

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

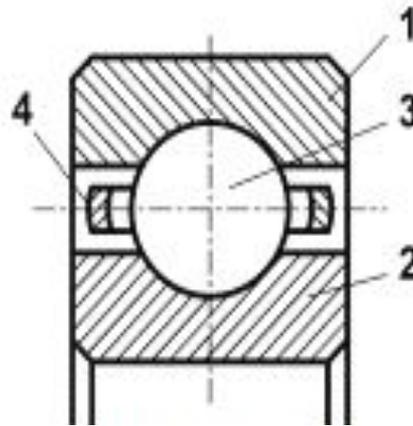
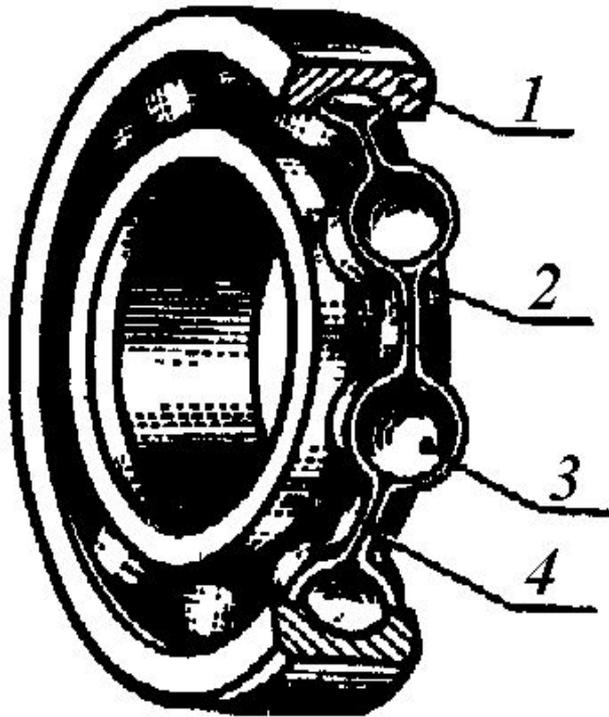


Рисунок 1
Подшипник качения
(конструкция)

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).

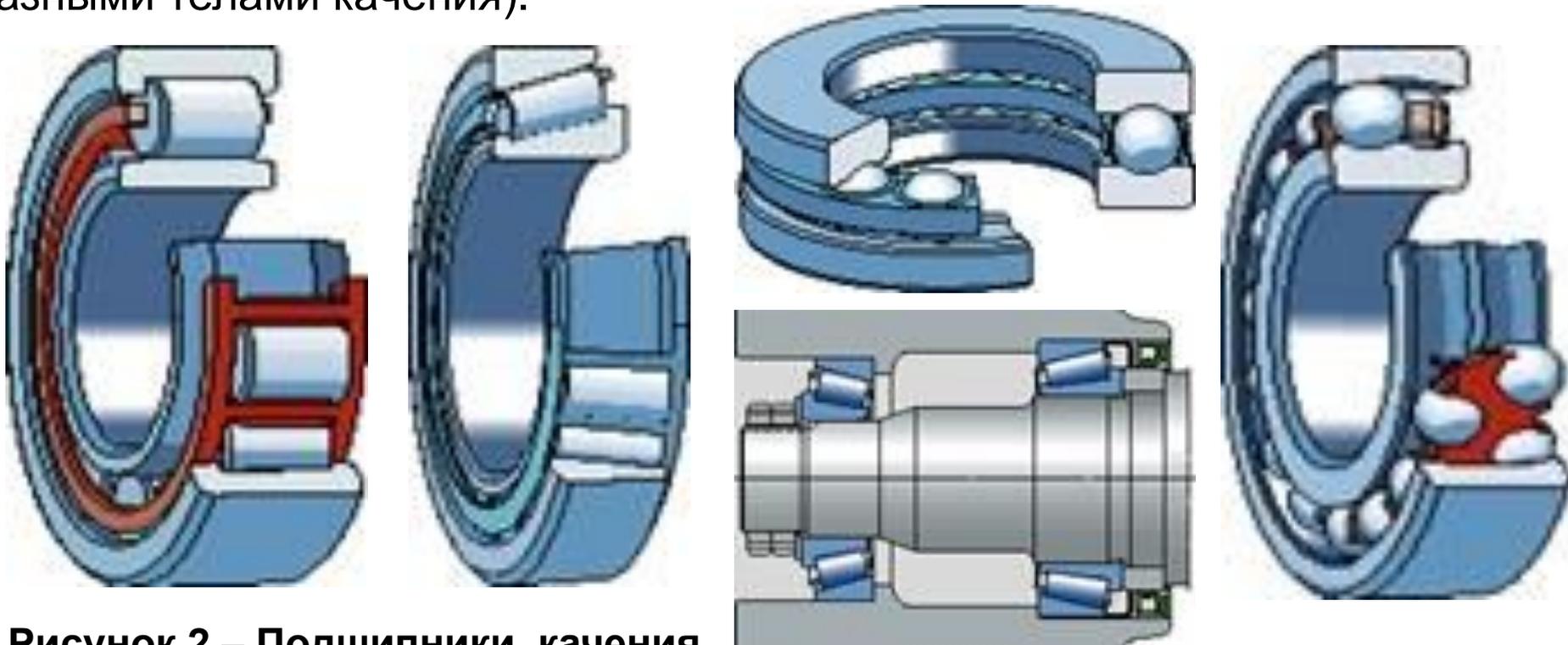


Рисунок 2 – Подшипники качения

Подшипники качения. Классификация

2) По форме тел качения: (рисунок 3)

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

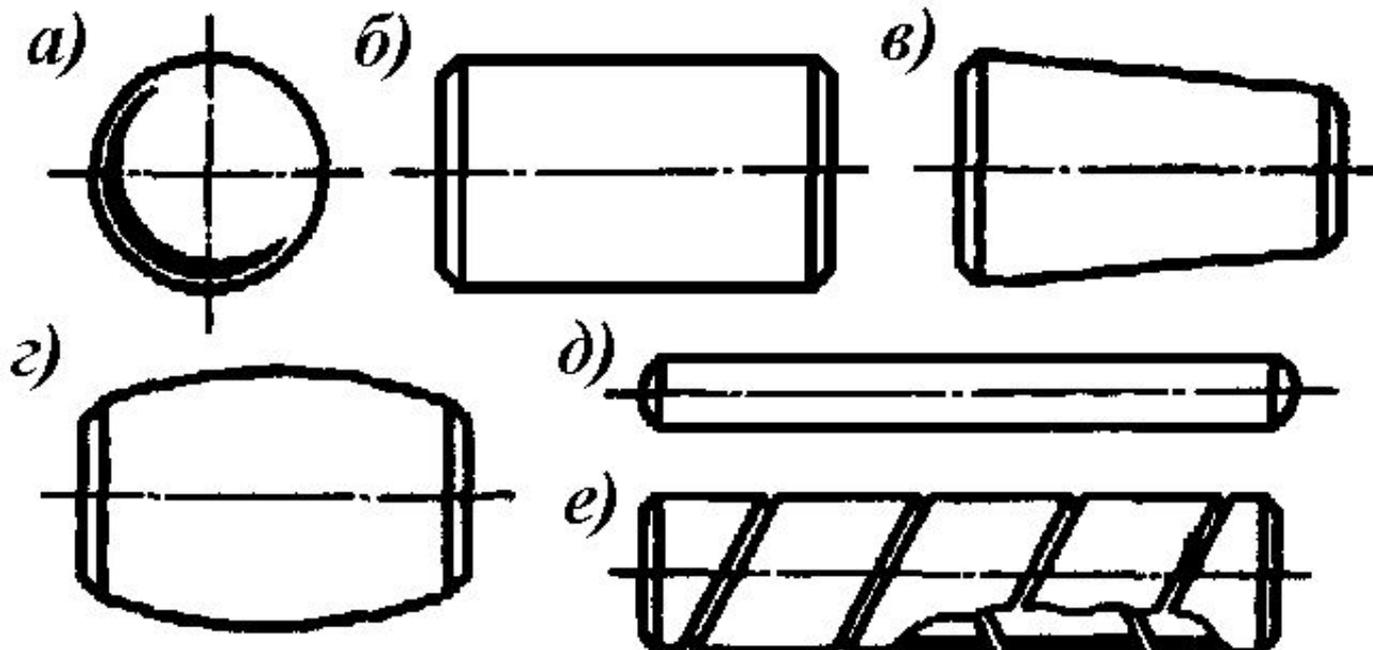


Рисунок 3 –
Основные формы
тел качения,
применяемые в
подшипниках:

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

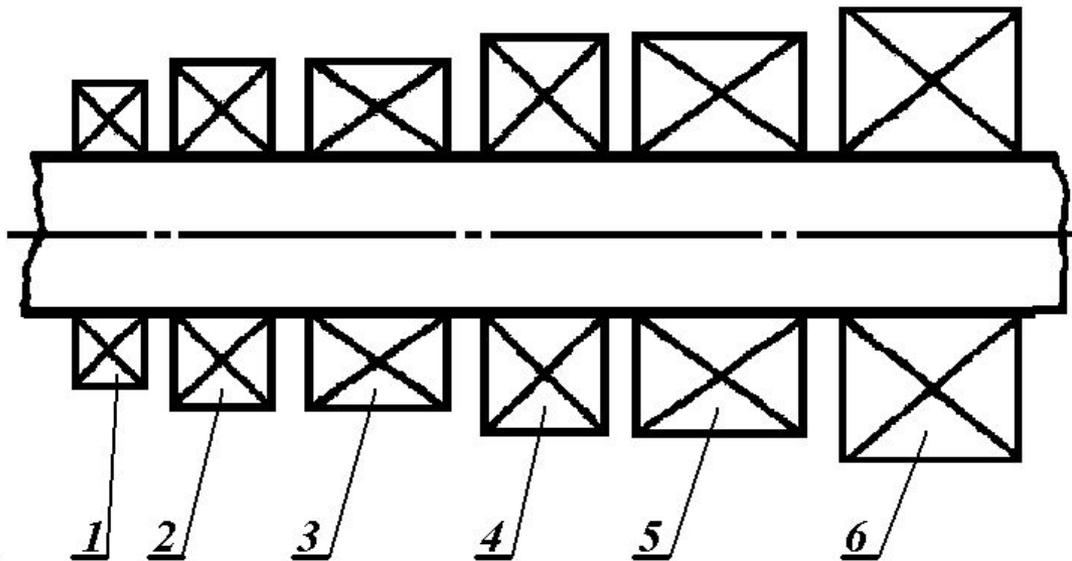
3) По количеству рядов тел качения:

- 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

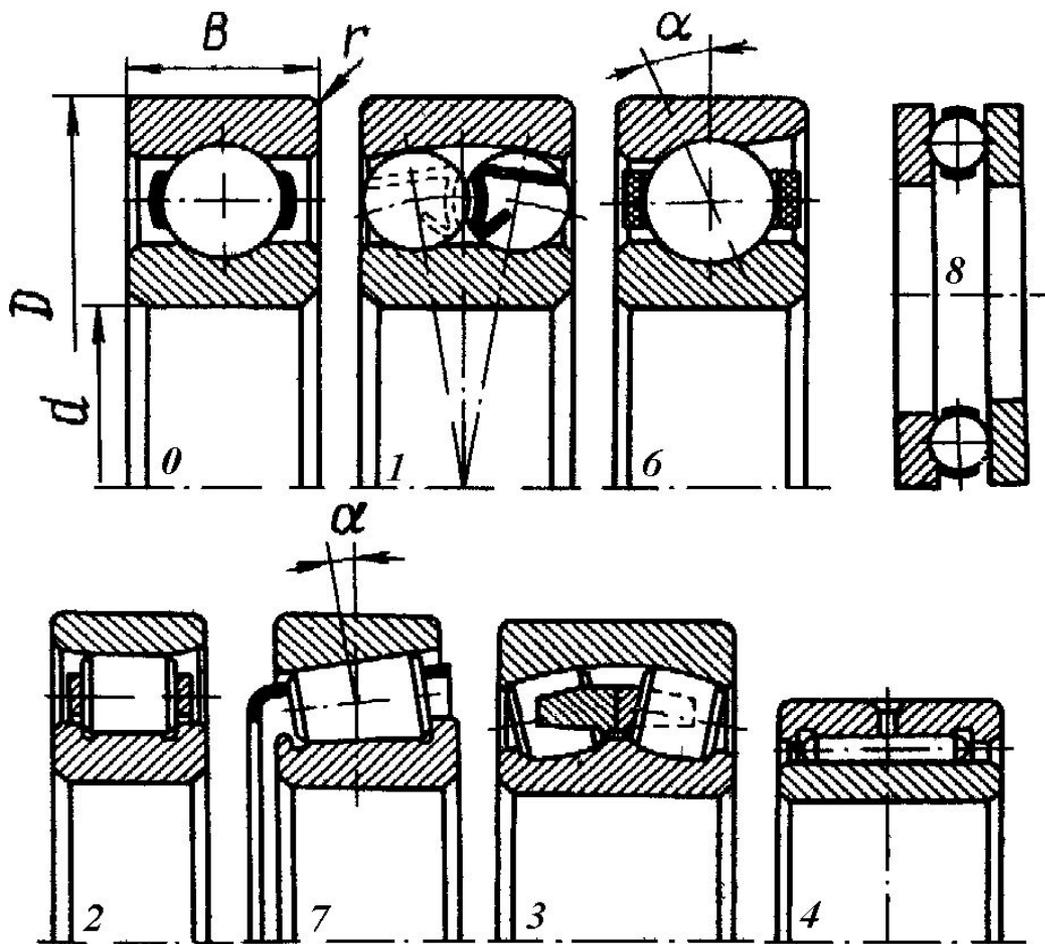


Рисунок 6 – Некоторые типы подшипников качения:
верхний ряд – шариковые;
нижний ряд – роликовые
(тип подшипника указан цифрой)

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_{Σ} - 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 – $V = 1,2$);

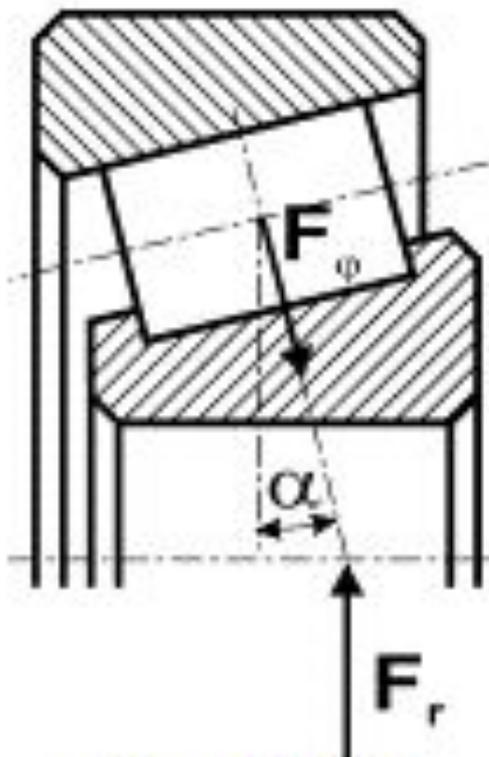
K_B – динамический коэффициент безопасности, учитывающий действие динамических перегрузок на долговечность подшипника (для редукторов общего применения $K_B = 1,3 \dots 1,5$);

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 α 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

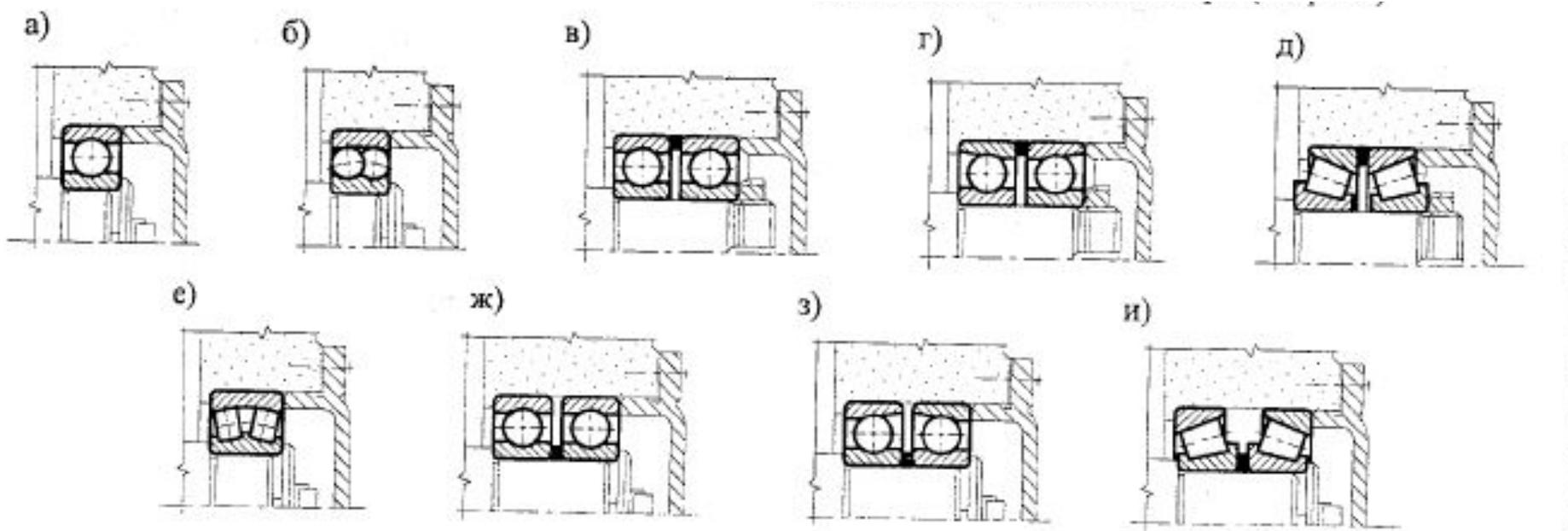


Рисунок 10 – Схемы установки с фиксированными опорами

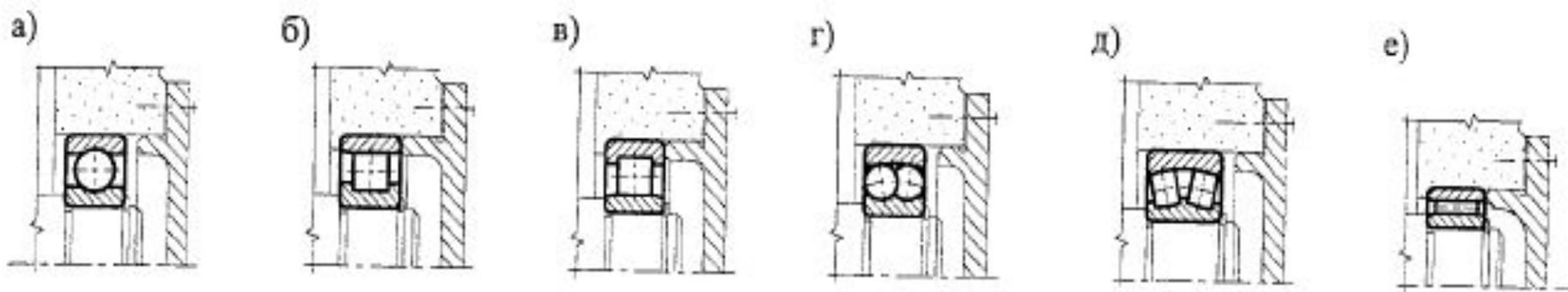


Рисунок 11 – Схемы установки с плавающими опорами

Особенности проектирования подшипниковых узлов

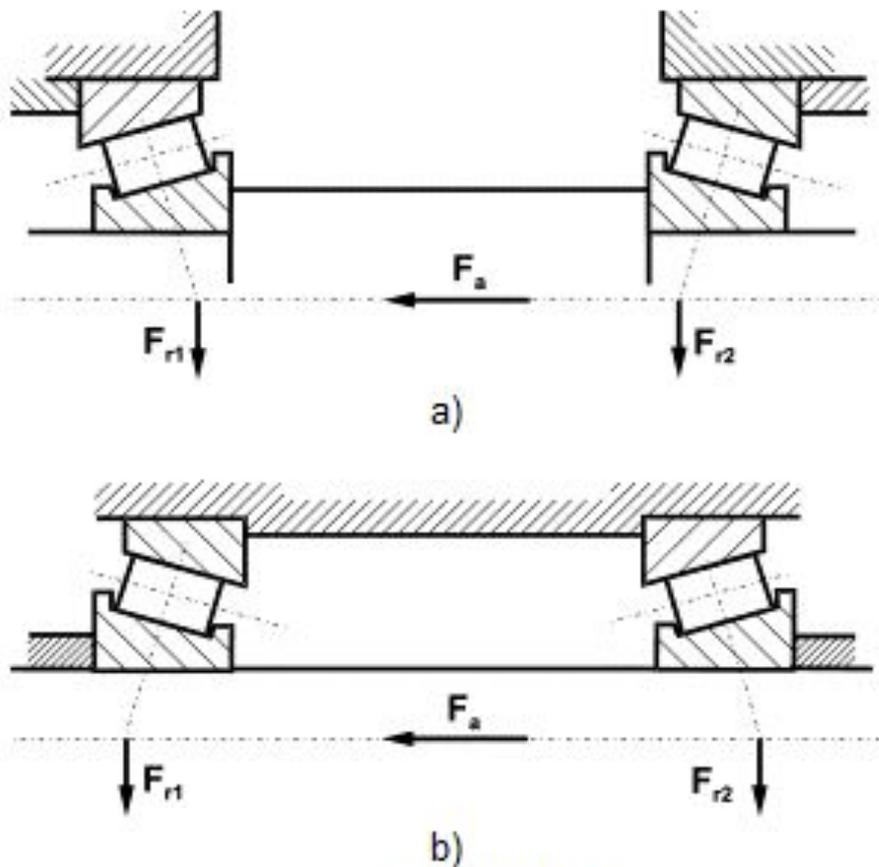


Рисунок 12 – Схемы установки радиально-упорных подшипников:

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.

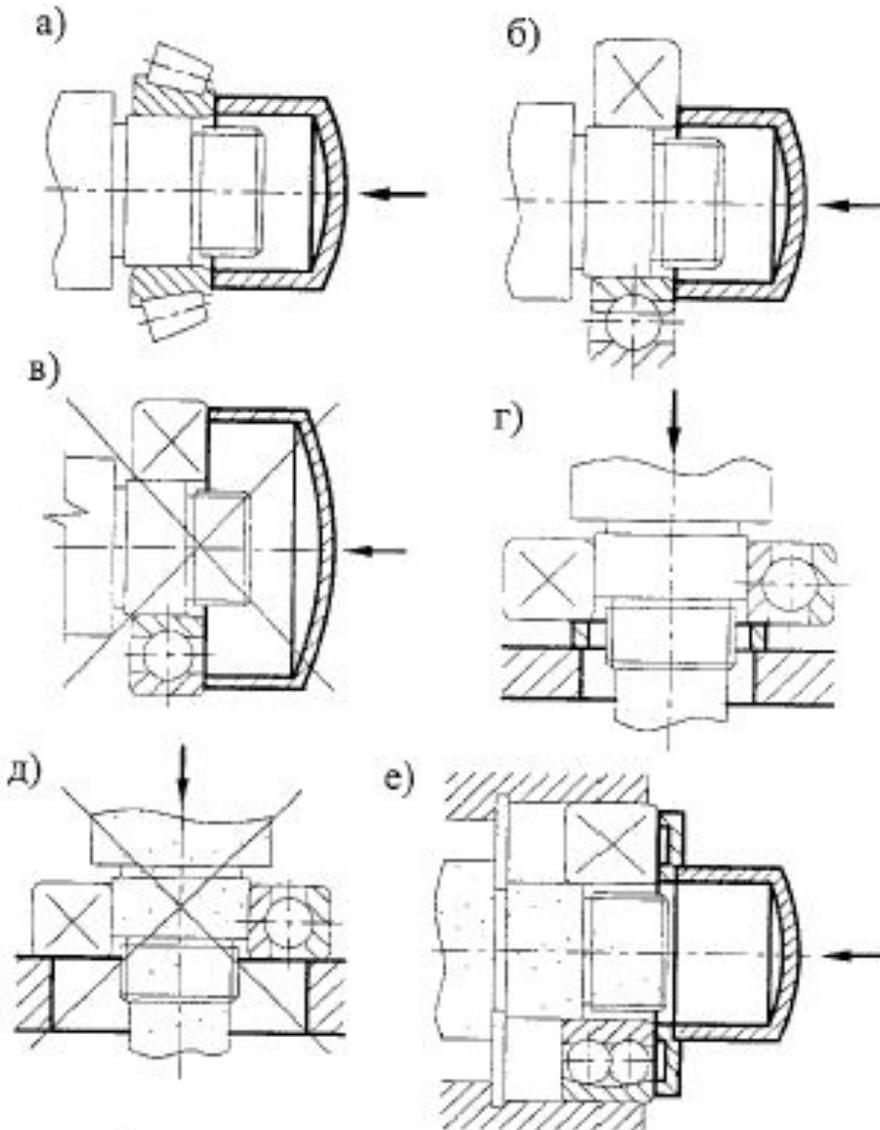
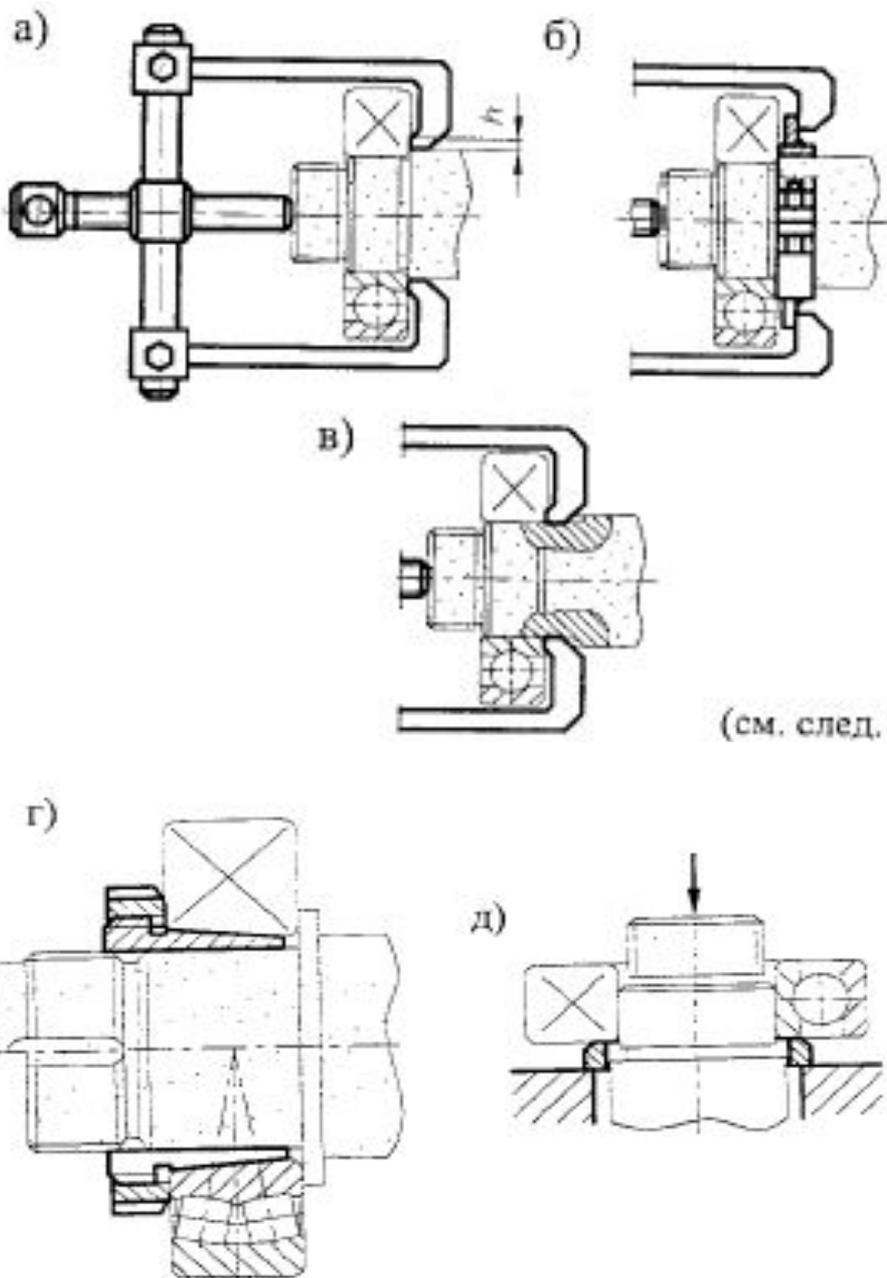


Рисунок 13 – Монтаж подшипников качения: а-д) – на вал; е) – в корпус

Монтаж подшипников качения

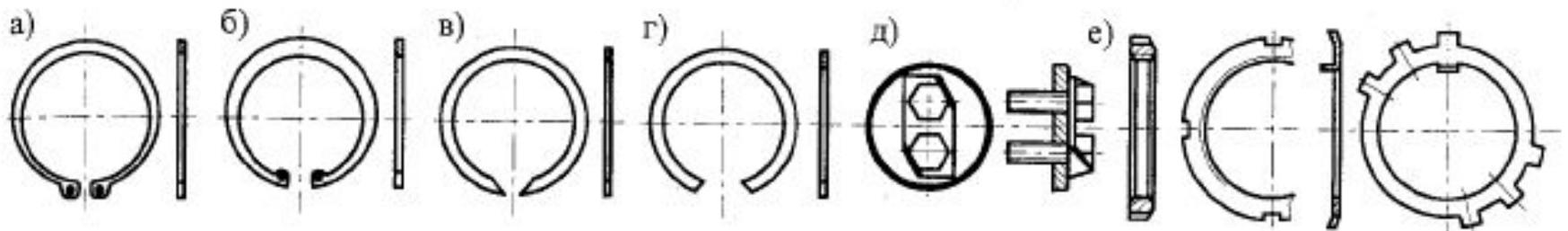


Демонтаж подшипников следует выполнять с применением специального инструмента (съемников). Применяемая в ремонтном производстве силовая сборка (разборка) снижает долговечность подшипника из-за взаимного перекоса колец после выполнения операции.

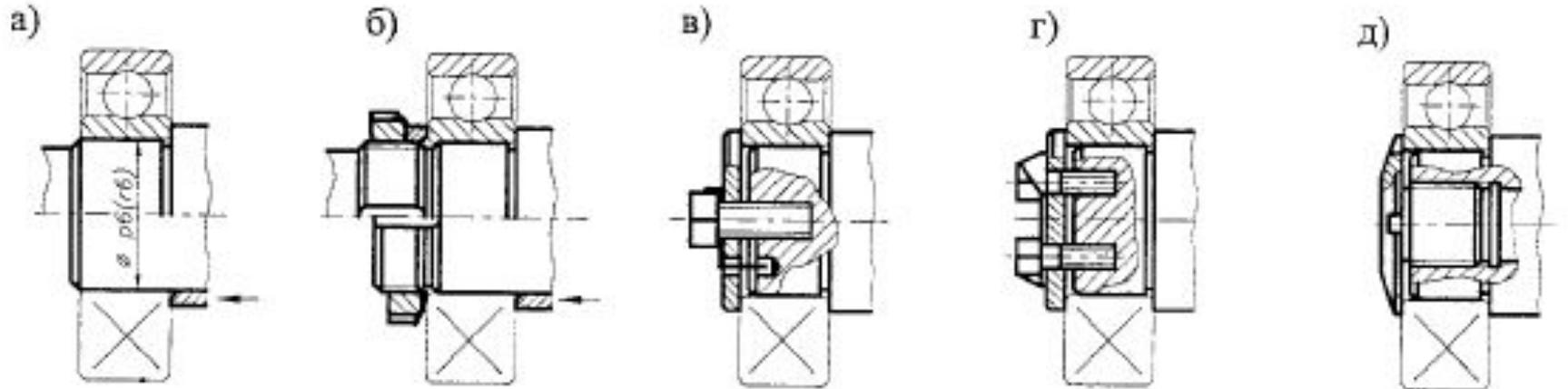
Главный принцип: усилие прикладывается только к тому кольцу, которое установлено с натягом и не должно передаваться на тела качения.

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

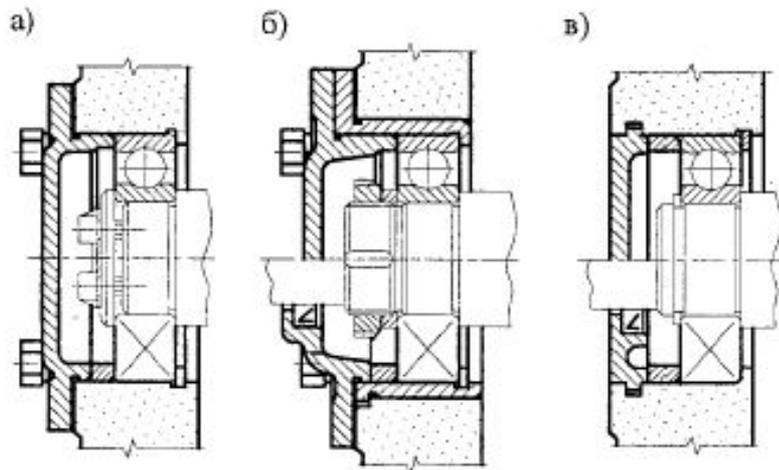
Элементы крепления подшипников



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 мм×об/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.

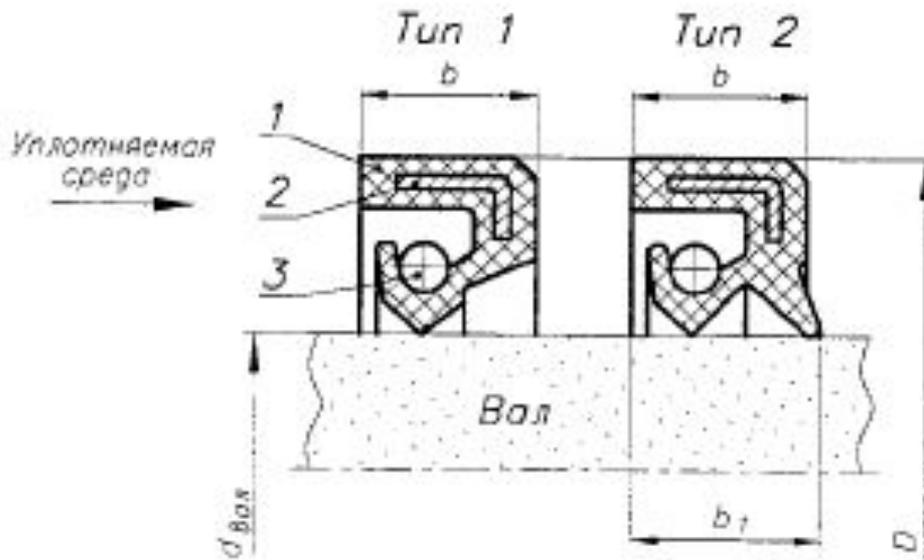


Рисунок 16 – Манжета резиновая

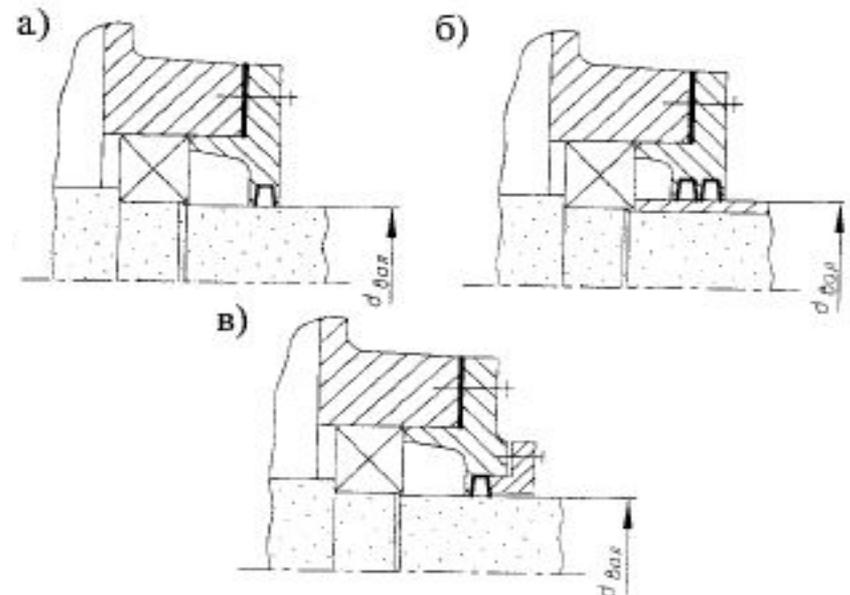


Рисунок 17 – Уплотнение войлочное

Смазка и уплотнения

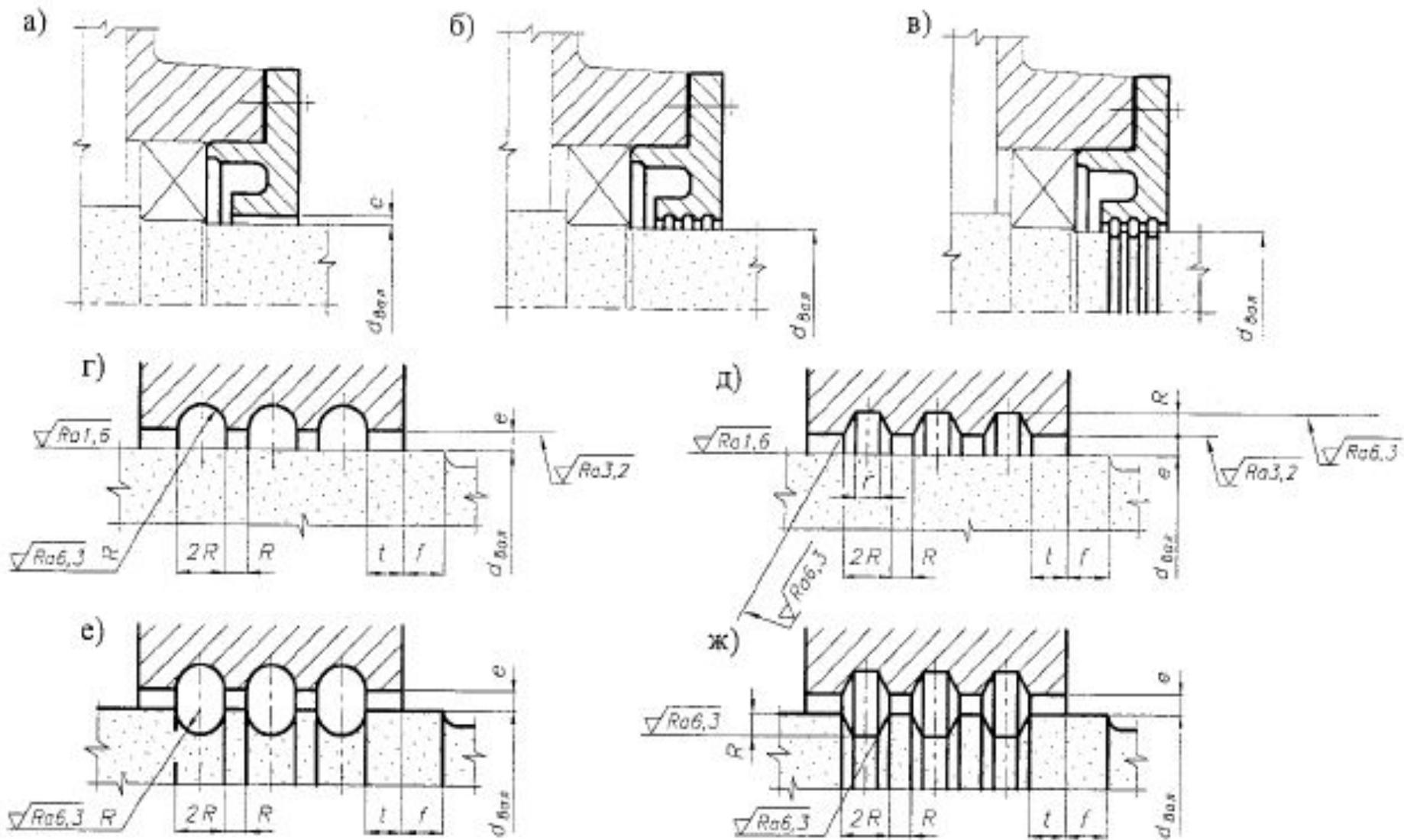


Рисунок 18 – Уплотнения щелевые

Смазка и уплотнения

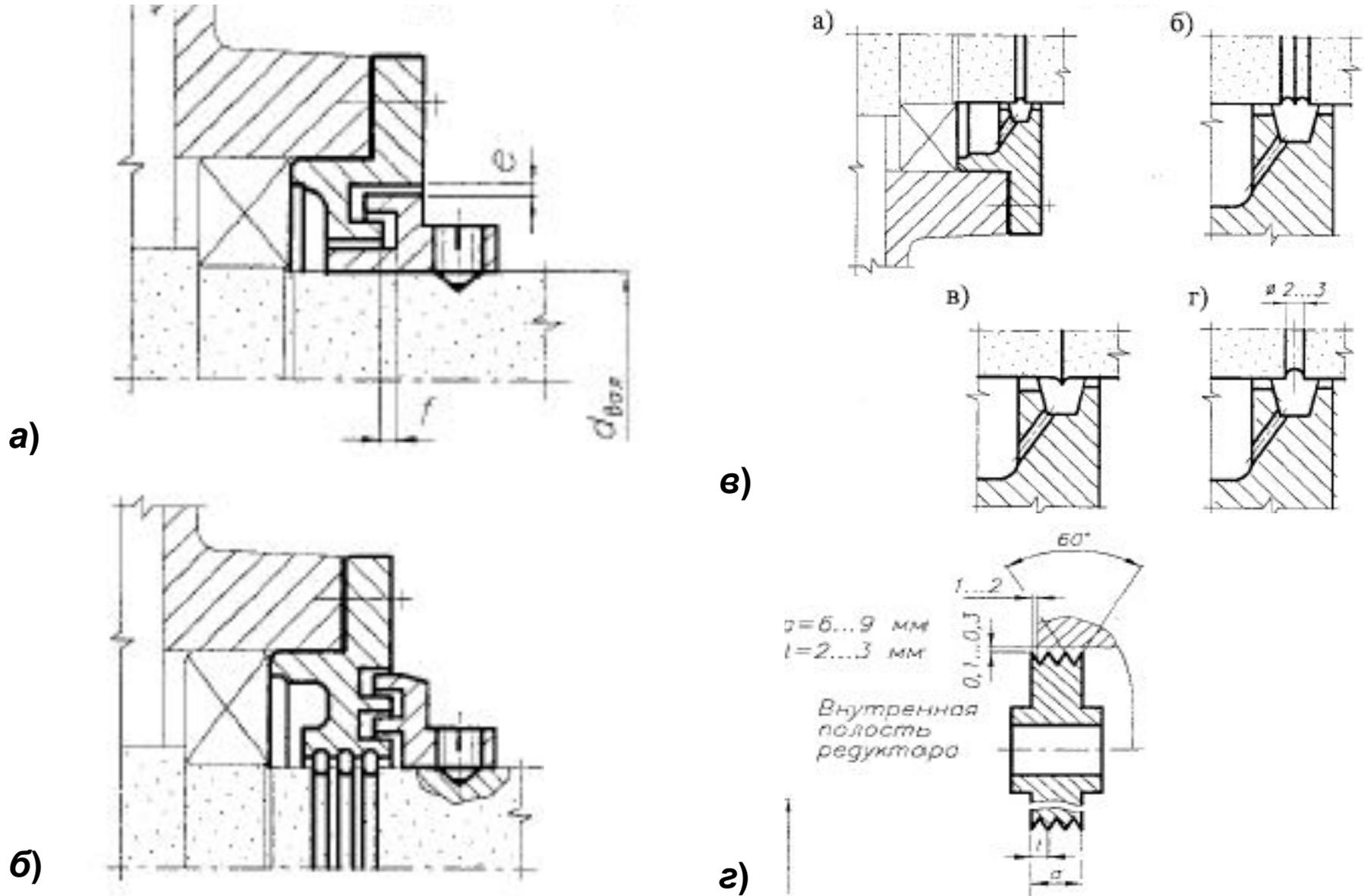


Рисунок 19 – Уплотнения: а) лабиринтные; б) комбинированные; в) центробежные; г) кольцо мазеудерживающее.

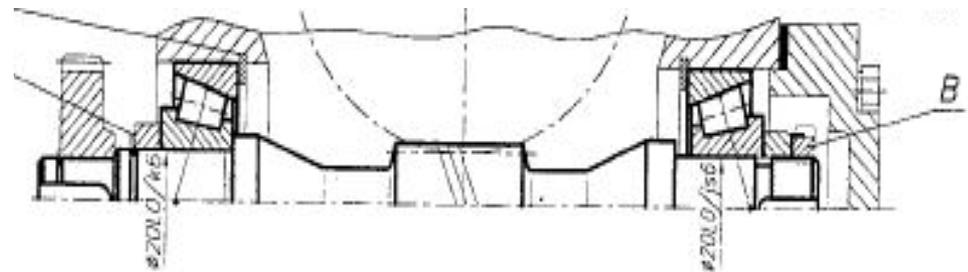
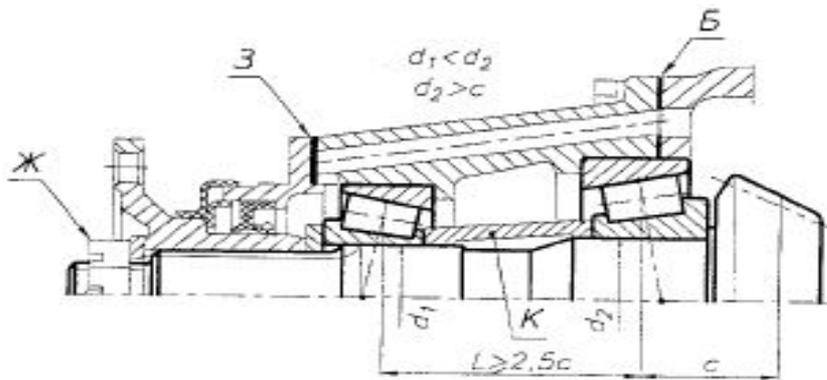
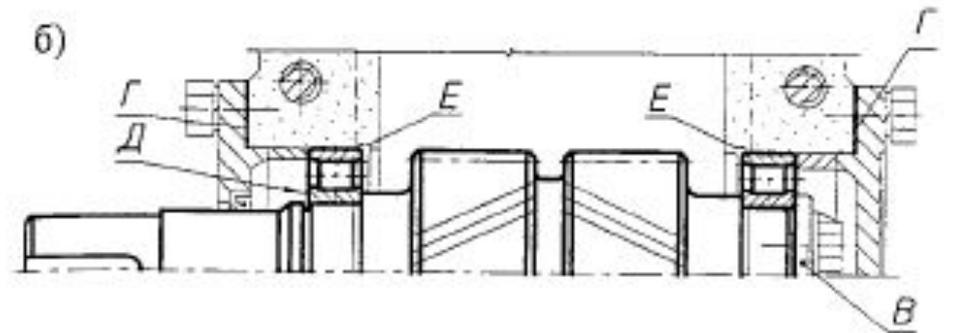
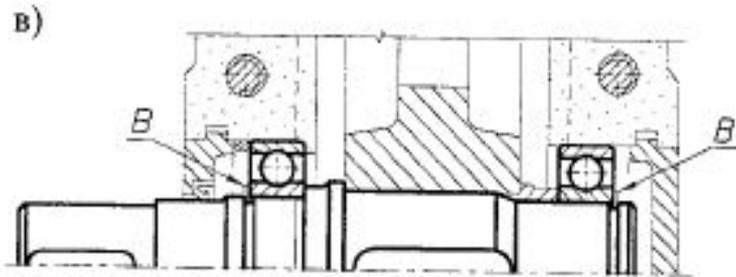
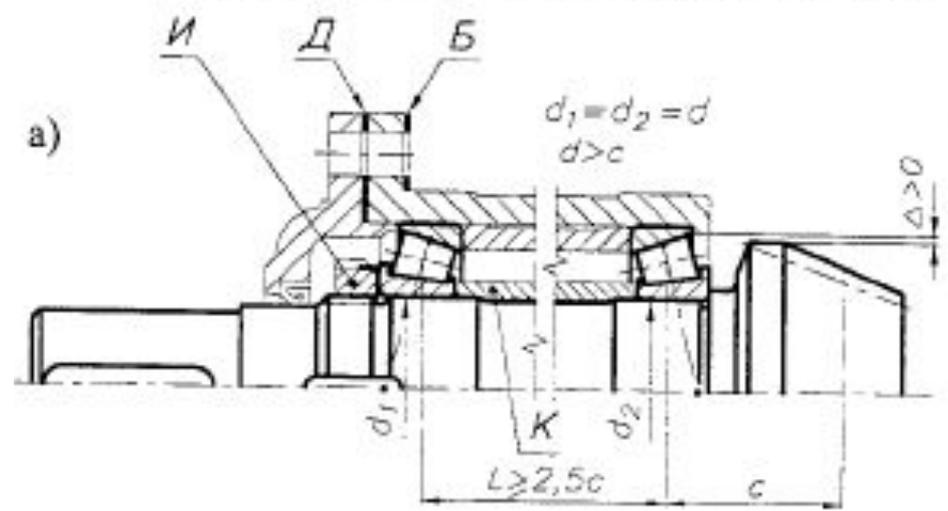
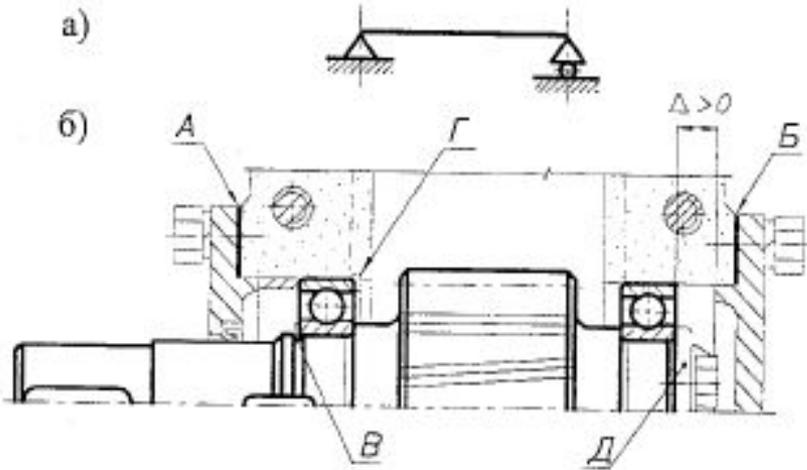
Материалы подшипников качения

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!**