 7        |
| 6028К                          | 8                    | 24       | 7        | 7        | 0,5      | 4,763     | 8        |

Таблица 7

Материалы для втулок опор скольжения.

| Материал               | ГОСТ    | Прим.  | Твердость<br>НВ | $E \cdot 10^5$ | $\sigma_B$ | $\sigma_0$ | $\sigma_{-1}$ |
|------------------------|---------|--------|-----------------|----------------|------------|------------|---------------|
|                        |         |        |                 | МПа            |            |            |               |
| БРОФ10-1               | 5017    | втулки | 90-120          | 1,0            | 250        | 50         | 35            |
| БРАЖ9-4                | 1628    | втулки | 110-180         | 1,0            | 490        | 80         | 65            |
| ЛС59-1                 | 1711    | втулки | 90              | 0,93           | 430        | 145        | 105           |
| Корунд                 | 5-72    | втулки | 1860-2750       | 3,4-3,8        | 187,5      | 893        |               |
| Агат                   | 1107-62 | втулки | 900-1000        | 0,78-0,88      | 90         | 170-440    |               |
| Текстолит ПТК          |         | втулки | 34              | 5,0            | 24,5       | 25         | 20            |
| Фторопласт             |         |        | 3-4             | 0,46-0,83      |            | 13         |               |
| Полиамидная смола П-68 | 1598-73 | втулки | 14--15          | 0,023          | 55         | 20         | 15            |



Таблица 8

Коэффициенты трения и допускаемые нагрузки для материалов опор скольжения

| Материалы трущихся поверхностей   | Коэффициент трения $f$ | $[p]$<br>МПа | $[pv]$<br>Мпа м/с |
|-----------------------------------|------------------------|--------------|-------------------|
| Сталь-бронза ОЦС                  | со смазкой 0,05        | 5 - 10       | 10-12             |
| Сталь-бронза ОФ                   | со смазкой 0,05        | 10-15        | до 20             |
| Сталь-бронза СЭО                  | без смазки 0,1-0,2     | 20-25        | до 30             |
| Сталь-бронза АЖ, АЖС              | без смазки 0,1-0,2     | 15-25        | до 20             |
| Сталь закалённая - чугун          | со смазкой 0,06        | до 10        | -                 |
| Сталь закалённая-сталь закалённая | со смазкой 0,08        | 15           | -                 |
| Сталь-текстолит                   | без смазки 0,25        | 20-25        | 25                |
| Сталь-полиамид                    | 0,15-0,21              | 10-15        | 15                |
| Сталь-металлокерамика             | без смазки 0,4         | 4-5          | 0,7               |
|                                   | со смазкой 0,1         | 4-5          | 0,7               |
| Сталь-латунь ЛС59-1               | без смазки 0,14        | 10-12        | 10                |
|                                   | со смазкой 0,02        | 10-12        | 10                |
| Сталь-ситалл                      | 0,1-0,12               |              | -                 |
| Сталь-агат                        | 0,13                   | -            | -                 |
| Сталь-корунд                      | 0,15                   | -            | -                 |
| Сталь-рубин                       | 0,14                   | -            | -                 |

### Конструкции некоторых типов подшипников скольжения (втулки)

Втулки подшипников скольжения металлические ( по ГОСТ 1978— 81) установлены двух типов: А — гладкие и В — с буртиком, диаметры отверстий 3...250 мм. Стандарт распространяется на втулки подшипников общего назначения, исключая специальные: быстроходные, тяжело нагруженные и др. Допускается изготовление втулок с припусками по внутреннему и наружному диаметрам. Предельные отклонения размеров втулок:  $d$ — по  $F7$ ,  $D$ — по  $r6$ ,  $D_1$  — по  $r11$ ,  $L$  — по  $h13$ .

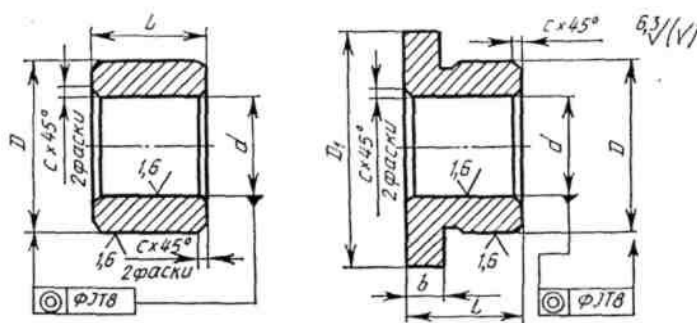


Рис.5 Размеры втулок подшипников скольжения металлических  
( по ГОСТ 1978— 81)

## Размеры втулок подшипников скольжения металлических

| $d$ | $D$ по ряду |    | $D$ | $L$ по ряду |    |    | $b$ | $d$ | $D$ по ряду |    | $D_1$ | $L$ по ряду |    |    | $b$ |
|-----|-------------|----|-----|-------------|----|----|-----|-----|-------------|----|-------|-------------|----|----|-----|
|     | 1           | 2  |     | 1           | 2  | 3  |     |     | 1           | 2  |       | 1           | 2  | 3  |     |
| 3   | 5           | 6  | 8   | 3           | 5  |    | 2   | 14  | 18          | 20 | 25    | 10          | 15 | 20 | 3   |
| 4   | 7           | 8  | 10  | 4           | 6  | —  | 2   | 15  | 19          | 21 | 27    | 10          | 15 | 20 | 3   |
| 5   | 8           | 9  | 12  | 5           | 8  | —  | 2   | 16  | 20          | 22 | 28    | 12          | 15 | 20 | 3   |
| 6   | 10          | 12 | 14  | 6           | 10 | —  | 3   | 18  | 22          | 24 | 30    | 12          | 20 | 30 | 3   |
| 8   | 12          | 14 | 16  | 6           | 10 | —  | 3   | 20  | 24          | 20 | 32    | 15          | 20 | 30 | 3   |
| 10  | 14          | 16 | 20  | 6           | 10 | —  | 3   | 22  | 26          | 28 | 54    | 15          | 20 | 30 | 3   |
| 12  | 16          | 18 | 22  | 10          | 15 | 20 | 3   | 25  | 30          | 32 | 38    | 20          | 30 | 40 | 4   |

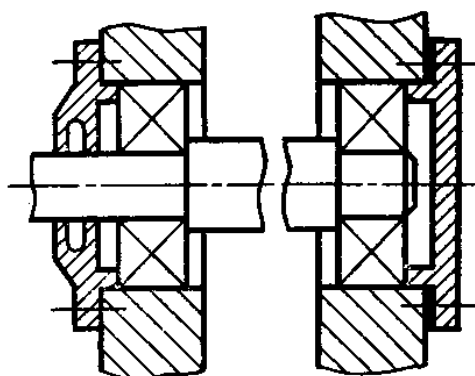
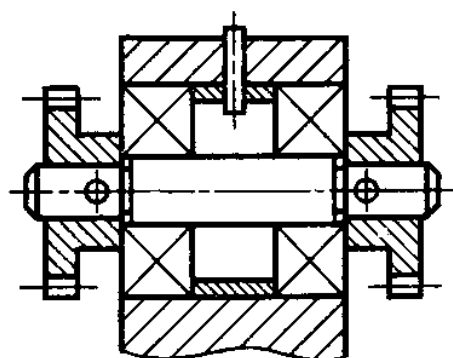
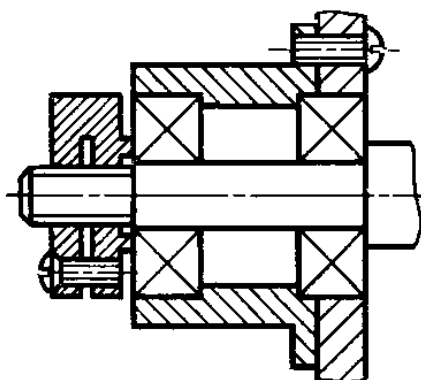
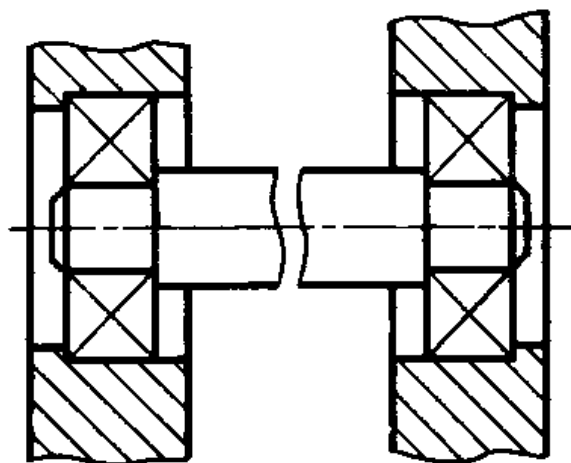
## Пример обозначения

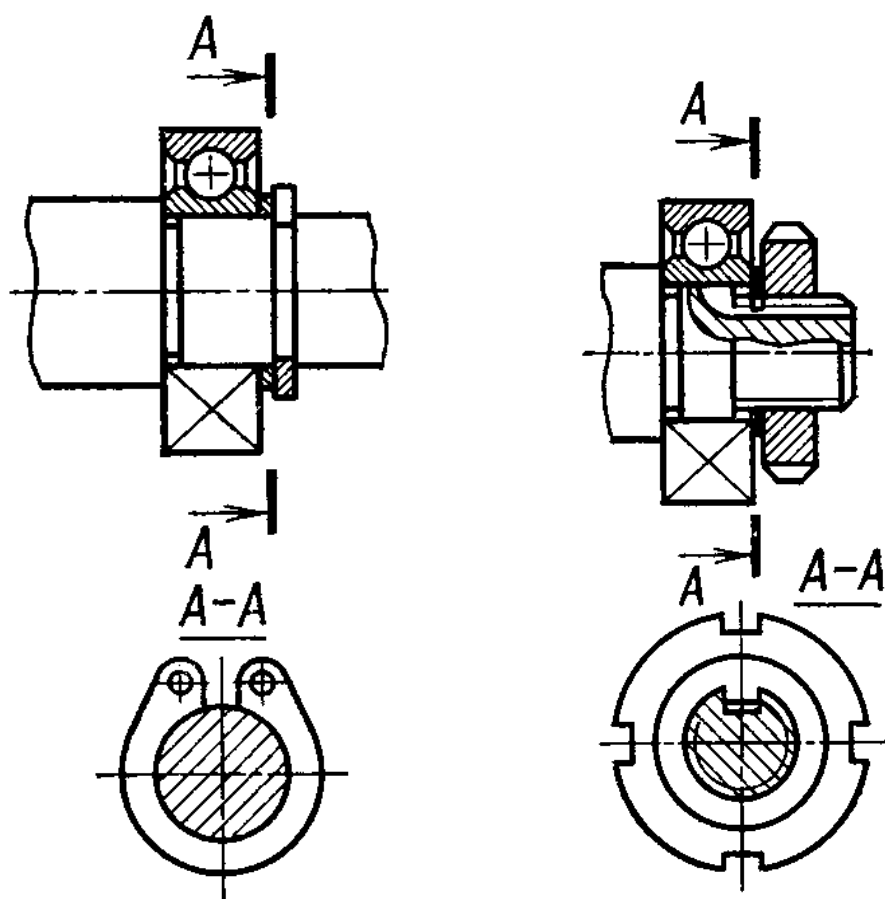
Втулка В 10/16х6 ГОСТ 1978—81 — втулка подшипника скольжения металлическая с буртиком (тип В), внутренний диаметр 10 мм, наружный — 16 мм, длина 6 мм.

## Литература.

1. Атлас конструкций элементов приборных устройств: Уч. пособ. для студентов приборостроительных специальностей вузов/ Буцев А.А., Еремеев А.И., Кокорев Ю.А. и др.; Под ред. Тищенко О.Ф., - М.: Машиностроение, 1982,- 116 с., ил.
2. Веселова Е.В., Нарыкова Н.И. Расчет и конструирование валов и осей приборов: Уч. пособ./ Под ред. О.Ф. Тищенко. - М.: МВТУ. 1980. 48 с.,ил.
3. Виляевская Т.И., Веселова Е.В. Методические указания по выполнению домашнего задания "Проектирование опор вала передач" по курсу ЭПУ,-М. :МВТУ,1979,-32с.,ил.
4. Потапцев И.С., Веселова Е.В., Нарыкова Н.И., Якименко А.В. Расчет и конструирование валов и опор механических передач приборов. Уч. пособие по курсу ОКП. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 32 с., ил.
5. Бейзельман Р.Д., Цыпкин Б.В., Перель Л.Я. Подшипники качения: Справочник.- 6-е изд., перераб. и доп. -М.: Машиностроение, 1975, -572 с., ил.
6. Детали машин: учебник для вузов / [Л.А. Андриенко, Б.А. Байков, М.А. Захаров и др.]; под. ред. Ряховского. – 4-е изд., перераб. И доп. – Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 465, : ил.

## Способы установки вала с опорами в корпус





Примеры посадок и стопорения наружных колец шариковых подшипников в корпусных деталях

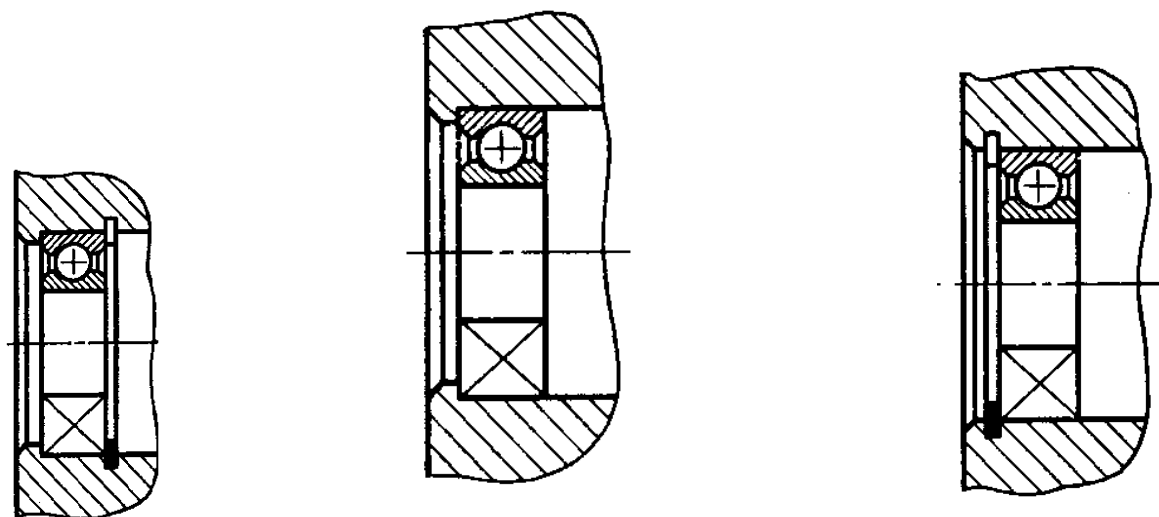


Схема расположения полей допусков на средние наружный диаметр и диаметр отверстия подшипников по классам точности

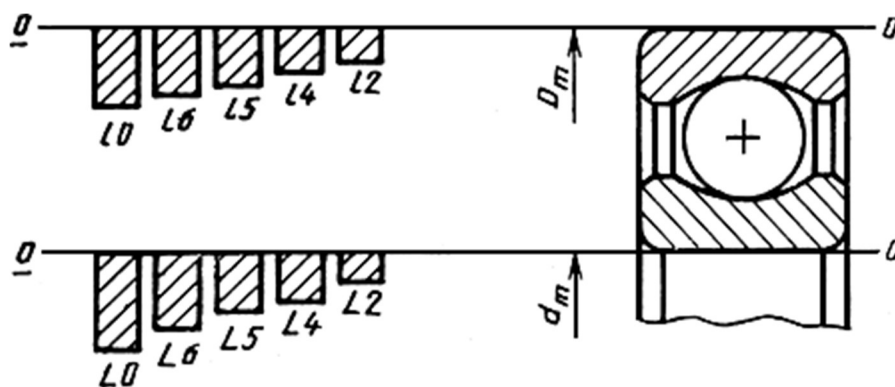


Рис.6

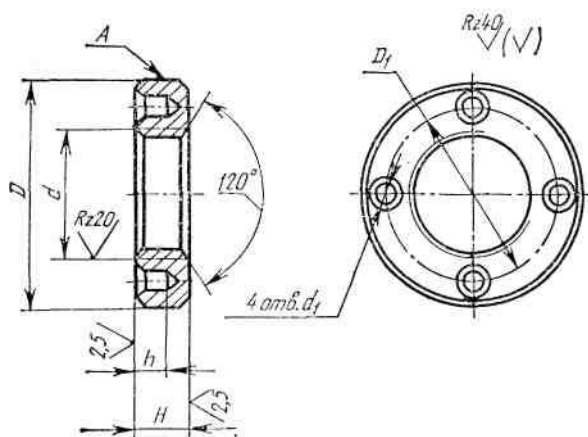


Рис.7 Круглые гайки с отверстиями

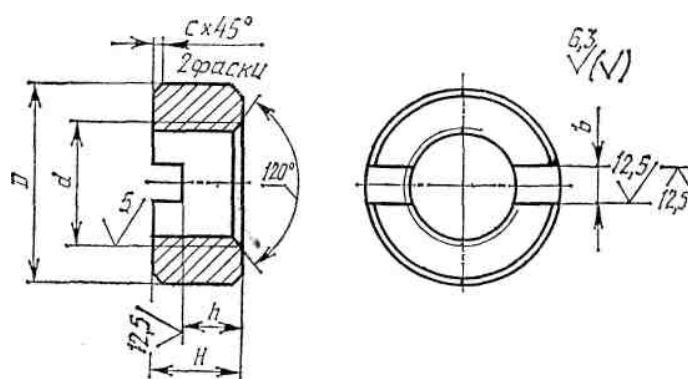


Рис.8 Конструкция круглых гаек со шлицом ( по ГОСТ 10657—80), мм

Размеры круглых гаек (ГОСТ 6393—73), мм

| $d$ | $p$  | $D$ | $D_1$ | $d_1$ | $H$ | $h$ |
|-----|------|-----|-------|-------|-----|-----|
| 8   | 1    | 18  | 13    | 3,0   | 6   | 3,5 |
| 10  | 1,25 | 22  | 15    | 3,0   | 6   | 3,5 |
| 12  | 1,25 | 26  | 18    | 3,0   | 6   | 3,5 |
| 14  | 1,5  | 28  | 20    | 3,0   | 6   | 3,5 |
| 16  | 1,5  | 30  | 22    | 3,5   | 8   | 5,0 |
| 18  | 1,5  | 32  | 24    | 3,5   | 8   | 5,0 |
| 20  | 1,5  | 34  | 27    | 3,5   | 8   | 5,0 |

Примечание. Предельные отклонения размеров:  $D$  по  $h13$ ,  $d$  по  $H13$ ,  $H$  по  $h14$ ,  $h$  по  $\pm IT14/2$ .



Размеры круглых гаек со шлицом ( по ГОСТ10657-80), мм

| $d$ | $p$       | $D$ | $H$ | $b$ | $h$ | $c$ |
|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1   | 0,25      | 2,5 | 1,0 | 0,3 | 0,7 | 0,1 |
| 1,2 | 0,25      | 3,0 | 1,2 | 0,3 | 0,8 | 0,1 |
| 1,6 | 0,35      | 3,0 | 1,6 | 0,5 | 1,0 | 0,1 |
| 2   | 0,4       | 4,0 | 2,0 | 1,0 | 1,3 | 0,2 |
| 2,5 | 0,45      | 5,0 | 2,2 | 1,0 | 1,5 | 0,2 |
| 3   | 0,5       | 6,0 | 2,5 | 1,2 | 1,6 | 0,2 |
| 4   | 0,7       | 8,0 | 3,5 | 1,4 | 2,2 | 0,4 |
| 5   | 0,8       | 10  | 4,0 | 2,0 | 2,5 | 0,4 |
| 6   | 1         | 11  | 5,0 | 2,8 | 2,7 | 0,6 |
| 8   | 1,25      | 14  | 6,5 | 3,0 | 3,5 | 0,6 |
| 10  | 1,5; 1,25 | 18  | 8,0 | 3,5 | 4,5 | 0,6 |

## Стопорные кольца

