

# Подшипники качения

## Вопросы, изложенные в лекции

- 1 Общие сведения. Классификация.
- 2 Маркировка подшипников качения.
- 3 Виды разрушения подшипников качения. Особенности рабочего процесса.
- 4 Расчет подшипников качения. Особенности проектирования подшипниковых узлов.

# Подшипники качения. Общие сведения

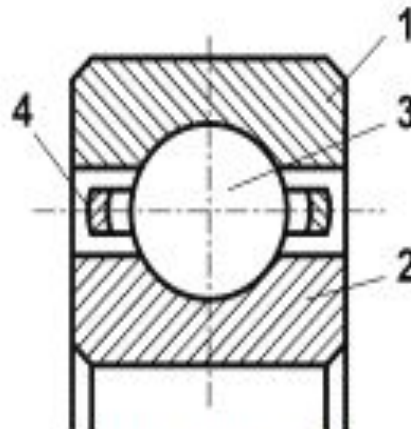
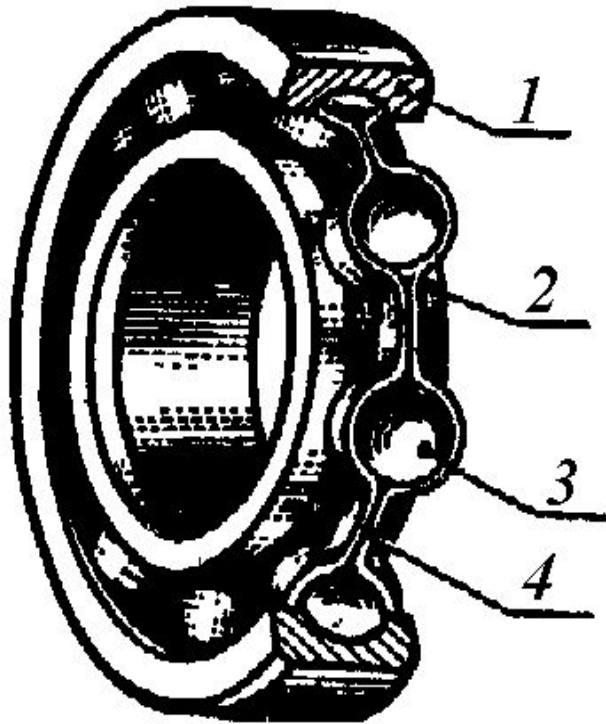


Рисунок 1  
Подшипник качения (конструкция)

Подшипник качения – подшипник, работающий по принципу трения качения.

Подшипник качения – готовое стандартное изделие, которое устанавливается в механизм или машину без дополнительной доработки.

Конструктивно подшипник качения (рисунок 1), как правило, включает 4 основных элемента:

- 1) наружное кольцо, устанавливаемое обычно в корпусе;
- 2) внутреннее кольцо, обычно устанавливаемое на цапфу вала;
- 3) тела качения (шарики или ролики), обкатывающиеся при работе подшипника по беговым дорожкам наружного и внутреннего колец;
- 4) сепаратор, разделяющий тела качения друг от друга.

# Подшипники качения. Общие сведения

## Достоинства:

- 1 *малые потери на трение* (приведённый к цапфе вала коэффициент трения подшипников качения  $f = 1,5 \cdot 10^{-3} \dots 6 \cdot 10^{-3}$ );
- 2 *малые габариты в осевом направлении;*
- 3 *низкая стоимость при высокой степени взаимозаменяемости;*
- 4 *малый пусковой момент сопротивления, практически одинаковый с моментом, действующим в процессе установившегося движения;*
- 5 *малый расход смазочных материалов и, следовательно, малый объём работ по обслуживанию;*
- 6 *пониженные требования к материалу и качеству обработки цапф.*

## Недостатки:

- 1 *высокая чувствительность к ударным и вибрационным нагрузкам* вследствие малых площадей контакта между телами качения и беговыми дорожками колец подшипника;
- 2 *большие габариты в радиальном направлении;*
- 3 *малая надёжность в высокоскоростных приводах.*

# Подшипники качения. Классификация

- 1) По направлению действия воспринимаемой нагрузки:** (рисунок 2)
- **радиальные** (нагрузка, перпендикулярная оси вращения);
  - **радиально-упорные** (радиальная и осевая нагрузки, причём радиальная нагрузка больше осевой);
  - **упорно-радиальные** (радиальная и осевая нагрузки, но радиальная нагрузка меньше осевой);
  - **упорные** (только под осевую нагрузку);
  - **комбинированные** (радиальная и осевая нагрузки воспринимаются разными телами качения).

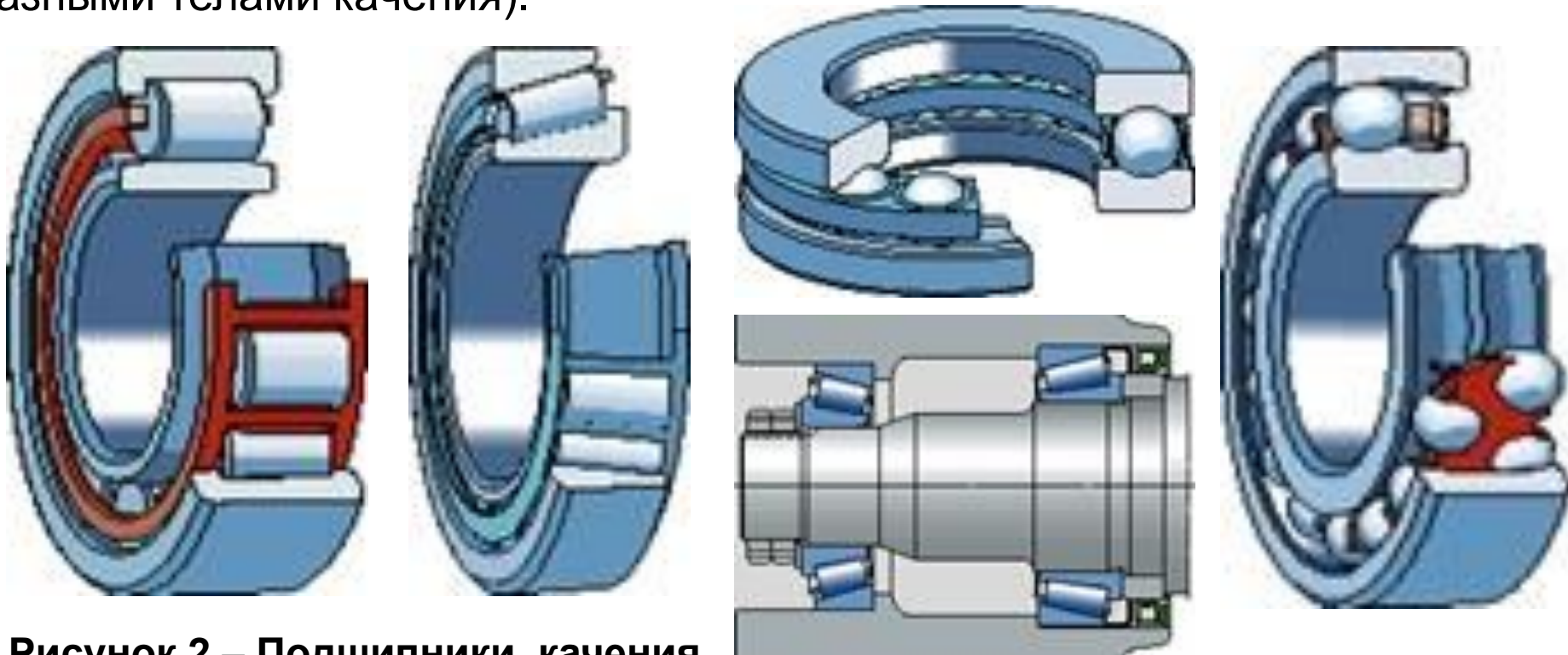


Рисунок 2 – Подшипники качения

# Подшипники качения. Классификация

## 2) По форме тел качения: (рисунок 3)

- шариковые;
- роликовые (с цилиндрическими, коническими или бочкообразными роликами, витые, игольчатые).

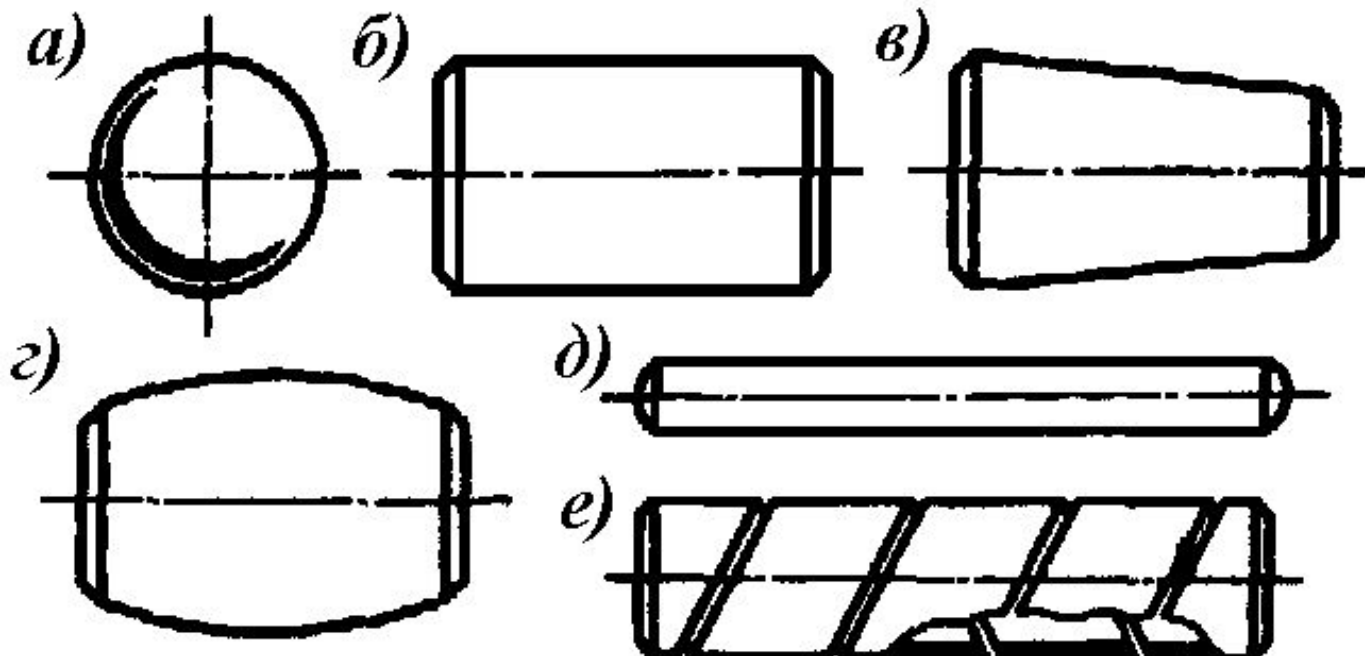


Рисунок 3 –  
Основные формы  
тел качения,  
применяемые в  
подшипниках:

- а) шарик;
- ролик:
- б) цилиндрический;
- в) конический;
- г) бочкообразный;
- д) игольчатый;
- е) витой

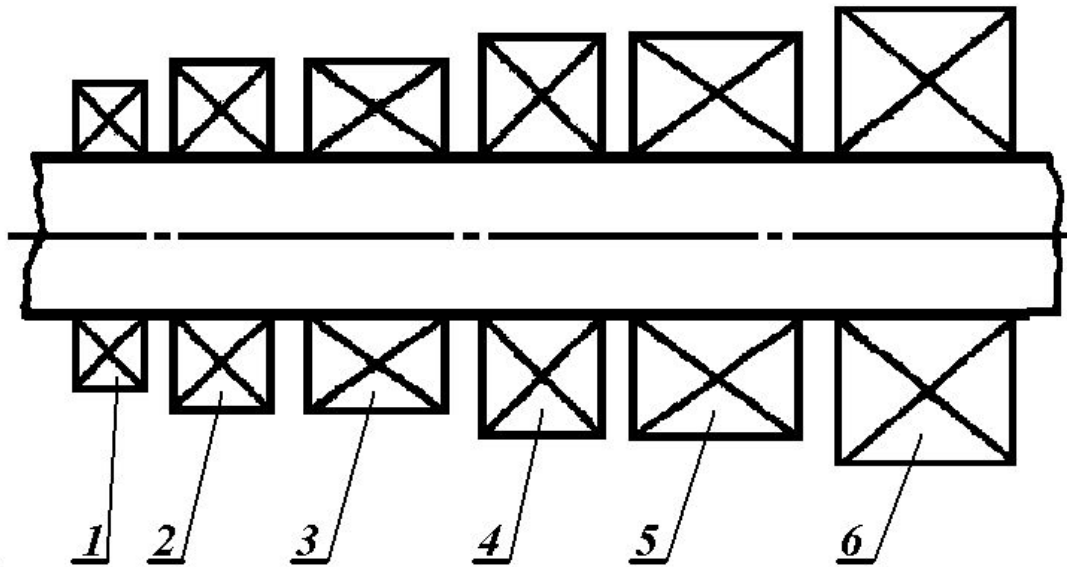
## 3) По количеству рядов тел качения:

- однорядные, двух-, и многорядные.

## 4) По способу самоустановки:

- несамоустанавливающиеся и самоустанавливающиеся.

# Подшипники качения. Классификация



## 5) По габаритным размерам

(серии диаметров и ширин, рисунок 4):

особо лёгкая,  
лёгкая, лёгкая широкая,  
средняя, средняя широкая,  
тяжелая серии

Рисунок 4 – Серии диаметров и ширин подшипников качения: 1) особо лёгкая; 2) лёгкая; 3) лёгкая широкая; 4) средняя; 5) средняя широкая; 6) тяжёлая

## 6) По точности изготовления:

Стандартом (ГОСТ 520-71) предусмотрены **5 классов точности** (P0, P6, P5, P4, P2); класс точности указывается перед номером подшипника, при этом буква «P» может опускаться (P4-205 или 4-205), а нулевой класс (подшипники общего назначения) может не указываться вообще.

## 7) По конструктивным особенностям:

С защитными шайбами, с упорным бортом на наружном кольце, с канавкой на наружном кольце, с составными кольцами и др.

# Маркировка подшипников качения

Условные обозначения (маркировка, паспорт) подшипников качения (рисунок 5) являются в основном цифровыми и наносятся на торцовые поверхности колец. Основное обозначение подшипника может включать от двух до семи цифр (нули на левой стороне обозначения не проставляются). Читается маркировка подшипника качения справа – налево.

9	8	7	6	5	4	3	2	1	
×	–	×	×	×	×	×	×	×	×
Класс точности	Типе	Серия ширин	Конструктивная разновидность	Тип подшипника	Серия диаметров	Диаметр отверстия / 5		Специальные буквенные обозначения	

**Рисунок 5 – Схема построения условного обозначения подшипника качения**

# Маркировка подшипников качения

**Две последние цифры справа** - диаметр отверстия во внутреннем кольце (диаметр цапфы вала), делённый на **5**, за исключением следующих размеров:

диаметр **10** мм – цифрами 00; 12 мм – 01; 15 мм – 02, и 17 мм – 03. Далее 20 мм – 04, с диаметром 75 мм – 15, с диаметром 495 мм – 99 и т.д.

**Третья цифра справа** - серии диаметров наружных колец (наружных диаметров подшипника):

сверхлёгкая серия – 8 или 9;

особолёгкая – 1;

лёгкая – 2;

средняя – 3;

тяжёлая – 4.

**Четвёртая цифра справа** - тип подшипника:

шариковый радиальный – 0;

шариковый сферический – 1;

роликовый радиальный – 2;

роликовый сферический – 3;

игольчатый – 4;

роликовый с витыми роликами – 5;

шариковый радиально-упорный – 6;

роликовый радиально-упорный – 7;

шариковый упорный – 8;

роликовый упорный – 9.



# Маркировка подшипников качения

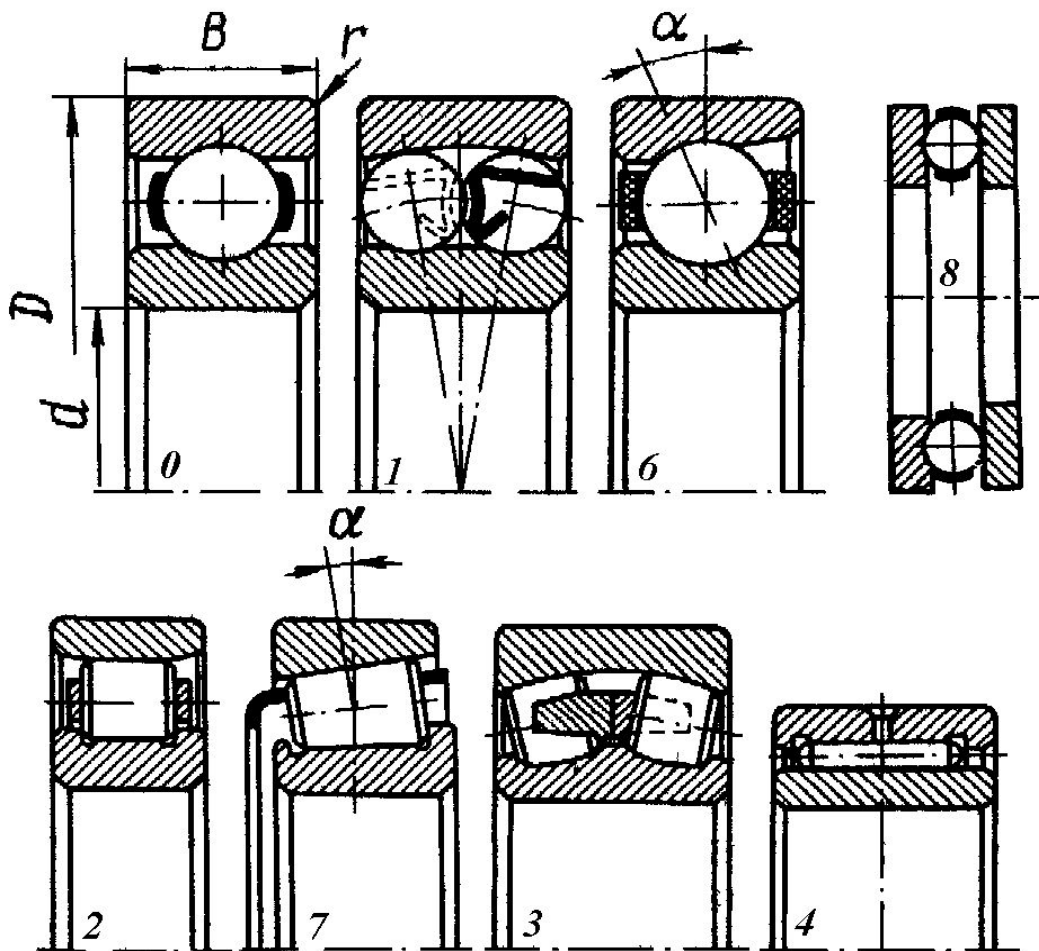


Рисунок 6 – Некоторые типы подшипников качения:  
верхний ряд – шариковые;  
нижний ряд – роликовые  
(тип подшипника указан цифрой)

**Пятая и шестая цифры** отведены для обозначения конструктивной разновидности подшипника.

**Седьмой цифрой** обозначается серия ширин (цифры от 0 до 9), лёгкой серии обычно соответствует 0 или 1.

# Виды разрушения подшипников качения

Причины потери работоспособности подшипниками качения:

**1 Усталостное выкрашивание** – отслаивание частичек металла с рабочих поверхностей и появление на них раковин - следствие циклического ( $n > 10$  об/мин) нагружения контактных поверхностей тел качения и беговых дорожек колец.

**2 Смятие (пластическая деформация) поверхности тел качения и беговых дорожек** на кольцах – следствие чрезмерных статических нагрузок ( $n < 1$  об/мин) или действие однократных ударных нагрузок. Признак: для тел качения – нарушение геометрической формы; для колец – местные углубления на беговых дорожках, по форме повторяющие поверхность тел качения (наиболее характерно для внутреннего кольца).

**3 Разрушение тел качения или колец под воздействием чрезмерных ударных нагрузок** – следствие неправильного монтажа или нарушения правил эксплуатации (раскалывание тел качения или колец, скалывание бортов колец и т.п.).

**4 Абразивное изнашивание** – следствие попадания в подшипник частиц высокой твёрдости через нарушенные уплотнительные элементы.

**5 Разрушение сепараторов** – следствие износа за счёт трения о тела качения при недостаточной смазке, а также воздействия на тела качения центробежных сил большой величины (при больших скоростях вращения).

# Расчет подшипников качения

Проектный расчёт для стандартизованных подшипников качения заменяется процедурой подбора подшипника.

**Выбор** подшипника качения (установление паспорта подшипника) определяется следующим:

- 1) **характером нагрузки** (постоянная, переменная, ударная), её **величиной** и **направлением** действия;
- 2) **диаметром цапф** вала и частотой его вращения;
- 3) необходимой **долговечностью** подшипникового узла;
- 4) **нагрузочной способностью подшипника** (статическая и динамическая грузоподъёмность).

Конкретный типоразмер подшипника устанавливают после определения расчетной долговечности  $L_h$

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{R_{\Sigma}} \right)^p$$

$n$  - частота вращения подшипника, *об/мин*;

$C$  - динамическая грузоподъёмность, *H*;

$R_{\Sigma}$  - эквивалентная динамическая нагрузка, *H*;

$p$  - коэффициент (для шарика =3, для ролика =3,33)

# Расчет подшипников качения

**Долговечность подшипника** – количество миллионов оборотов ( $L$ ) одного кольца подшипника относительно другого либо число моточасов работы ( $L_h$ ) до появления усталостного разрушения.

**Базовая долговечность** – долговечность большинства из испытанных подшипников. В общем машиностроении и при стандартных испытаниях подшипников обычно используется **90 % (базовая долговечность  $L_{10}$ )**. Подстрочный индекс указывает допустимый процент выхода из строя в партии подшипников при их работе в течение срока долговечности. При более жёстких требованиях к надёжности подшипникового узла в расчётах используется 95%-ная базовая долговечность  $L_5$ , и 97 %-ная –  $L_3$ .

Базовая долговечность обеспечивается при базовой динамической грузоподъёмности.

**Базовая динамическая грузоподъёмность** ( $C_r$  – радиальная для радиальных и радиально-упорных подшипников,  $C_a$  – осевая для упорных и упорно-радиальных) – нагрузка, которую выдерживает подшипник при сохранении **базовой долговечности**.

Для подшипников базовая динамическая грузоподъёмность соответствует нагрузке, которую группа идентичных подшипников выдержит в течение **одного миллиона оборотов**.

# Расчет подшипников качения

**Эквивалентная динамическая нагрузка** - постоянная однонаправленная нагрузка, при которой подшипник имеет такую же **долговечность**, как и в реальных условиях работы. Она может быть вычислена по выражению:

$$R_{\text{Э}} = (X V F_r + Y F_a) K_B K_T$$

где  $F_r$  и  $F_a$  – радиальная и осевая составляющие нагрузки, действующей на вращающееся кольцо подшипника;

$X$  и  $Y$  – коэффициенты влияния радиальной и осевой нагрузок, соответственно;

$V$  – коэффициент вращающегося кольца (если относительно действующей нагрузки вращается внутреннее кольцо, то  $V = 1$ , если наружное –  $V = 1,2$ );

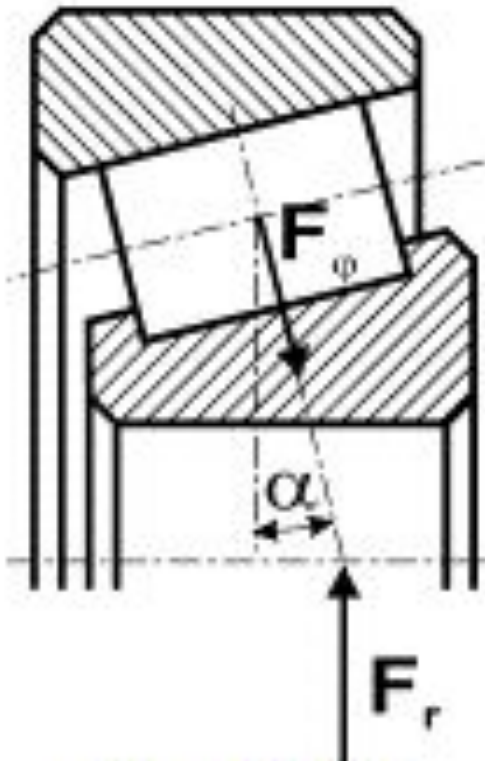
$K_B$  – динамический коэффициент безопасности, учитывающий действие динамических перегрузок на долговечность подшипника (для редукторов общего применения  $K_B = 1,3 \dots 1,5$ );

$K_T$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры подшипникового узла на долговечность подшипника. При рабочей температуре подшипникового узла  $t^\circ \leq 100$  °С, принимают  $K_T = 1$ .

# Расчет подшипников качения

Для радиальных подшипников, не воспринимающих осевую нагрузку (например, для роликовых цилиндрических),  $F_a = 0$  и  $X = 1$ ; для упорных –  $F_r = 0$  и  $Y = 1$ . Для остальных подшипников в стандарте указывается величина « $e$ », зависящая в основном от угла наклона беговой дорожки к оси вращения.

Если для внешних сил, действующих на подшипник,  $F_a / VF_r \leq e$ , то  $X = 1$ , а  $Y = 0$ . В противном случае, когда  $F_a / VF_r > e$ ,  $X$  и  $Y$  определяются по каталогу для данного типа подшипников.



При нагружении радиально-упорных подшипников радиальной нагрузкой, наклон контактной линии между внешним кольцом и телом качения на угол  $\alpha$  к торцовой плоскости подшипника вызывает появление осевой составляющей, которая либо суммируется с внешней осевой силой, либо вычитается из неё, в зависимости от их величин и схемы установки подшипников.

$$S_a = 1,5F_r \operatorname{tg} \alpha$$

Рисунок 9 – Схема возникновения дополнительной осевой составляющей в радиально-упорных подшипниках

# Особенности проектирования подшипниковых узлов

**Вращающиеся кольца ставят с натягом**, исключая проворачивание их на цапфах, смятие и фрикционную коррозию посадочных поверхностей.

**Невращающиеся кольца устанавливают с минимальным зазором**, обеспечивая равномерность износа беговых дорожек на этих кольцах за счёт их медленного проворачивания вслед за вращением подвижного кольца.

## **Подшипниковые узлы монтируются :**

- с фиксированными опорами (закрепляются в осевом направлении наружное и внутреннее кольца). **Недостаток** – при температурном расширении вала может заклинить тела качения.
- с плавающими опорами (одно из колец устанавливается с зазором в осевом направлении). Плавающей обычно делают ту опору, где меньше радиальная нагрузка. **Недостаток** – повышенный контроль из-за возможности появления динамических составляющих усилия.

## **Существует два вида сборки:**

- радиальная – в разъем корпуса и крышки;
- осевая – внутрь корпуса.

# Особенности проектирования подшипниковых узлов

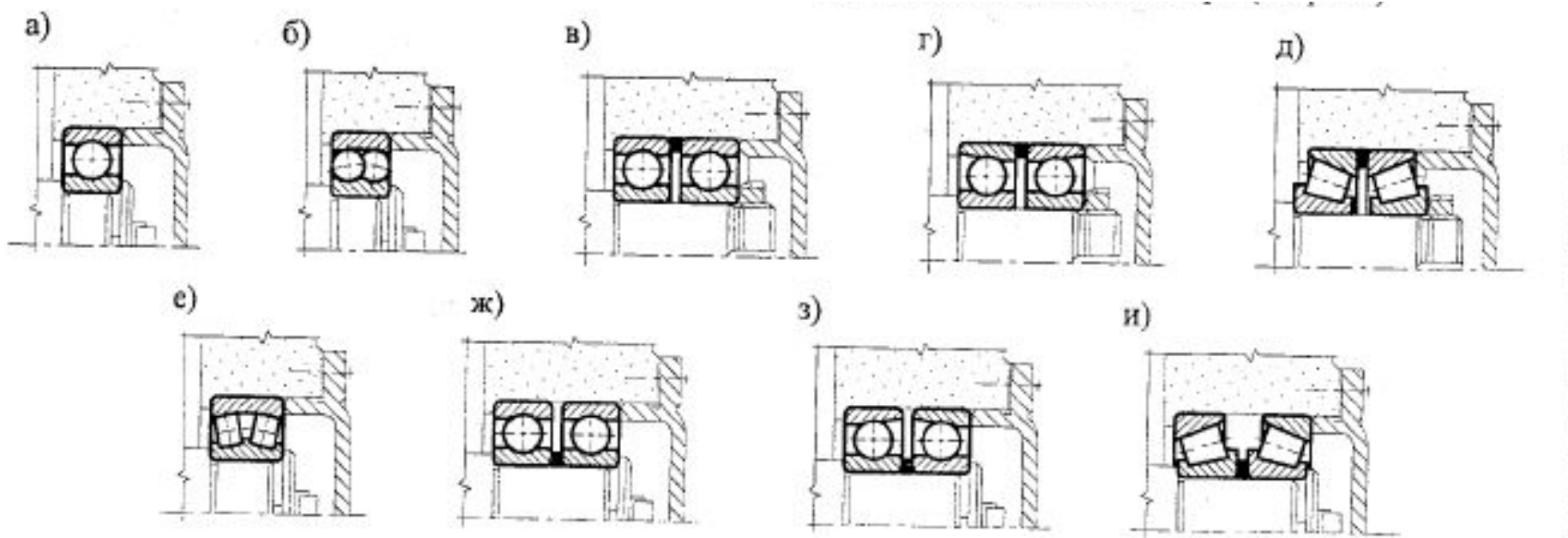


Рисунок 10 – Схемы установки с фиксированными опорами

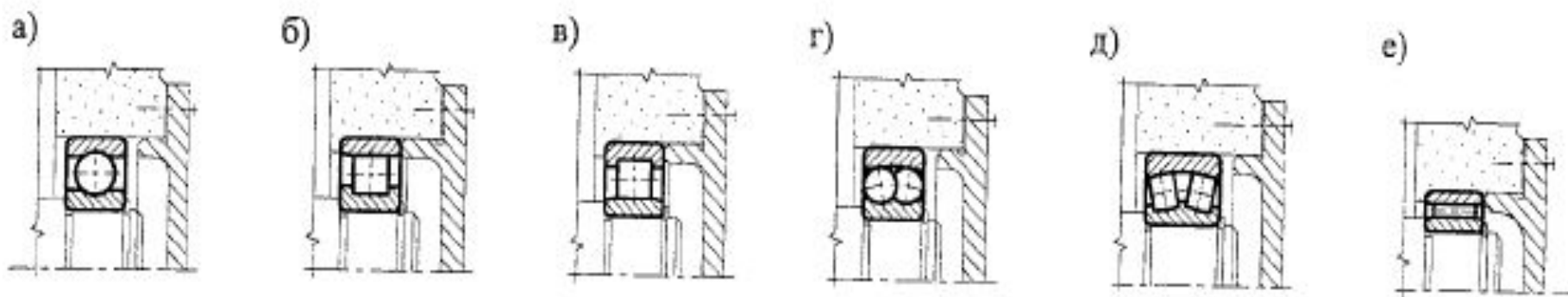
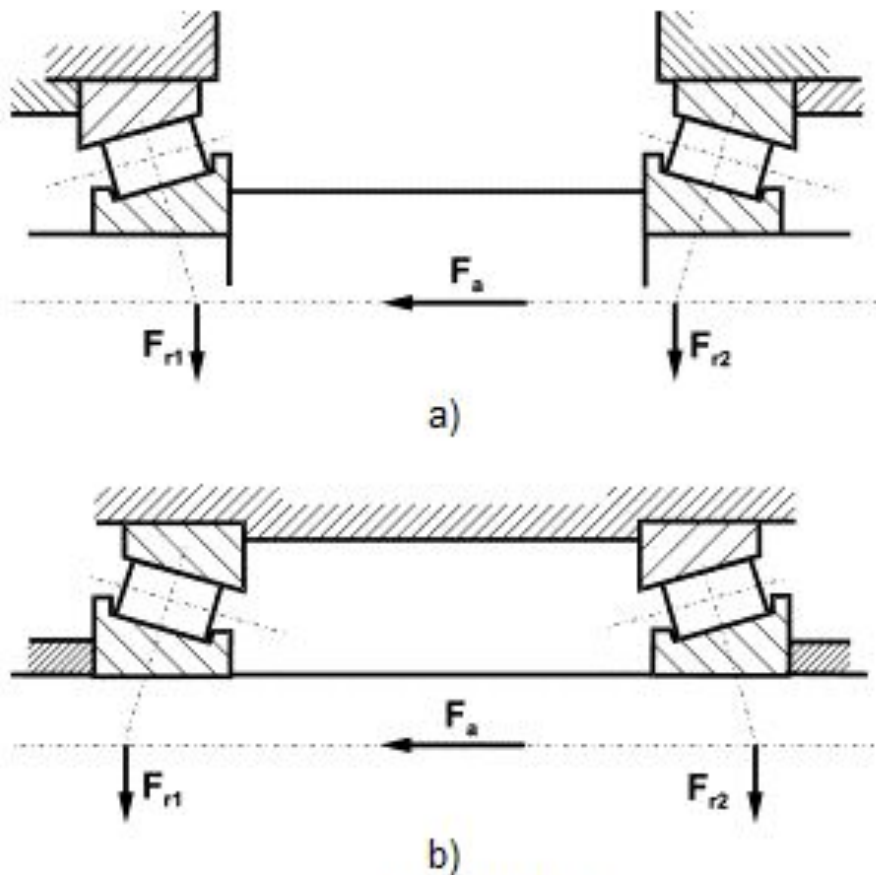


Рисунок 11 – Схемы установки с плавающими опорами



# Особенности проектирования подшипниковых узлов



**Рисунок 12 – Схемы установки радиально-упорных подшипников:**

**a) «враспор»;**

**b) «втяжку»**

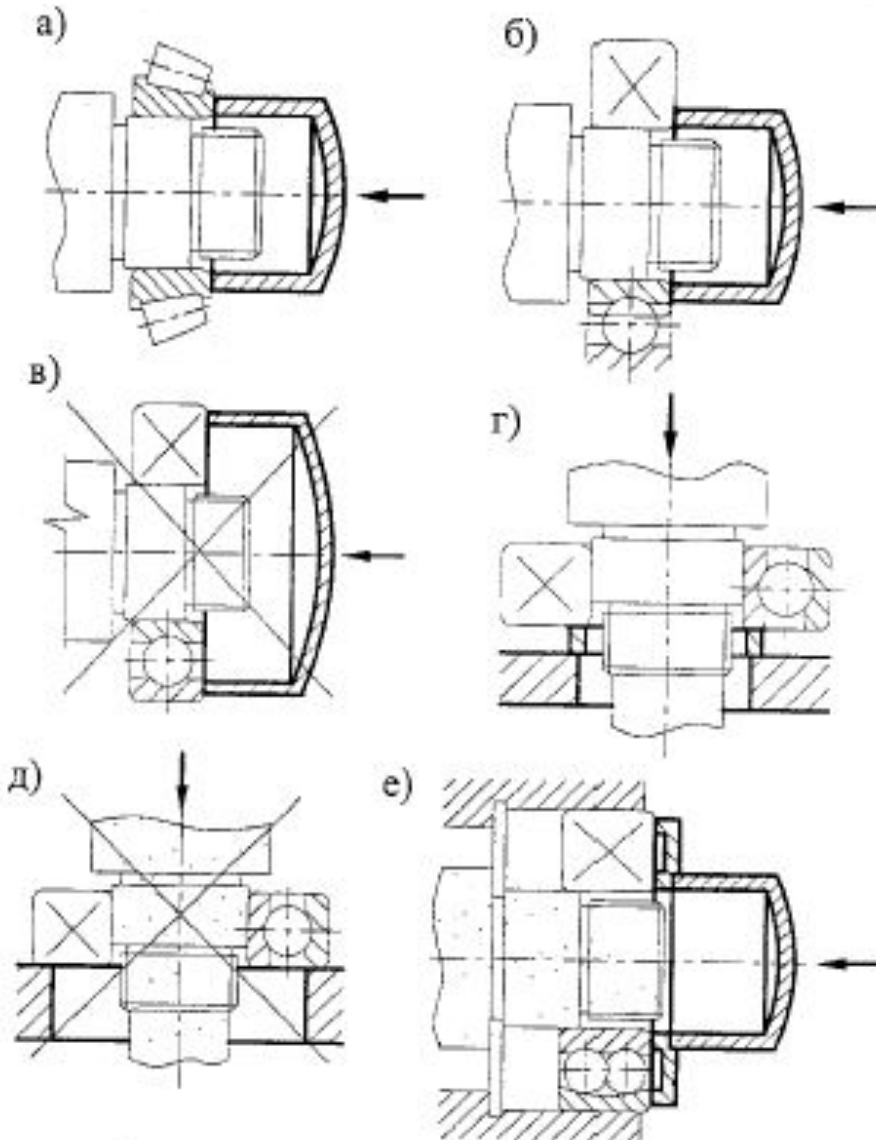
Ввиду конструктивных особенностей подшипники, установленные по схеме (a) искусственно уменьшают расстояние между опорами, что благоприятно влияет на вал в случае, когда нагрузка приложена между опорами. Если нагрузка расположена на консоли, то более целесообразным конструктивным решением является использование схемы (b).

# Монтаж подшипников качения

Посадочные поверхности под подшипники должны иметь качественную обработку во избежание смятия и среза выступов шероховатостей при запрессовке и эксплуатации подшипников. Лучшие результаты дает **тепловая сборка** (нагрев подшипника в масляной ванне с одновременным охлаждением вала твердой углекислотой или жидким азотом).

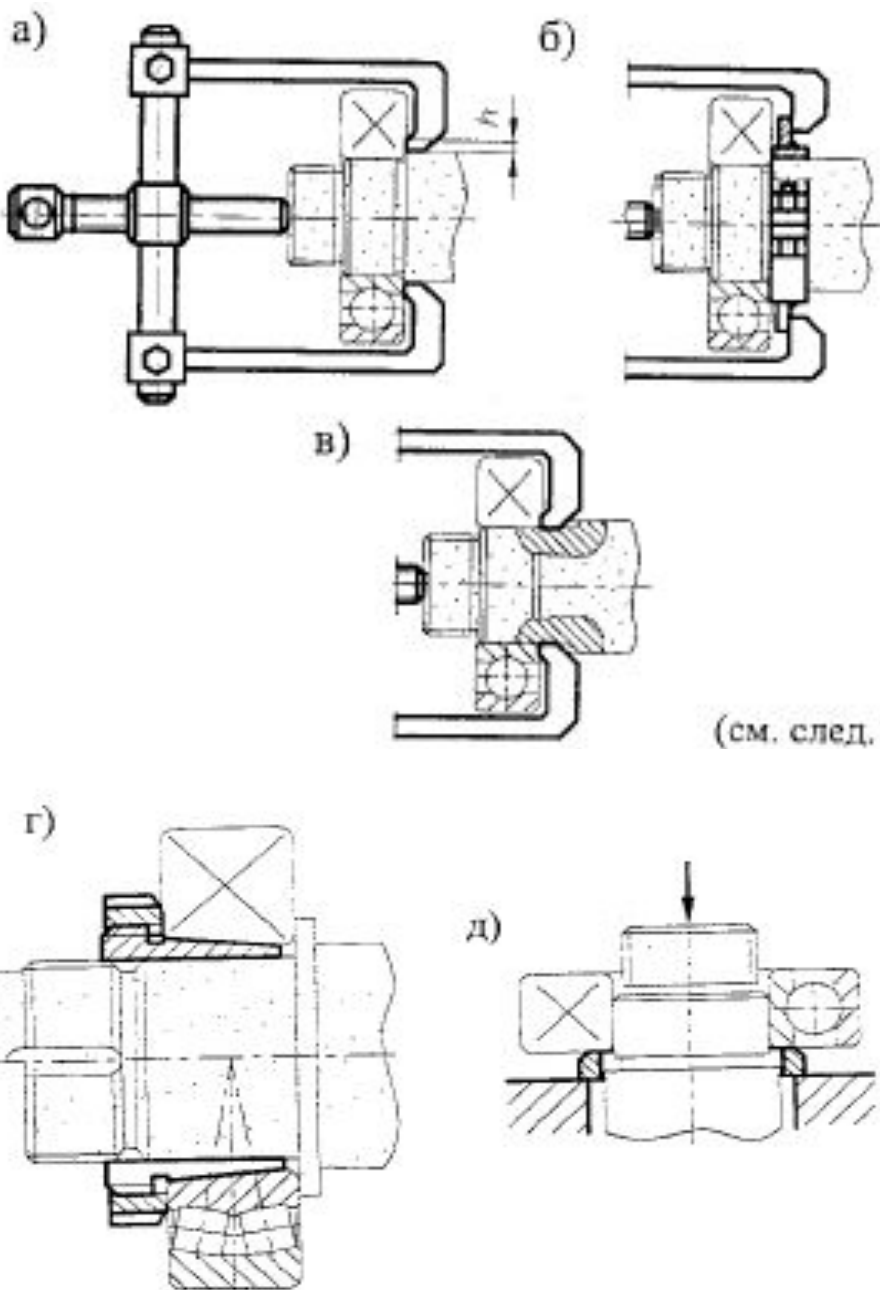
При монтаже подшипников возникают возможные перемещения одного кольца относительно другого из одного крайнего положения в другое - в осевом (осевой зазор) и радиальном направлении (радиальный зазор).

В нерегулируемых подшипниках различают три вида радиальных зазоров: **начальный, посадочный и рабочий**. Осевой зазор («осевая игра») зависит от размеров подшипника, расстояния между опорами, разности температур корпуса и вала.



**Рисунок 13 – Монтаж подшипников качения: а-д) – на вал; е) – в корпус**

# Монтаж подшипников качения

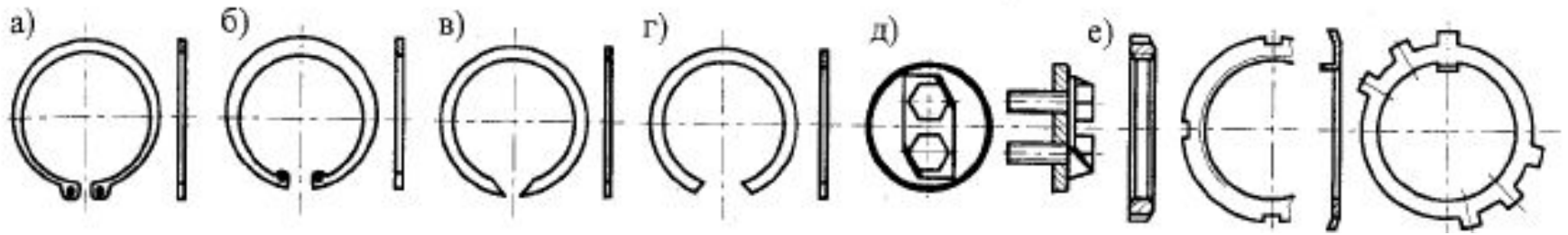


Демонтаж подшипников следует выполнять с применением специального инструмента (съемников). Применяемая в ремонтном производстве силовая сборка (разборка) снижает долговечность подшипника из-за взаимного перекоса колец после выполнения операции.

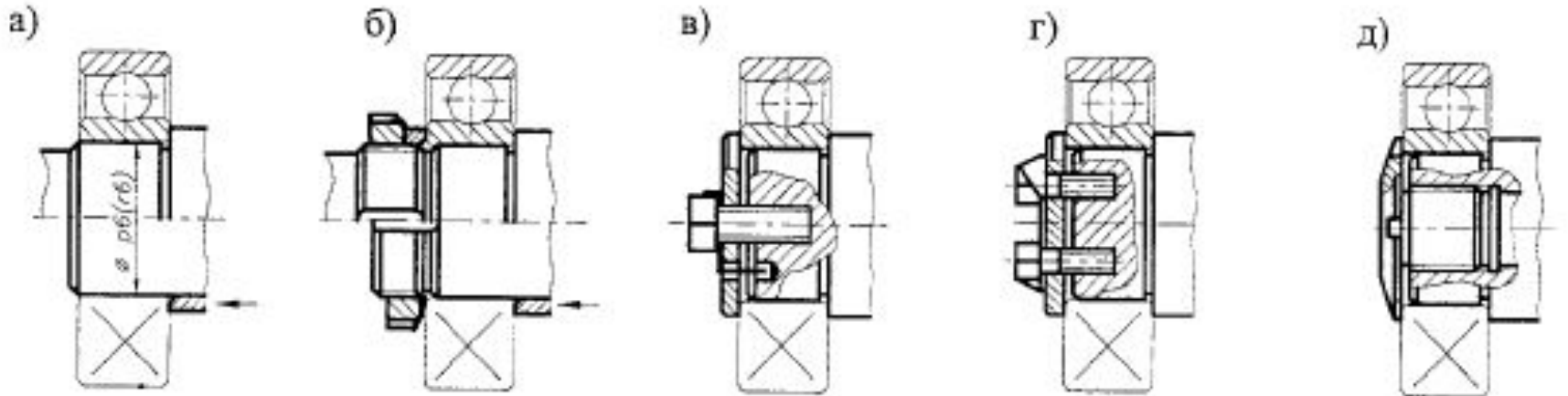
Главный принцип: усилие прикладывается только к тому кольцу, которое установлено с натягом и не должно передаваться на тела качения.

Рисунок 14 – Демонтаж подшипников с использованием:  
а-в) – съемника;  
г) – стяжных втулок;  
д) – пресса

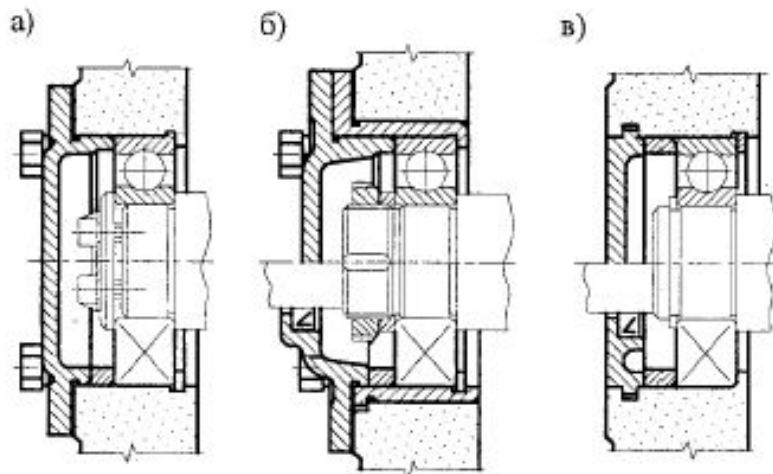
# Элементы крепления подшипников



а)



б)



в)

Рисунок 15.

а) элементы крепления подшипников;

б) установка подшипника на валу;

в) установка подшипника в корпусе

# Смазка и уплотнения

Вид смазывающего материала и способ его подачи к поверхностям трения зависит от условий работы подшипника и скорости относительного движения подвижного и неподвижного колец подшипника: характеризуемой однозначно произведением внутреннего диаметра подшипника  $d_n$  на частоту вращения подвижного кольца  $n$ . В первом приближении характер смазки можно выбрать по таблице 1.

**Таблица 1 – Назначение смазки и выбор уплотнительных элементов для разных условий работы подшипников**

$d_n \times n,$ $10^6$ ммхоб/мин	Смазка	Уплотнение
$\leq 0,55$	Консистентная	Сальник, лабиринт
$\leq 0,60$	Жидкая погружением	Резиновая манжета, маслосгонная канавка
$\leq 0,75$	Жидкая фитильная и капельная – 5...10 капель в час.	
$\leq 1,70$	Жидкая масляным туманом	Металлические кольца, полиамидная манжета, центробежное уплотнение
$> 2,0$	Жидкая струйная под углом 15...20° к оси подшипника, охлаждение потокм масла	

# Смазка и уплотнения

Для редукторных подшипниковых узлов картерный способ смазки жидкими маслами применяется при выполнении условия:

$$n^2 d_a \geq 100$$

$n$  - частота вращения вала, об/мин;

$d_a$  - диаметр окружности вершин колеса, м.

Уплотнения подшипниковых узлов предназначены для защиты от пыли и грязи, а также предотвращения вытекания смазки:

- монтажные;
- щелевые;
- лабиринтные;
- комбинированные.

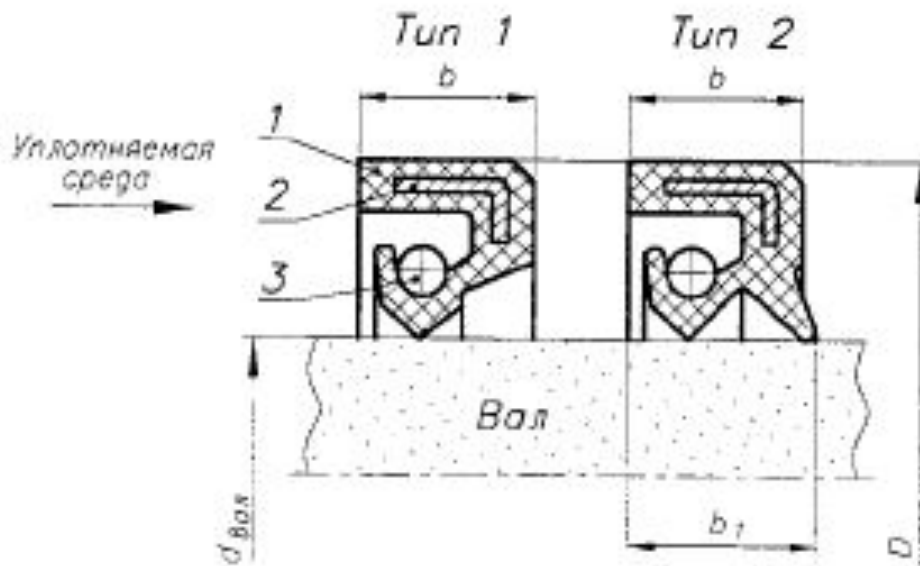


Рисунок 16 – Манжета резиновая

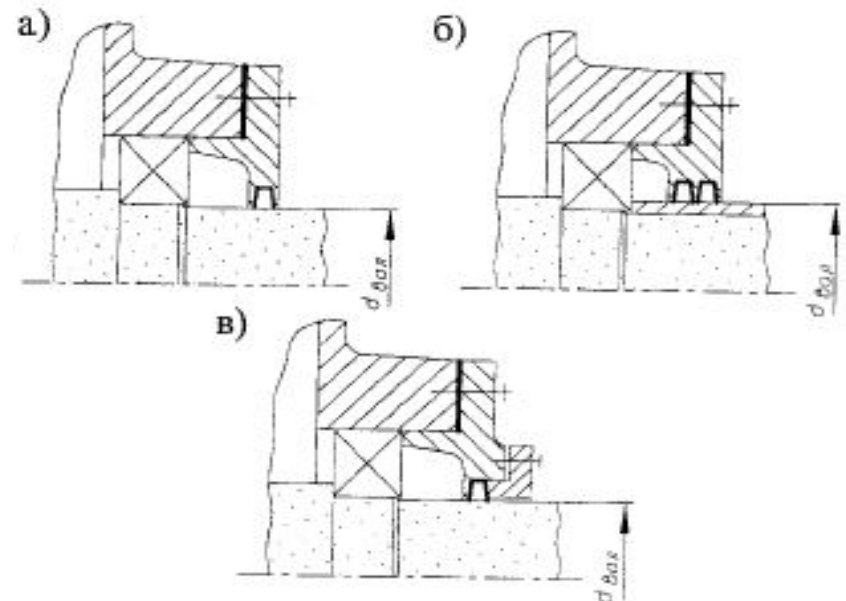


Рисунок 17 – Уплотнение войлочное

# Смазка и уплотнения

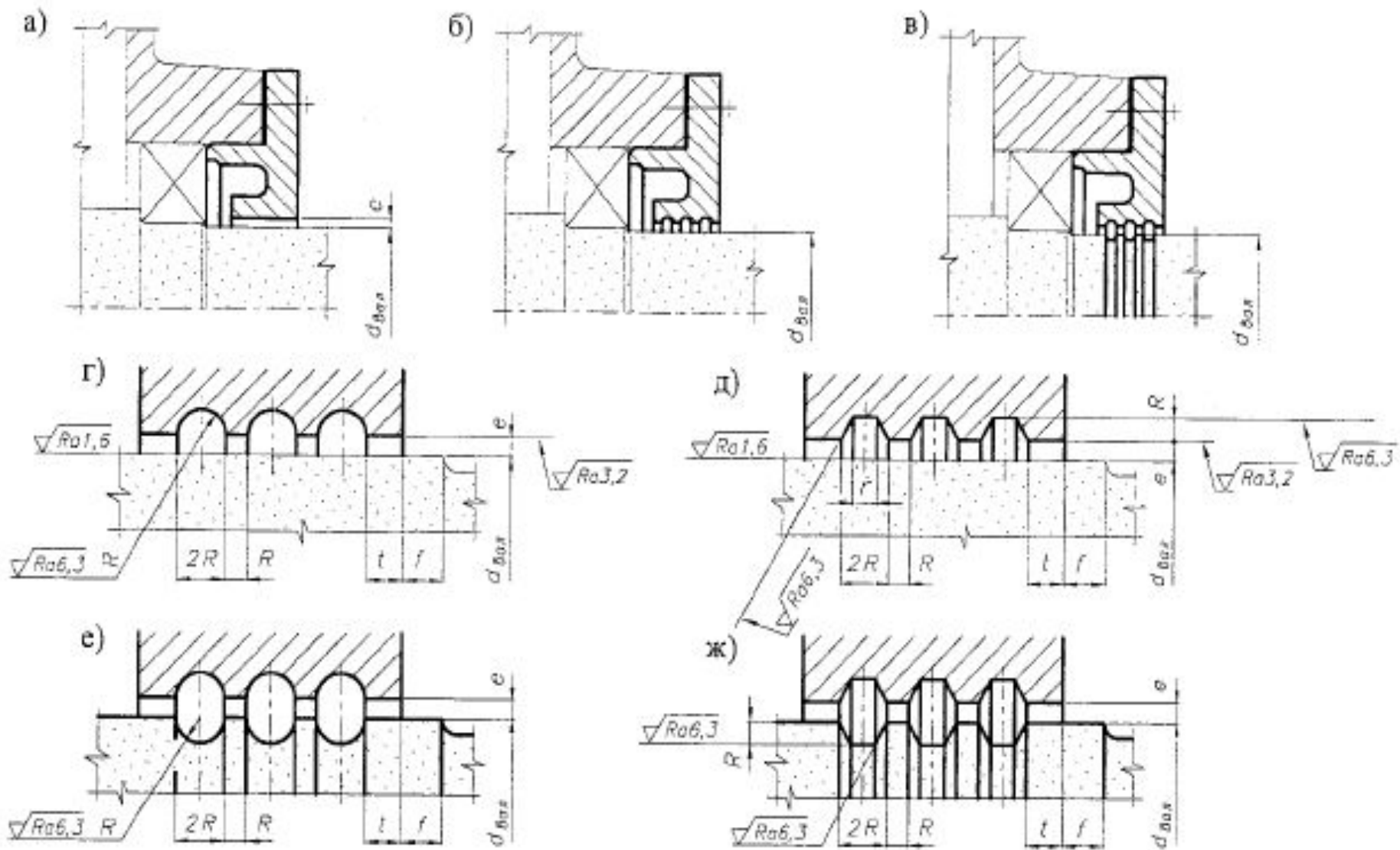


Рисунок 18 – Уплотнения щелевые

# Смазка и уплотнения

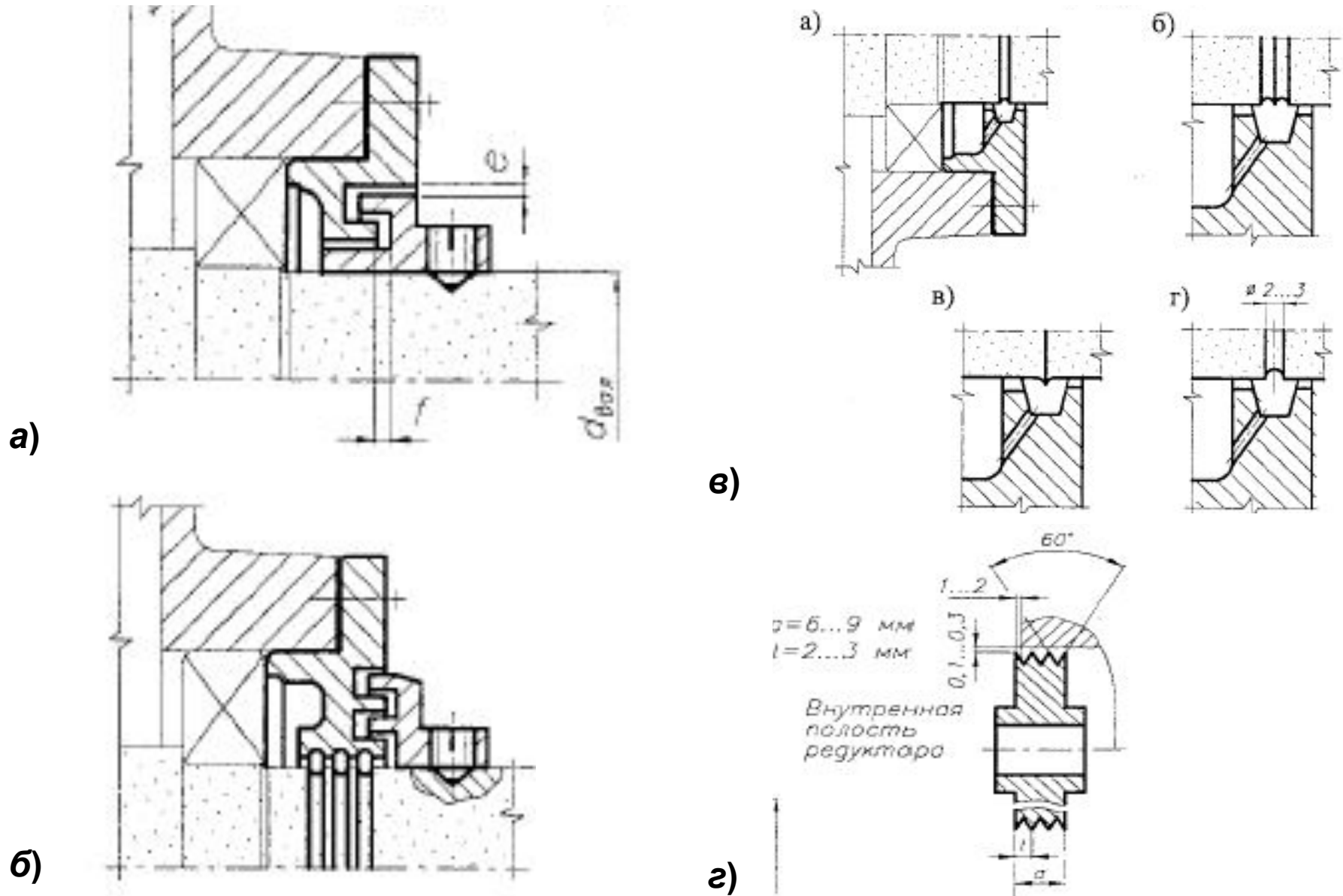


Рисунок 19 – Уплотнения: а) лабиринтные; б) комбинированные; в) центробежные; г) кольцо мазеудерживающее.



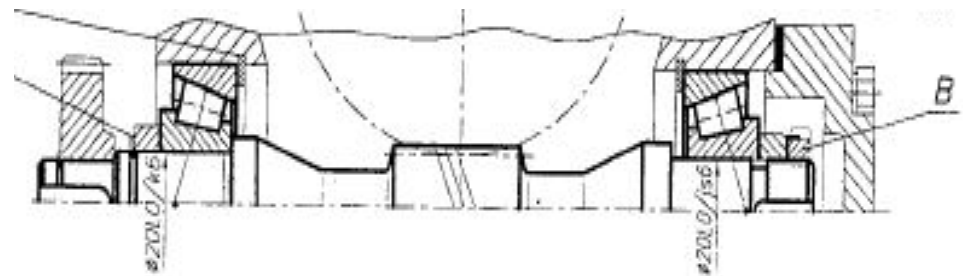
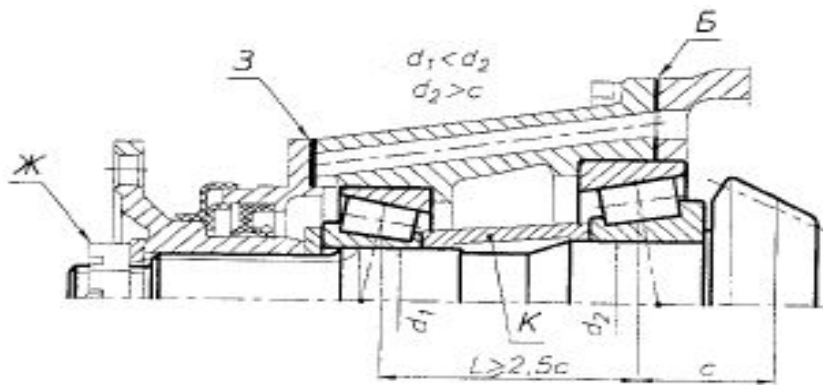
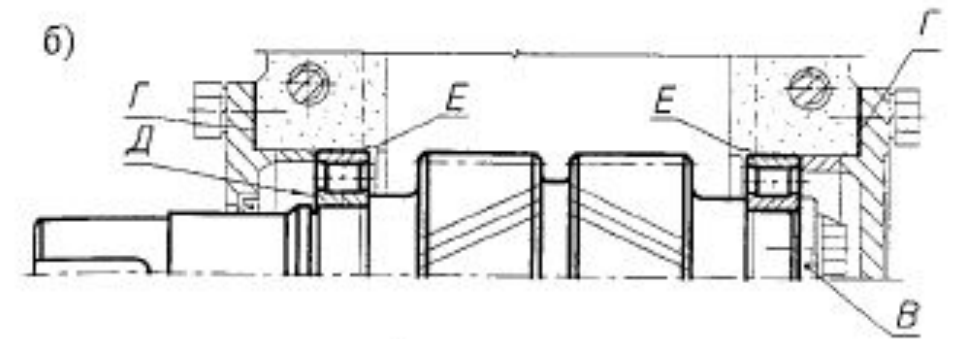
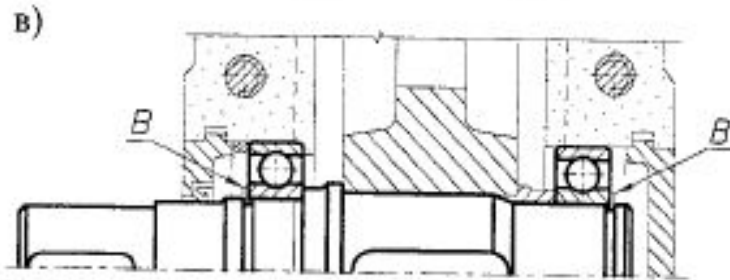
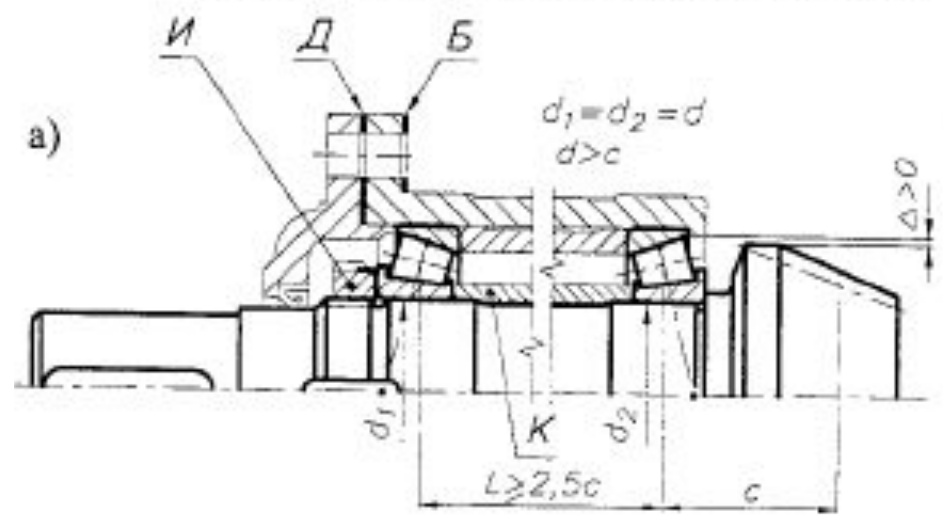
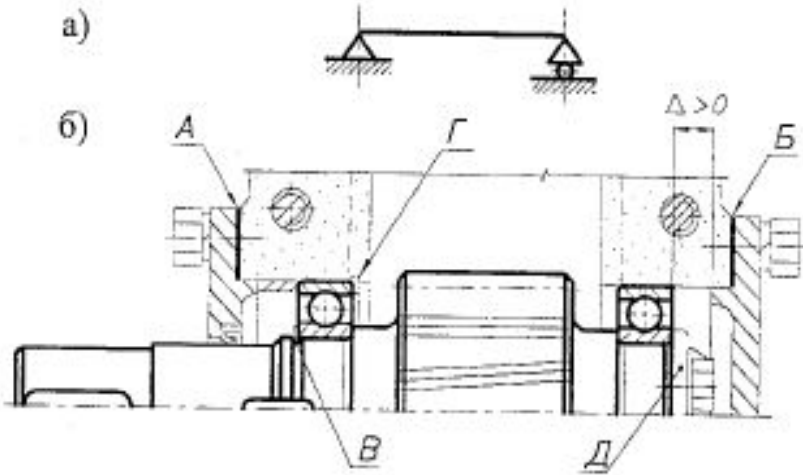
# Материалы подшипников качения

## Материалы для изготовления подшипников качения:

**Кольца и тела качения** (шарики, ролики) подшипников качения изготавливают из специальных высокохромистых легированных сталей (ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ, 20ХН4А и др.) с улучшающей термообработкой до HRC 61...67 при неоднородности твёрдости не более 3 HRC для каждого из колец и для всех тел качения.

**Сепараторы** чаще всего выполняют штампованными из стальной (мягкая малоуглеродистая сталь) ленты. Сепараторы скоростных подшипников делают из антифрикционных материалов (латуни, бронзы, алюминиевых сплавов, текстолита и других пластмасс).

# Подшипниковые узлы редукторных валов



**Лекция окончена.  
Спасибо за внимание!**