

Лекция 6

Подшипники качения и скольжения. Особенности конструкции. Подбор подшипников.

Подшипник (от слова шип) — изделие, являющееся частью опоры или упора, которое поддерживает вал, ось или иную подвижную конструкцию с заданной жёсткостью.

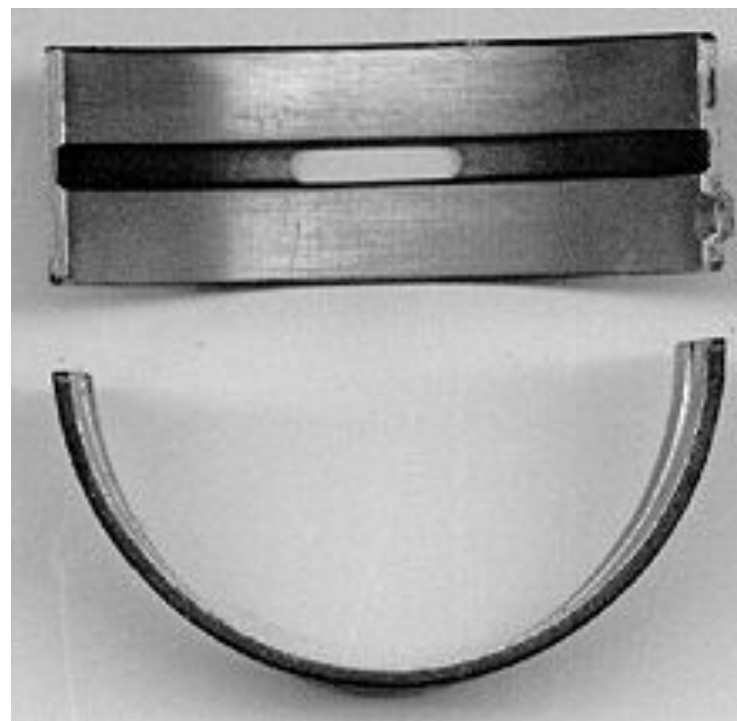
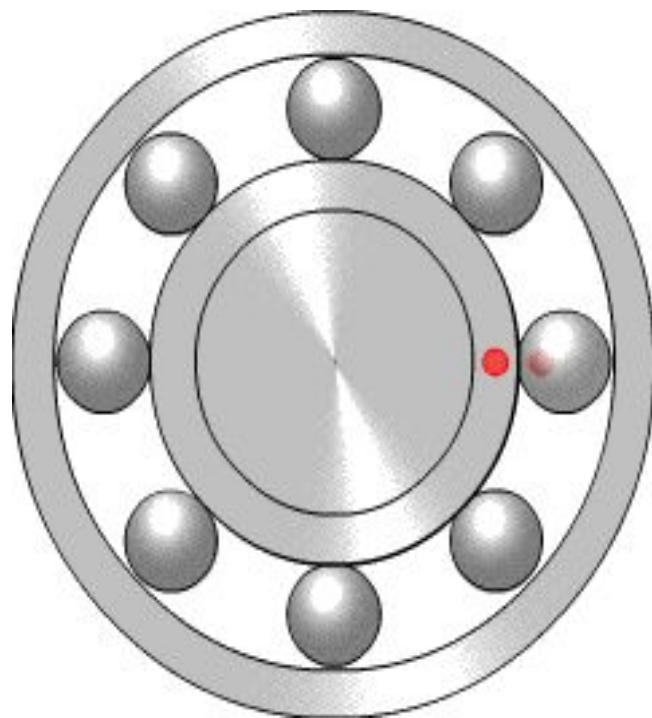
Изобрел подшипник в 1829 году чешский лесник Йозеф Рессел.

Основные типы подшипников

По принципу работы все подшипники можно разделить на несколько типов:

- подшипники качения;
- подшипники скольжения;
- газостатические подшипники;
- газодинамические подшипники;
- гидростатические подшипники;
- гидродинамические подшипники;
- магнитные подшипники.

Основные типы, которые применяются в машиностроении — это подшипники качения и подшипники скольжения.

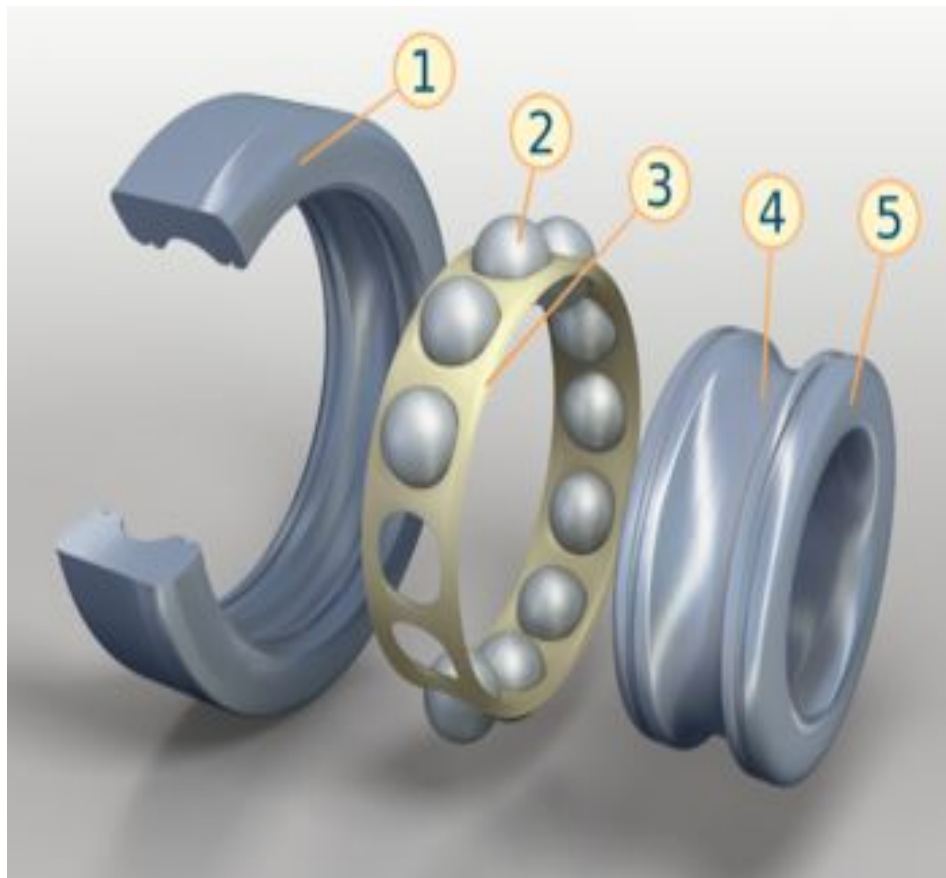


В подшипниках качения возникает преимущественно трение качения (имеются только небольшие потери на трение скольжения между сепаратором и телами качения), поэтому по сравнению с подшипниками скольжения снижаются потери энергии на трение и уменьшается износ.

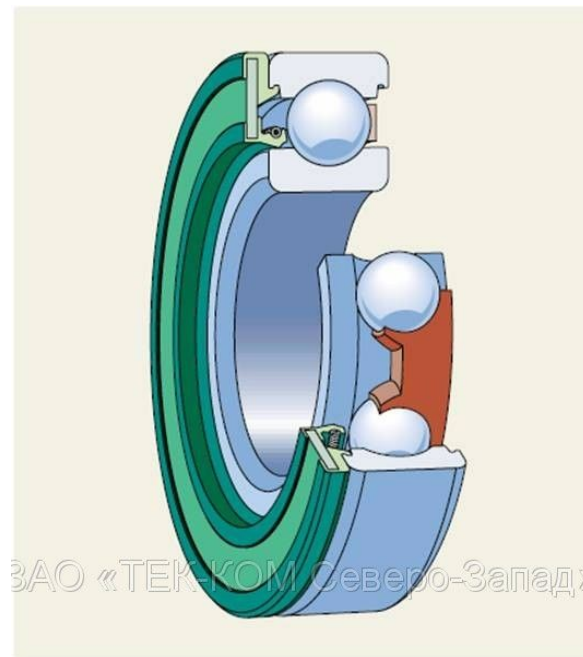
Подшипники качения

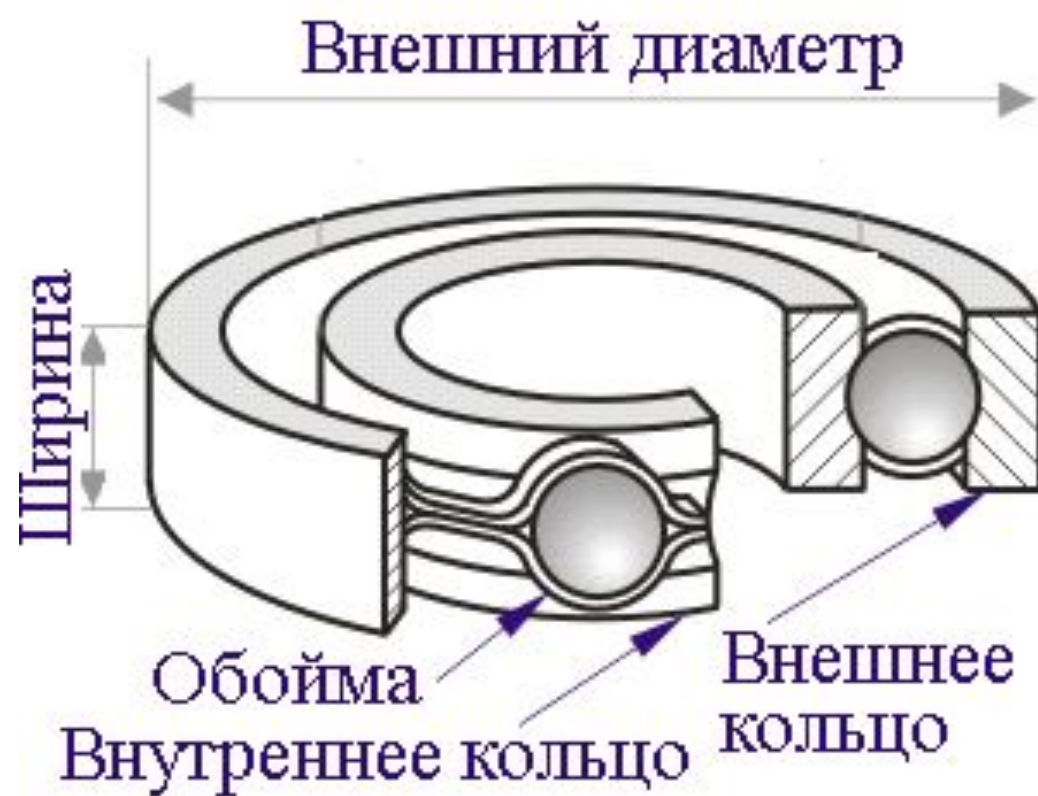


Устройство однорядного радиального шарикоподшипника



- 1 – внешнее кольцо;
- 2 – шарик (тело качения);
- 3 – сепаратор;
- 4 – дорожка качения;
- 5 – внутреннее кольцо.





Достоинства подшипников качения:

1. Малые потери на трение;
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.

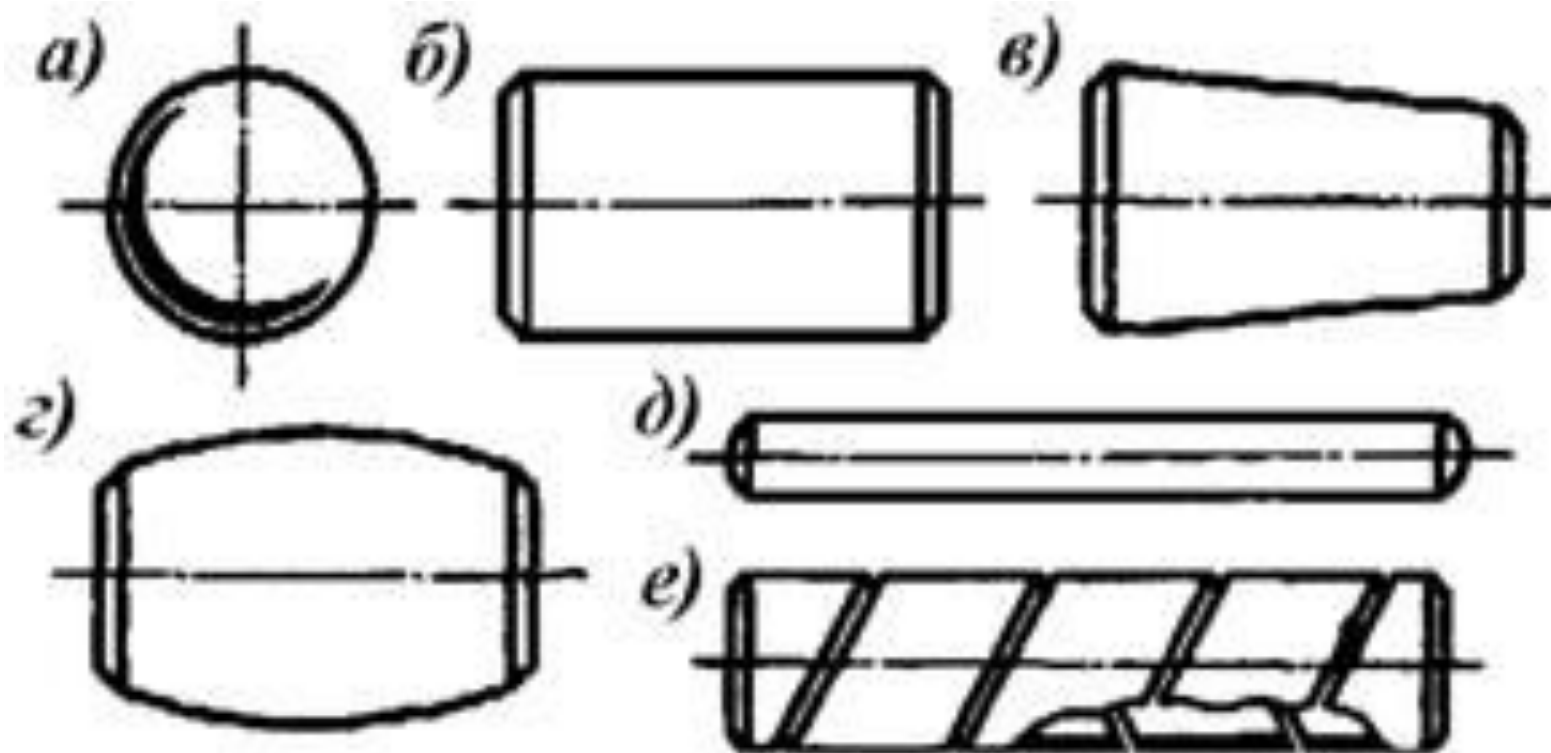
Недостатки подшипников качения:

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.

Классификация подшипников качения

1. По виду тел качения: шариковые и роликовые;





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

2. По количеству рядов тел качения

- однорядные



- двухрядные



- трёх- и более рядные;



3. По типу воспринимаемой нагрузки

- Радиальные
- Радиально-упорные
- Упорно-радиальные
- Упорные

- Радиальные



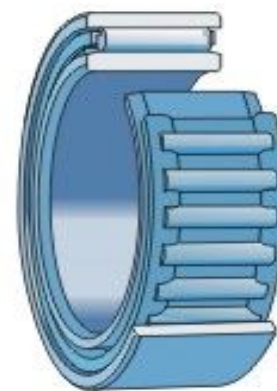
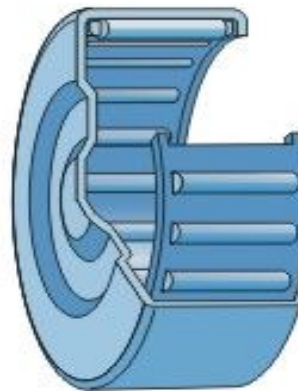
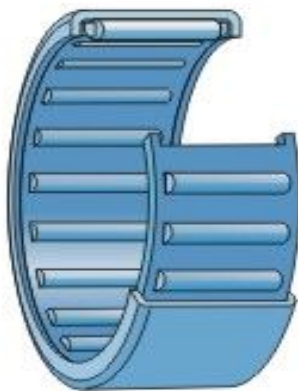
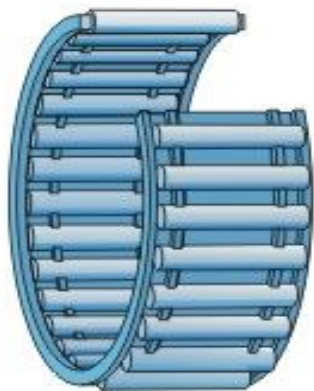
Радиальный роликовый
подшипник



Радиальный шариковый
подшипник



Игольчатые подшипники



- Радиально-упорные



шариковые



роликовые



- Упорно-радиальные

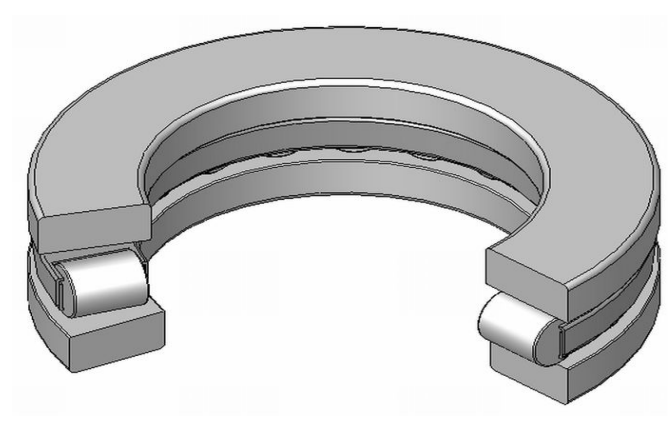




- Упорные



шариковые



роликовые



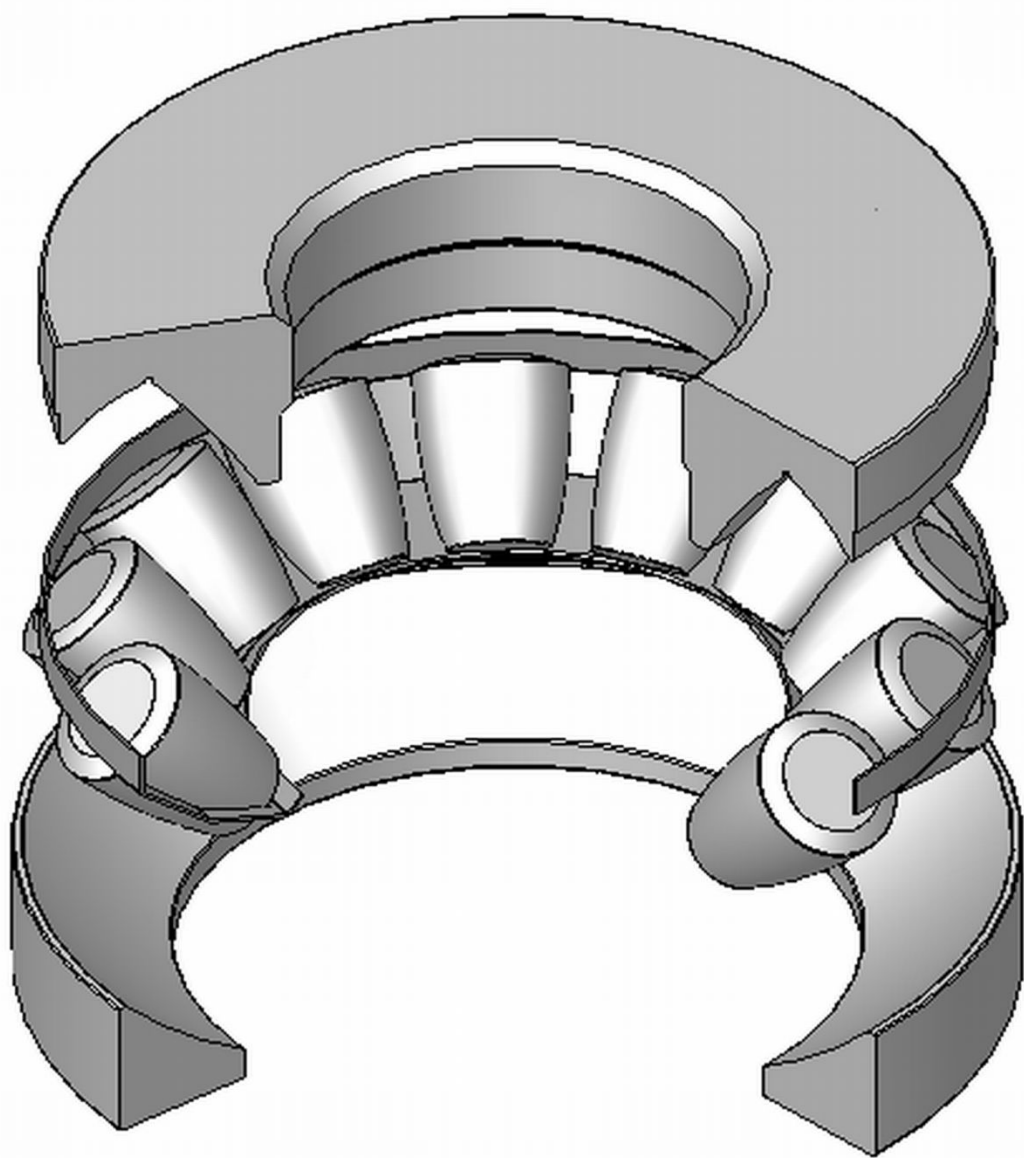


4. По способности компенсировать перекосы валов:
– несамоустанавливающиеся.



и самоустанавливающиеся

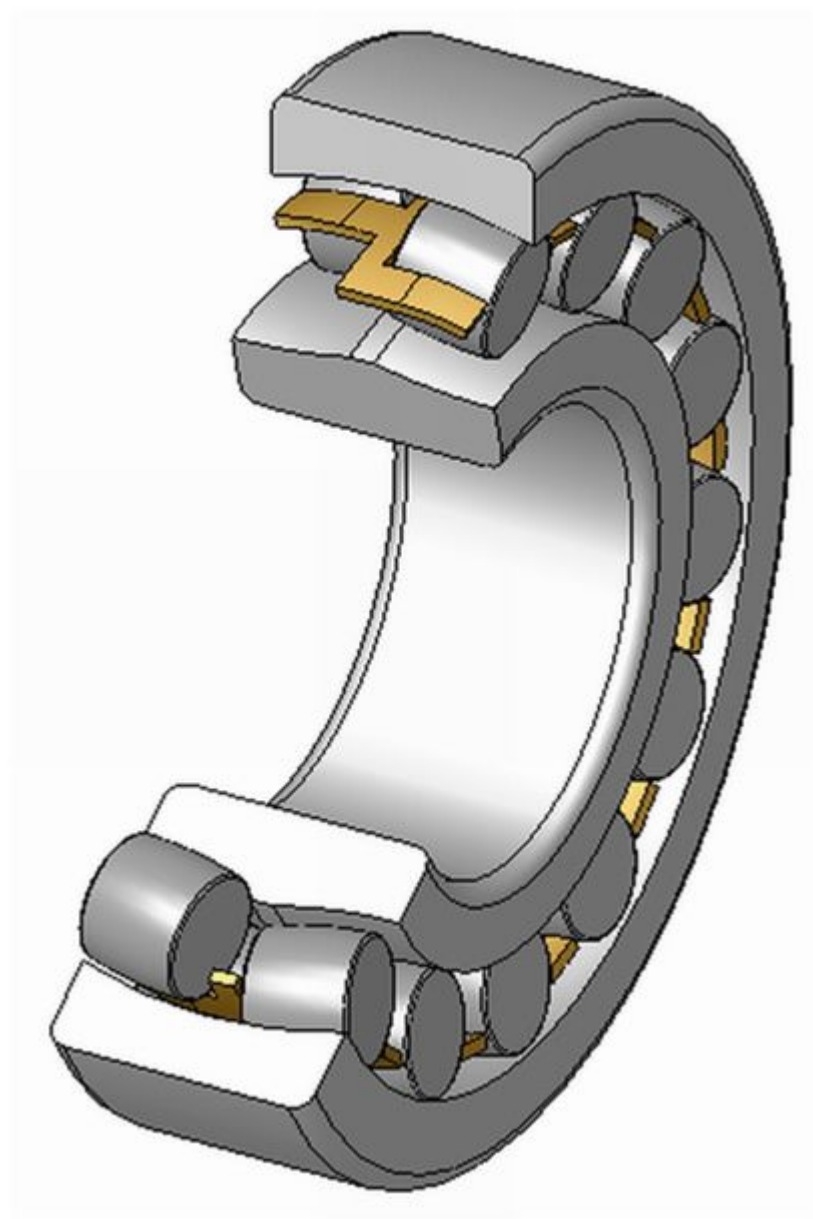




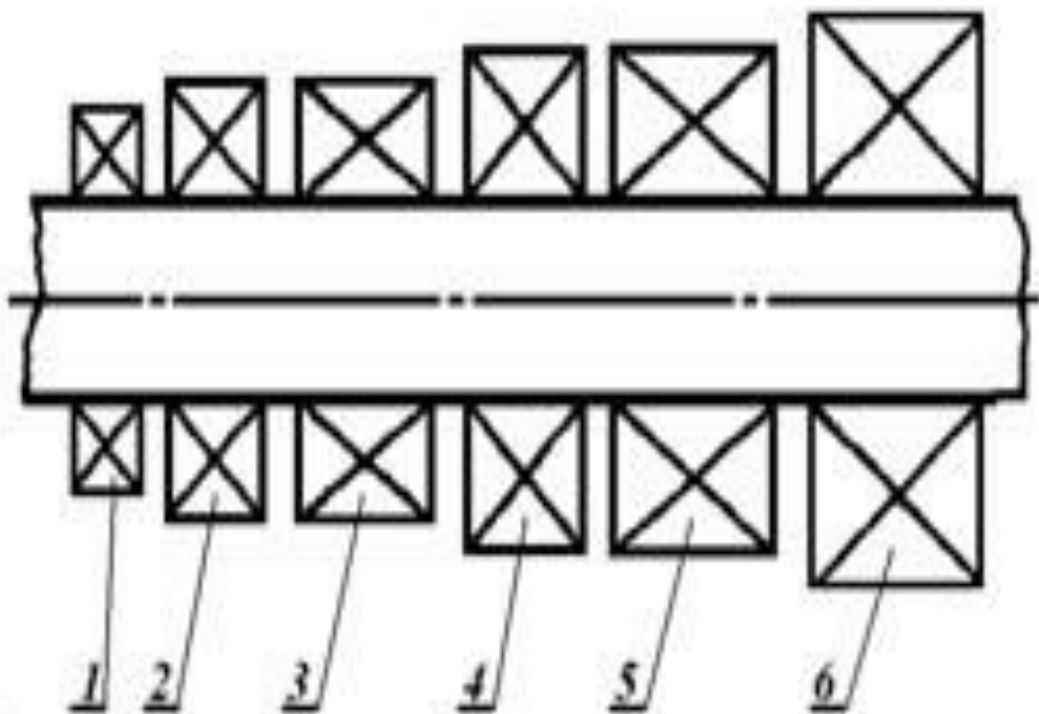


ООО «Промтехноснаб»





5. По габаритным размерам (серии диаметров и ширин)



- 1) особо лёгкая;
- 2) лёгкая;
- 3) лёгкая широкая;
- 4) средняя;
- 5) средняя широкая;
- 6) тяжёлая.

6. По конструктивным особенностям

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

Закрытые подшипники качения (имеющие защитные крышки) практически не требуют обслуживания (замены смазки), открытые — чувствительны к попаданию инородных тел, что может привести к быстрому разрушению подшипника.

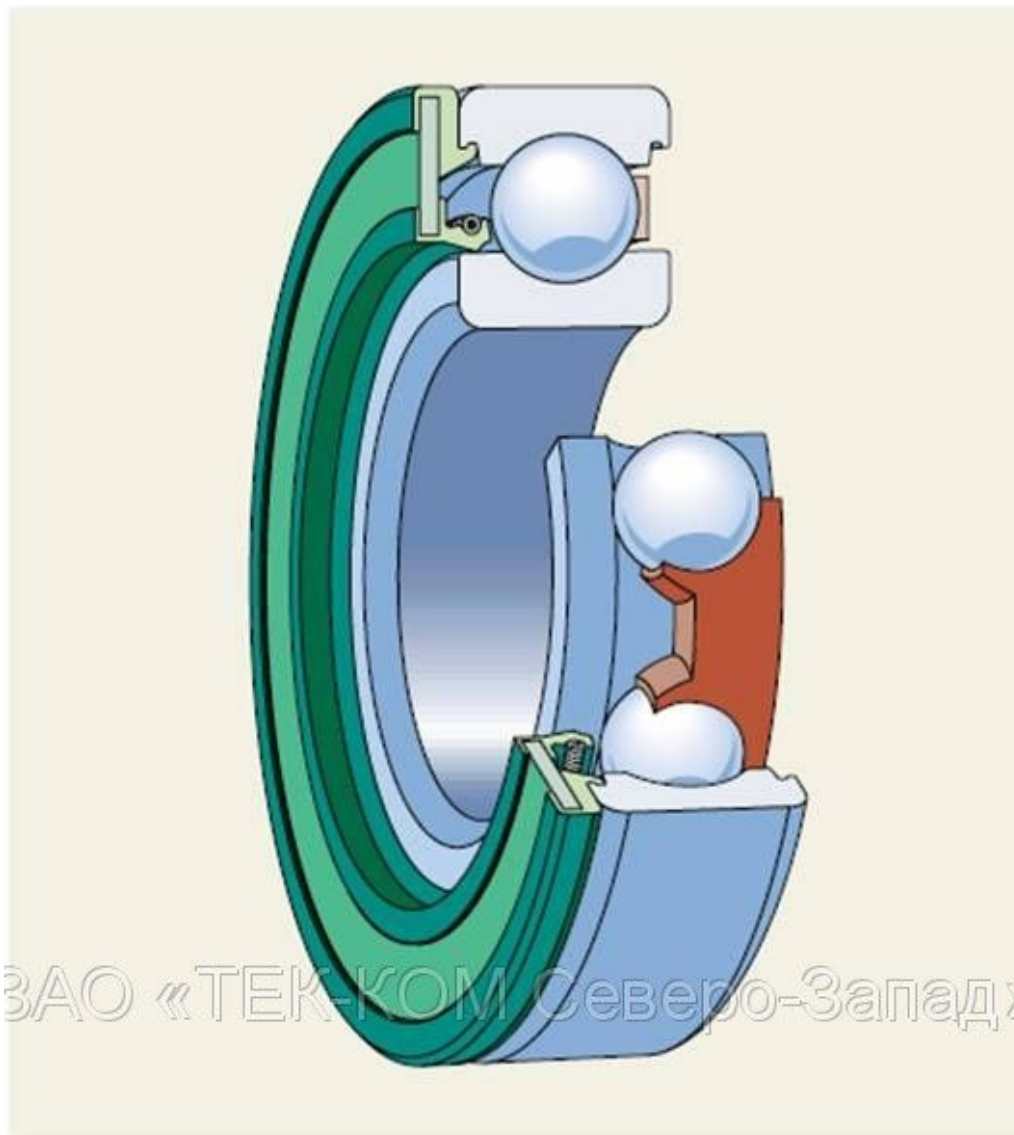




Подшипники роликовые радиальные двухрядные с
двумя защитными шайбами



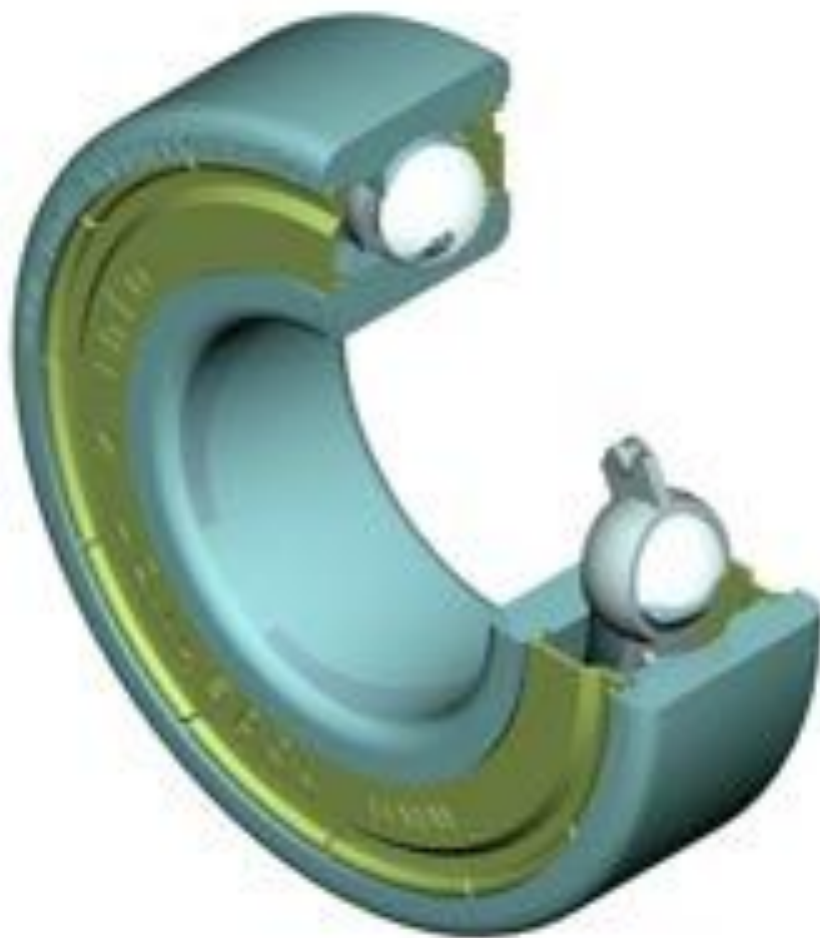
Подшипники шариковые радиальные однорядные с одной защитной шайбой



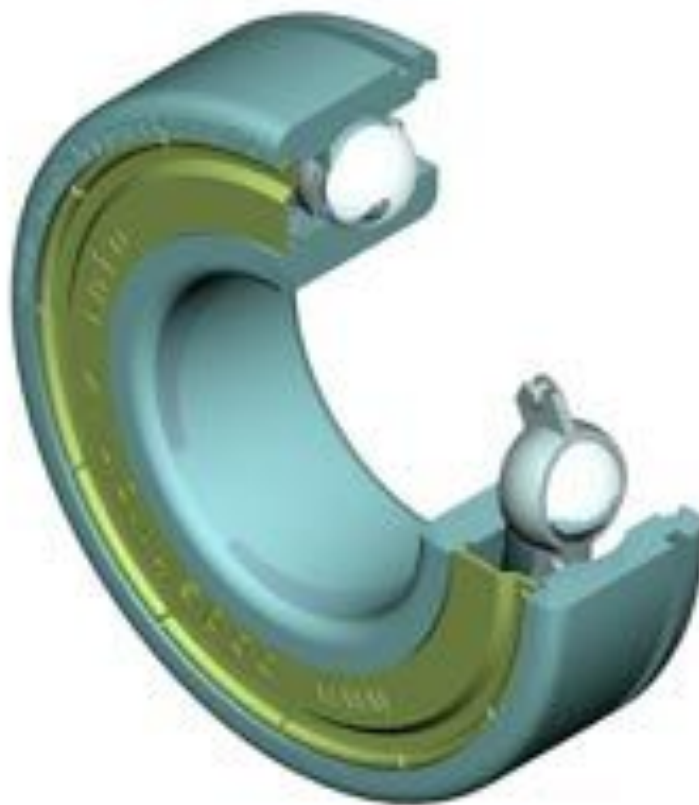
Подшипники шариковые радиальные однорядные с канавкой на наружном кольце



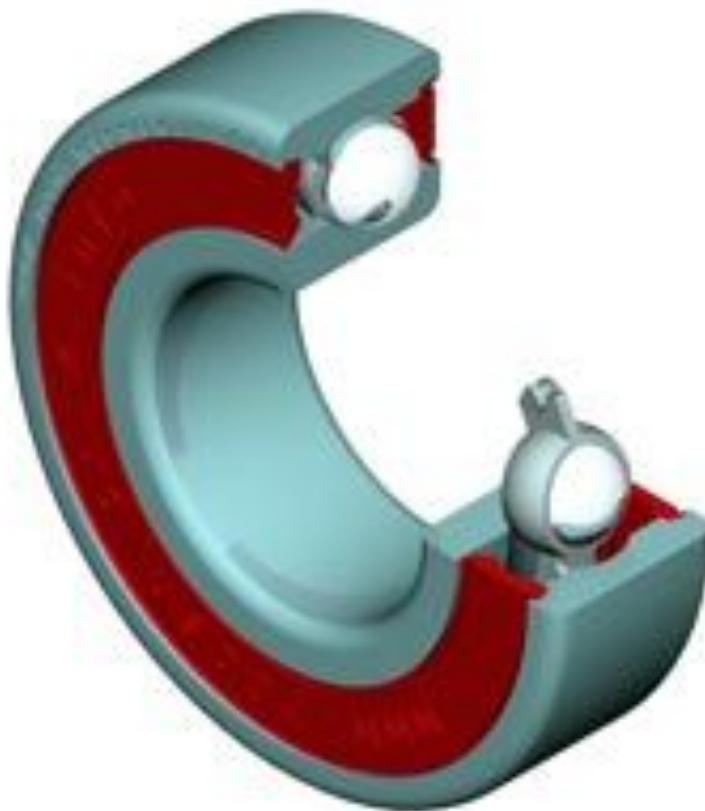
Подшипники шариковые радиальные однорядные с двумя защитными шайбами



Подшипники шариковые радиальные однорядные с канавкой на наружном кольце и с одной защитной шайбой

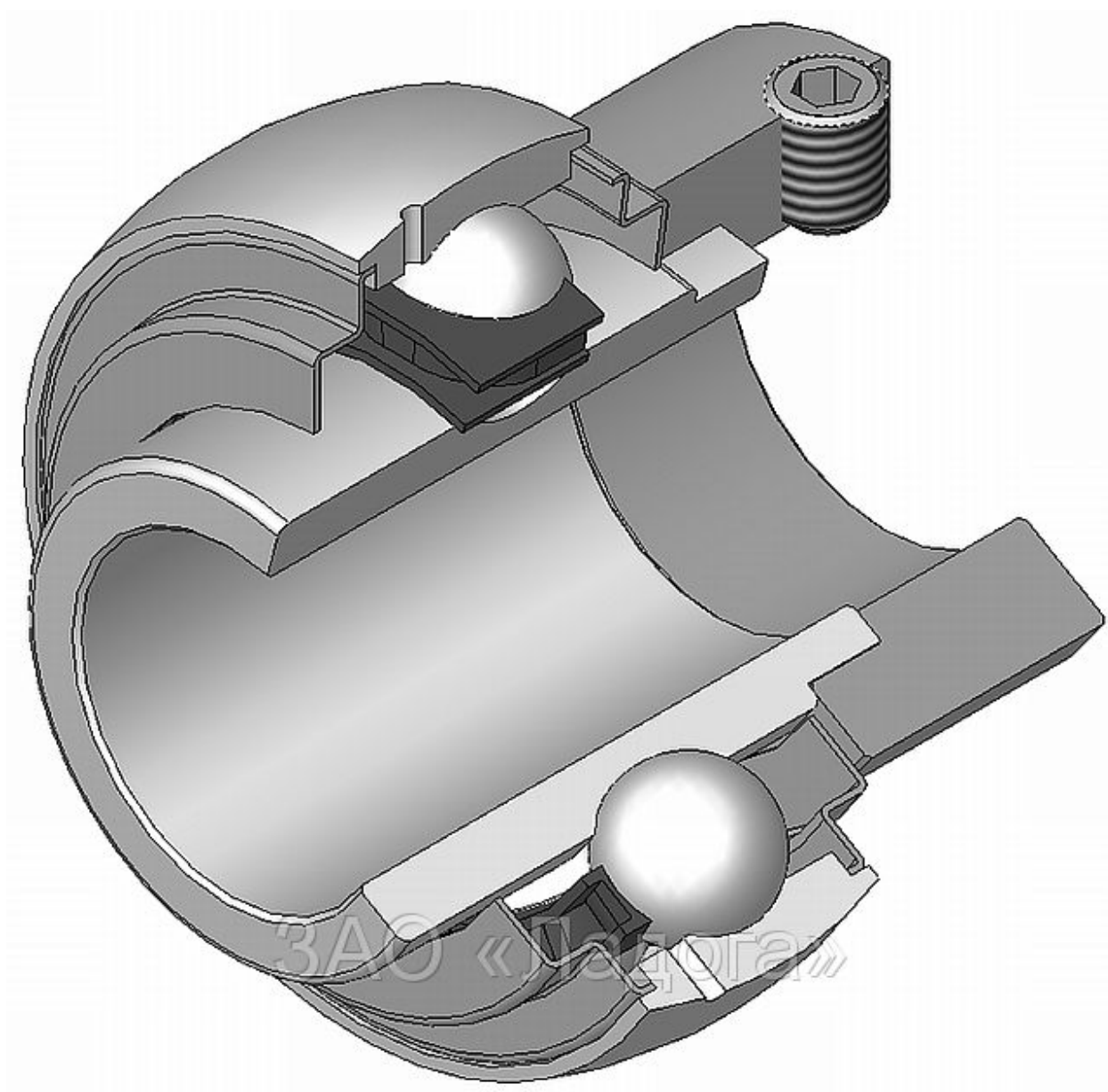


Подшипники шариковые радиальные однорядные с двухсторонним уплотнением

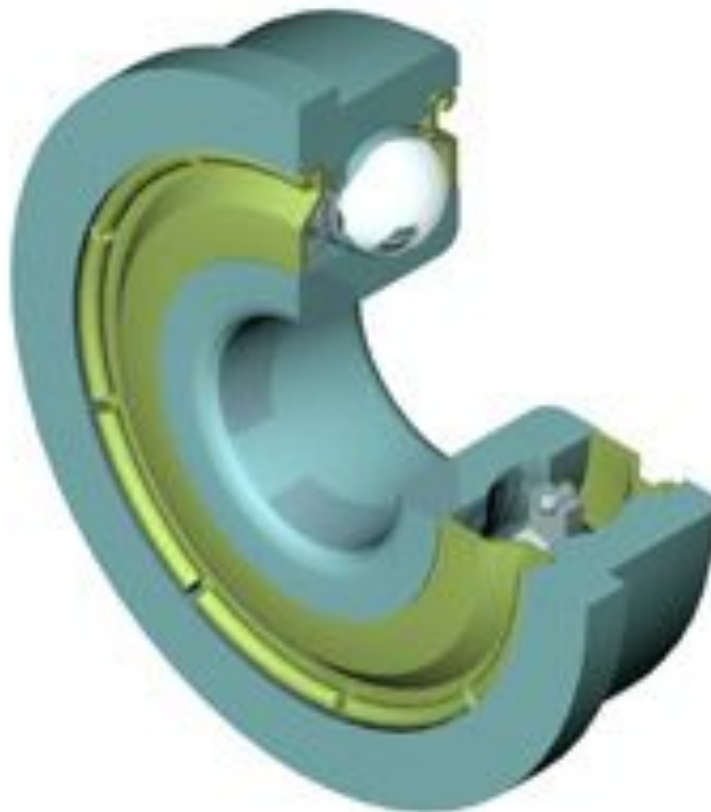


Подшипники шариковые радиальные однорядные с двумя уплотнениями с широким внутренним кольцом сферической наружной поверхностью наружного кольца с концентричным стопорным кольцом

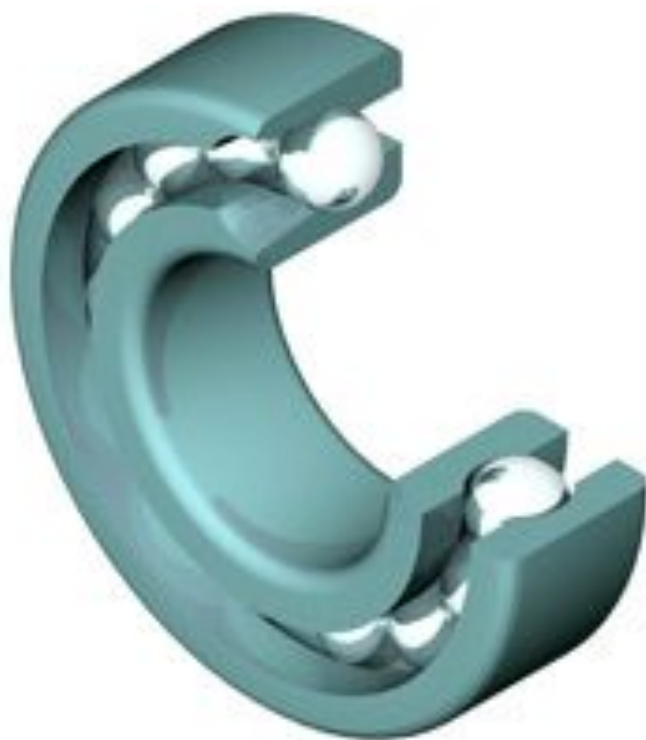


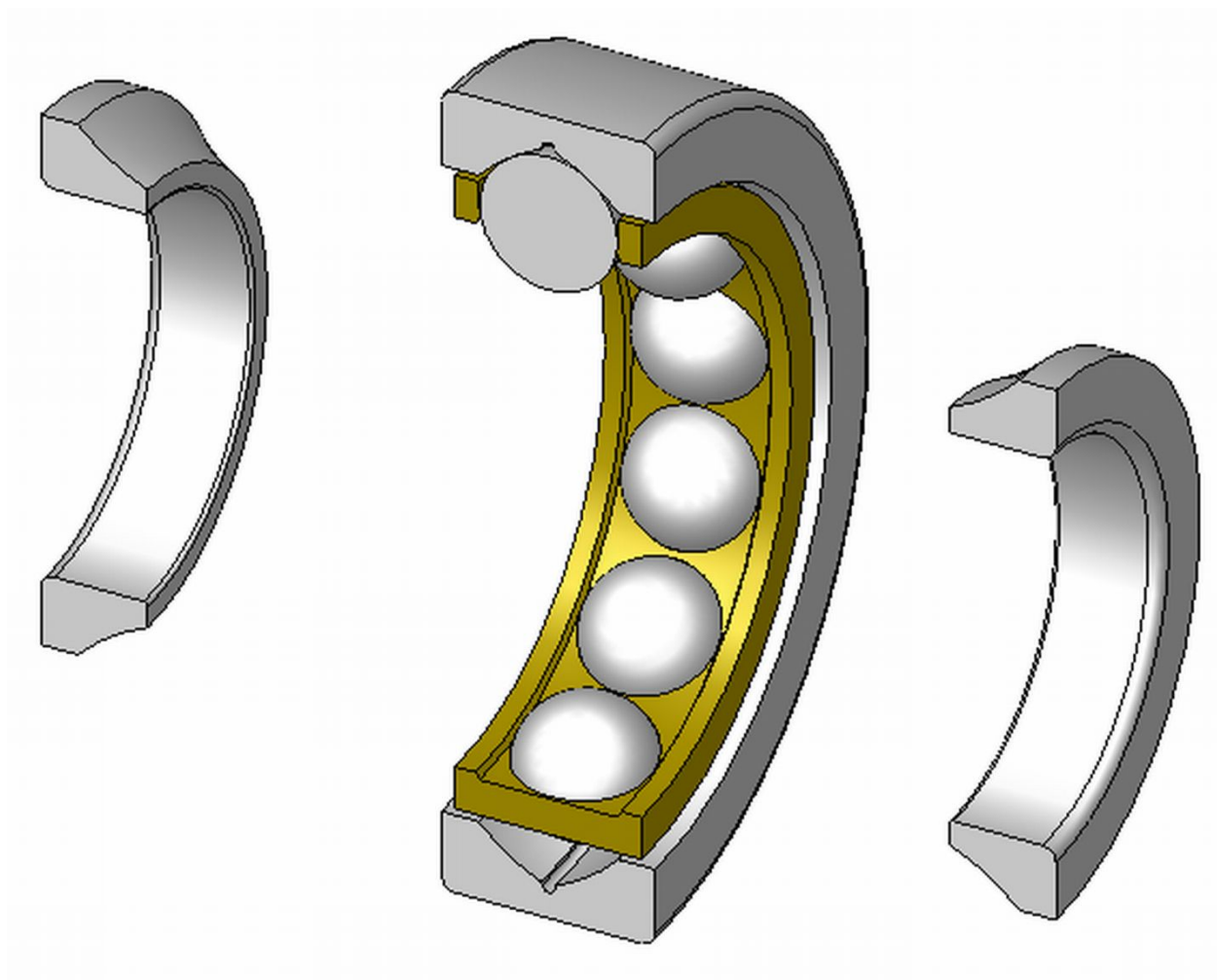


Подшипники шариковые радиальные однорядные с упорным бортом на наружном кольце и двумя защитными шайбами



Подшипники шариковые радиальные однорядные с канавкой для комплектования шариками без сепаратора







7. По точности изготовления

– для подшипников качения стандартом (ГОСТ 520-71) предусмотрены 5 классов точности (Р0, Р6, Р5, Р4, Р2); класс точности указывается перед номером подшипника, при этом буква «Р» может опускаться (Р4-205 или 4-205), а нулевой класс (подшипники общего назначения) может не указываться вообще;

Материалы для изготовления подшипников качения.

Кольца подшипников качения и их тела качения (шарики, ролики) 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 выполняют из антифрикционных материалов (латуни, бронзы, алюминиевых сплавов, текстолита и некоторых других пластмасс).



направляющие пластиковые Zedex ZX-530, ZX-550.

Условное обозначение подшипников качения в России

Условные обозначения (маркировка, паспорт) подшипников качения 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, то есть в начале цифры, не проставляются).

Класс точности	9
Тип	8
Серия ширин	7
Конструктивная разновидность	6
	5
Тип подшипника	4
Серия диаметров	3
Диаметр отверстия во внутреннем кольце	2
	1
Специальные буквенные обозначения	0

Две последние цифры справа обозначают диаметр отверстия во внутреннем кольце (диаметр цапфы вала).

Подшипник с диаметром отверстия внутреннего кольца от 20 мм до 495 мм обозначается цифрами, полученными от деления на 5.

Для большей части подшипников диаметр отверстия внутреннего кольца изменяется с шагом 5 мм.

Диаметр отверстия 10 мм обозначается цифрами 00; 12 мм – 01; 15 мм – 02, и 17 мм – 03.

Внутренние диаметры от 1 до 9 мм, выраженные целым числом, обозначаются цифрой, равной номинальному диаметру

Внутренние диаметры, равные 0,6; 1,5; 2,5; 22; 28; 32 мм, а также от 500 до 2000 мм, — числом, равным номинальному диаметру, отделенным знаком дроби от остальных знаков основного условного обозначения, например, 10079/560.

Если внутренний диаметр — дробное число в диапазоне до 10 мм, то ему присваивается знак обозначения ближайшего целого числа, при этом на втором месте основного обозначения ставится цифра 5.

Третья цифра справа соответствует серии диаметров наружных колец (наружных диаметров подшипника):

сверхлёгкая серия – 8 или 9;

особолёгкая – 1; лёгкая – 2;

средняя – 3; тяжёлая – 4.

Четвёртой цифрой справа обозначается тип подшипника

Тип подшипника	Обозначение
Шариковый радиальный	0
Шариковый радиальный сферический	1
Роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами	2
Роликовый радиальный сферический	3
Роликовый игольчатый или с длинными цилиндрическими роликами	4
Радиальный роликовый с витыми роликами	5
Радиально-упорный шариковый	6
Роликовый конический	7
Упорный или упорно-радиальный шариковый	8
Упорный или упорно-радиальный роликовый	9

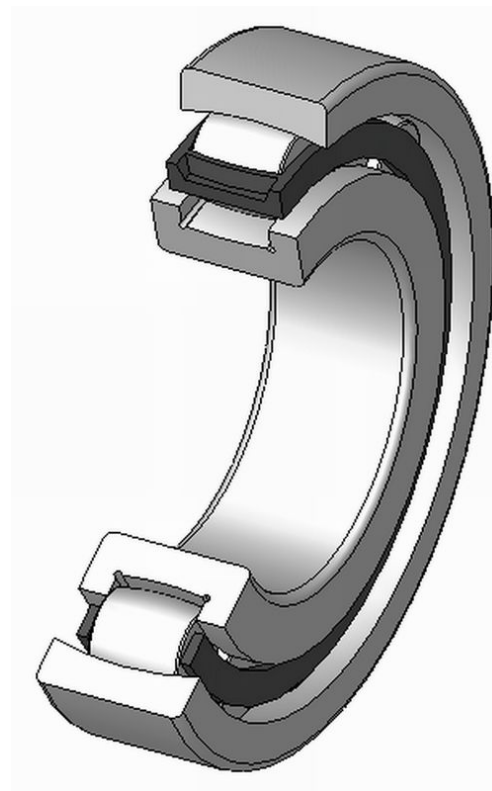


Шариковый радиальный однорядный типа 0000

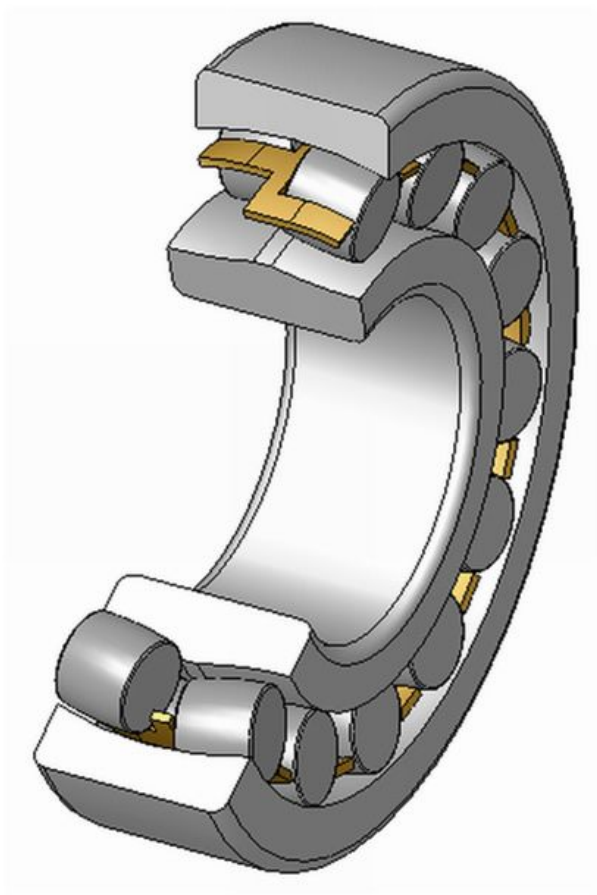


ОАО «МТС Восток»

Подшипник шариковый радиальный сферический типа 1000



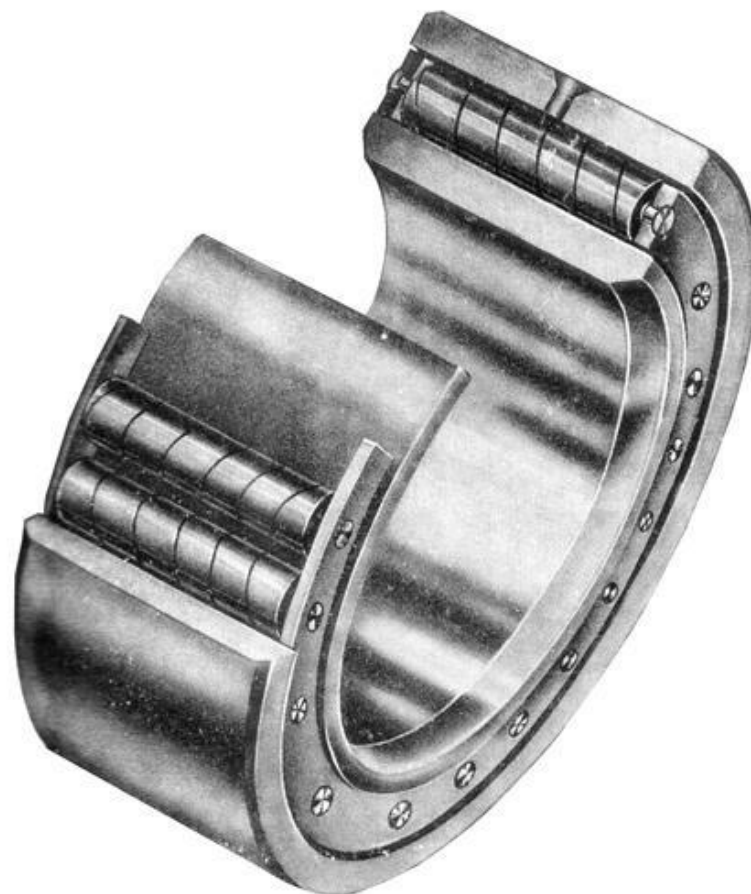
Подшипник роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами типа 2000



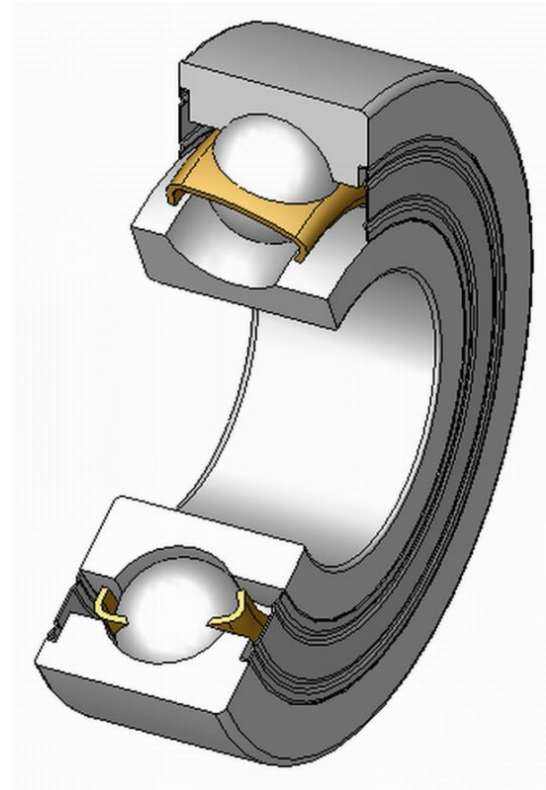
Подшипник роликовый радиальный сферический
типа 3000



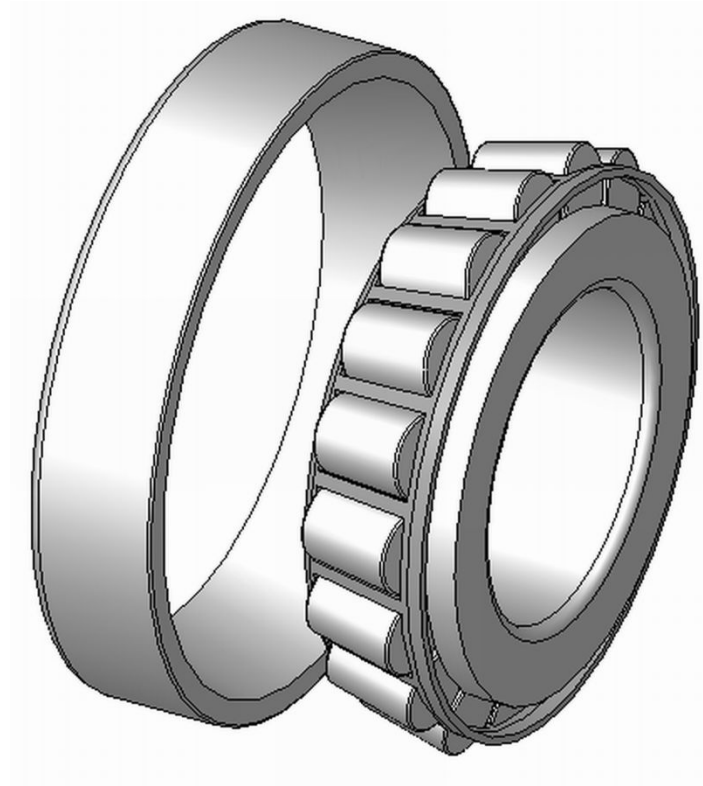
Подшипник роликовый игольчатый или с длинными цилиндрическими роликами типа 4000



Подшипник радиальный роликовый с витыми
роликами типа 5000



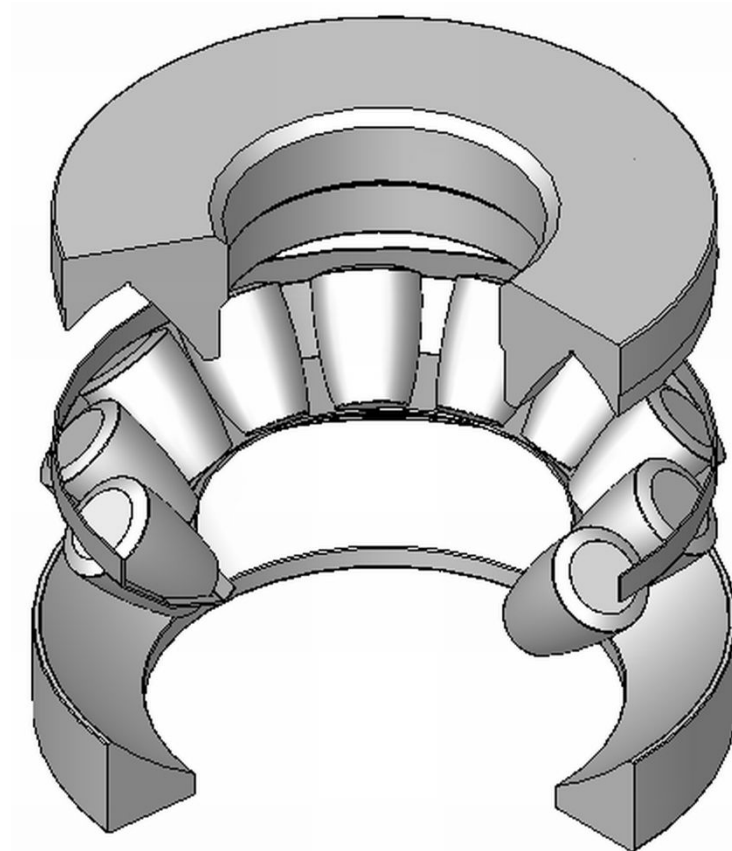
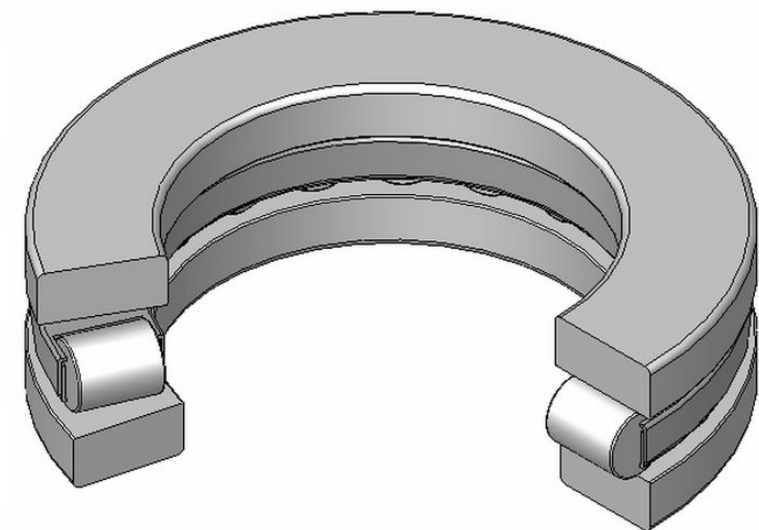
Подшипник радиально-упорный шариковый типа 6000



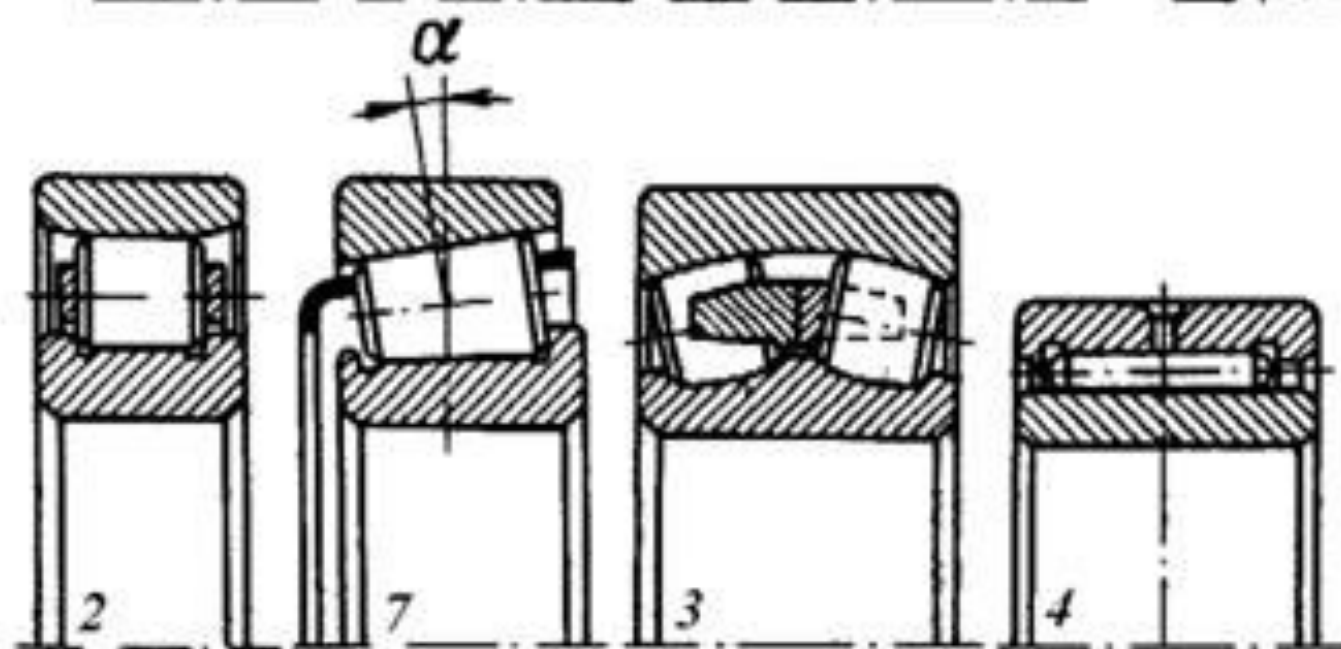
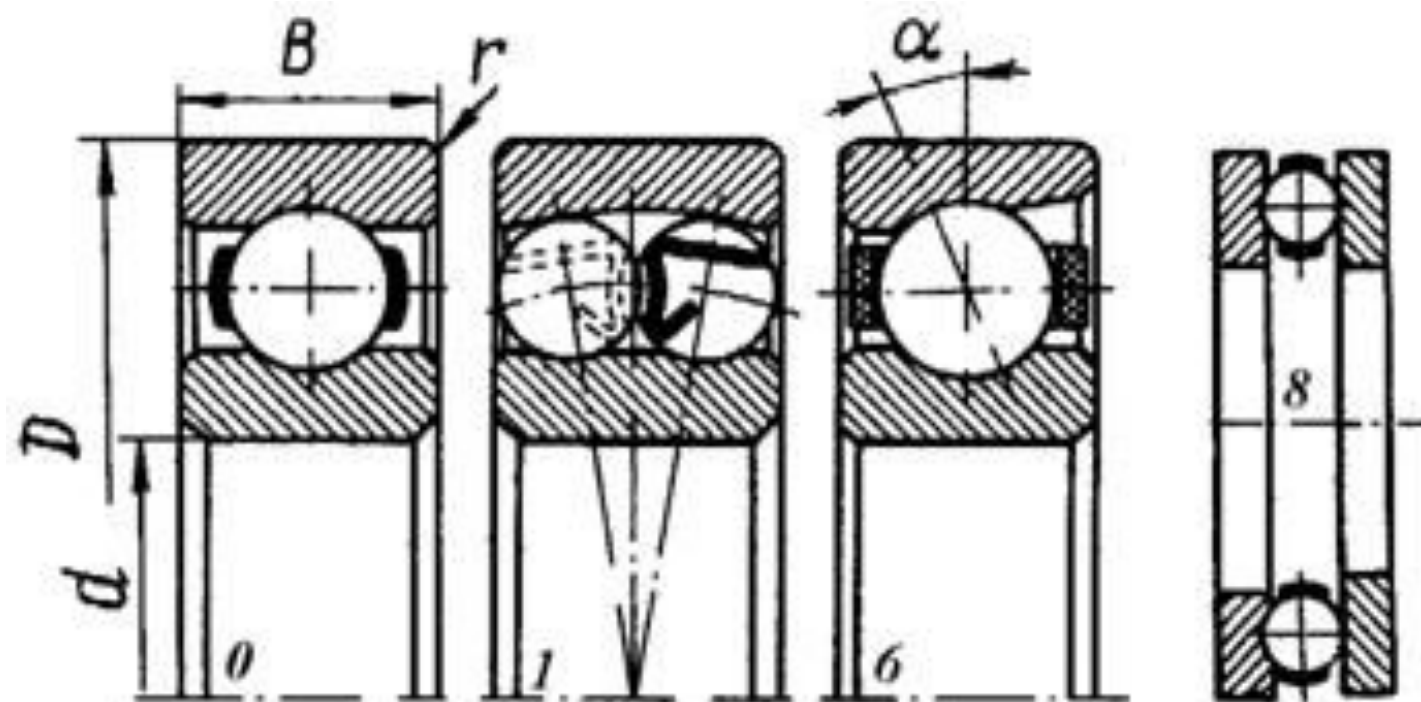
Подшипник роликовый конический типа 7000



Подшипник упорный или упорно-радиальный
шариковый типа 8000



Подшипник упорный или упорно-радиальный роликовый
типа 9000



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.

Подшипники качения могут терять работоспособность по нескольким причинам.

Усталостное выкрашивание - отслаивание (шелушение) частичек металла с рабочих поверхностей и появление на них раковин является, в конечном итоге, следствием циклического нагружения контактных поверхностей тел качения и беговых дорожек колец

Смятие (пластическая деформация) поверхности тел качения и беговых дорожек на кольцах возникает вследствие чрезмерных статических нагрузок или при действии однократных ударных нагрузок. Характерный признак: для тел качения – нарушение геометрической формы; для колец - наличие на беговых дорожках местных углублений, по форме повторяющих поверхность тел качения (наиболее характерно для внутреннего кольца).

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

Абразивное изнашивание происходит при попадании в подшипник частиц высокой твёрдости через нарушенные уплотнительные элементы.

Разрушение сепараторов происходит, как правило, из-за изнашивания их за счёт трения тел качения при недостаточной смазке, от воздействия тел качения на них при наличии центробежных сил большой величины (при больших скоростях вращения) и некоторых других причин.

Внешними признаками потери работоспособности подшипниками качения являются повышенный шум при работе механизма, перегрев подшипникового узла (увеличение потерь мощности в подшипниковом узле), излишние люфты, то есть потеря точности вращения валов.

Внешними признаками усталостного выкрашивания являются появление зеркальных частичек в смазочной жидкости, повышенная шумность в процессе работы механизма, чрезмерная вибрация валов при вращении.

Таким образом, в качестве основных критериев работоспособности подшипника качения следует считать износостойкость поверхностей качения, сопротивляемость пластическим деформациям и, в конечном итоге, долговечность подшипника.

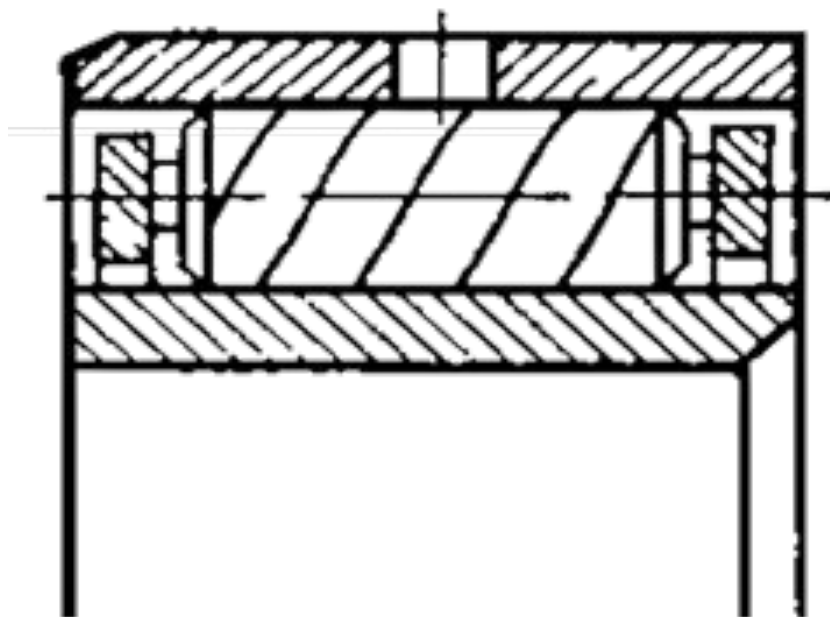
Так как подшипники качения в подавляющем большинстве являются стандартизованными изделиями, при разработке подшипникового узла их проектный расчёт заменяется процедурой подбора подшипника.

Выбор подшипника качения (и установление необходимого паспорта подшипника) определяются следующими основными показателями:

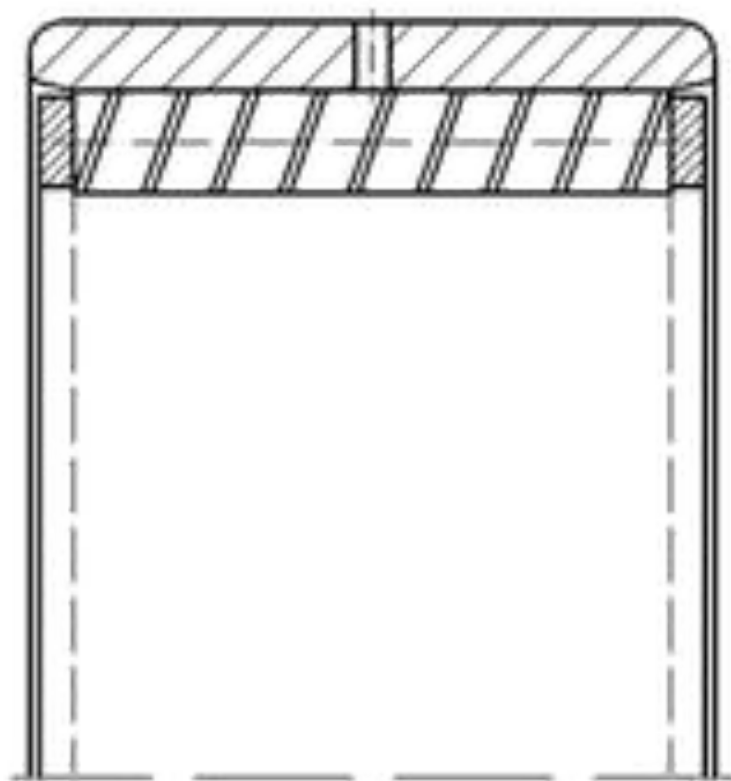
1. Характером нагрузки (постоянная, переменная, ударная), её величиной и направлением действия.
2. Диаметром цапф вала и частотой его вращения.
3. Необходимой долговечностью подшипникового узла.
4. Нагрузочной способностью подшипника (статическая и динамическая грузоподъёмность).

Роликоподшипники с витыми роликами воспринимают только радиальные нагрузки. По сравнению с подшипниками, имеющими сплошные цилиндрические ролики, они примерно вдвое менее грузоподъемны и могут работать только при не больших скоростях. Поэтому, несмотря на их технологичность, они не перспективны и их применение сокращается.

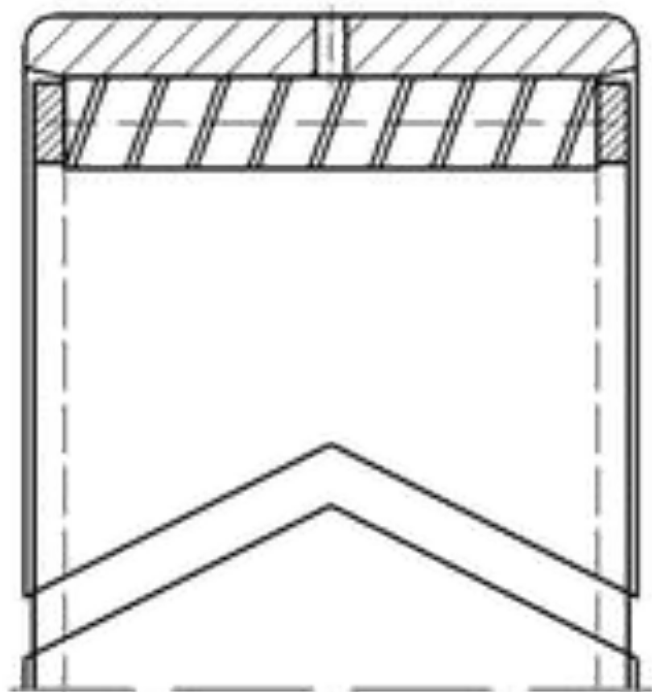
Подшипники с витыми роликами выпускают комплектными (наружное и внутреннее кольца и сепаратор, состоящий из двух шайб и распорок, на которых смонтированы ролики)



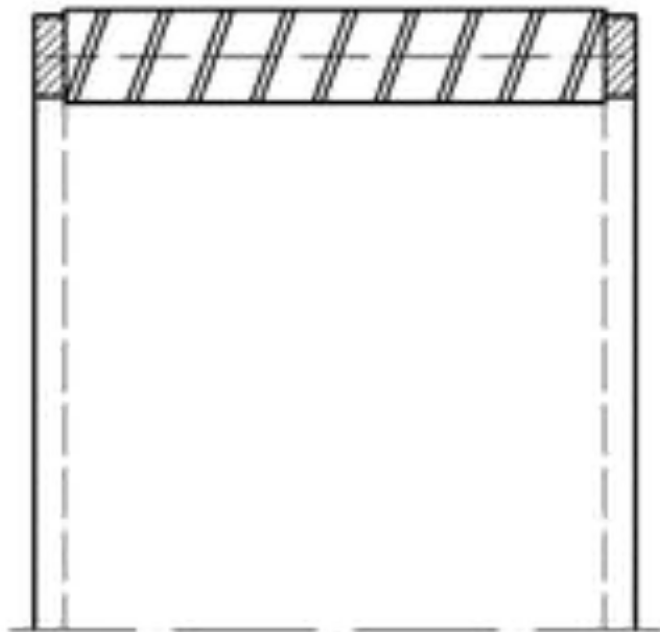
Или некомплектными (без внутреннего кольца).



Наружное кольцо может быть штампованным разрезным.



Подшипник может состоять также только из сепаратора с роликами.

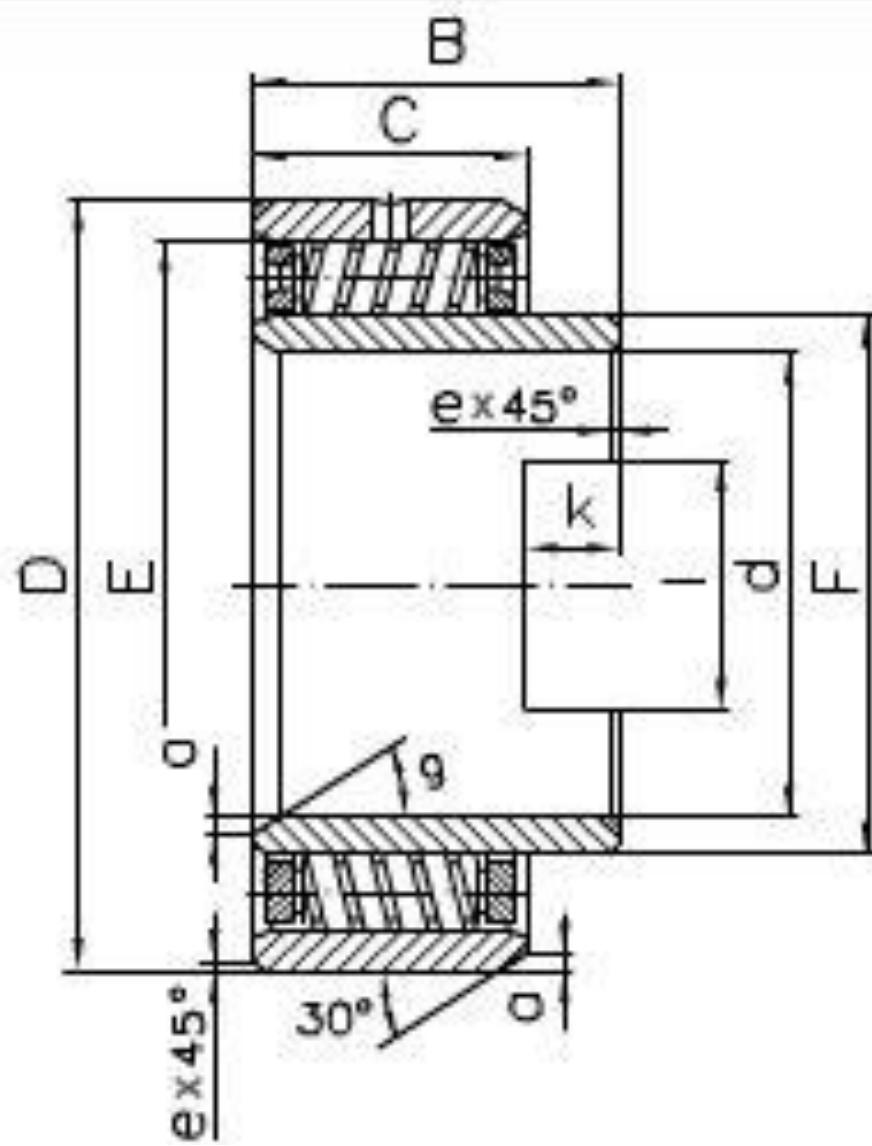


Роликовые подшипники с витыми роликами используются для комплектации узлов машин, в которых не требуется точность вращения.

Например: узлы вагонеток внутризаводского транспорта;
трансмиссионные валы оборудования металлургической промышленности;
узлы машин сельскохозяйственного назначения;
рольганги прокатных станов и др.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДШИПНИКОВ С ВИТЫМИ РОЛИКАМИ

Подшипники, имеющие витые ролики, воспринимают только радиальные нагрузки. Они не ограничивают осевое перемещение вала или корпуса. Такие подшипники способны также воспринимать ударные нагрузки и относительно малочувствительны к загрязнению.



Расчет подшипников качения по динамической грузоподъемности

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

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.

В стандартах для каждого конкретного подшипника указывается обычно базовая динамическая грузоподъёмность C и предельно допустимая статическая нагрузка C_0 . Под статической понимается нагрузка, действующая на подшипник при относительной частоте вращения колец до 10 оборотов в минуту.

Долговечность подшипника, его базовая динамическая грузоподъёмность и эквивалентная динамическая нагрузка связаны соотношением

$$L_{10} = \left(\frac{C}{R_E} \right)^p ; \quad L_{h10} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left(\frac{C}{R_E} \right)^p$$

где L_{10} в миллионах оборотов вращающегося кольца,
 L_{h10} в моточасах работы подшипника;
 n – частота вращения подвижного кольца, мин.⁻¹,
 p – показатель степени кривой усталости;
для шариковых подшипников $p = 3$,
для роликовых - $p = 10/3$.

В реальных механизмах действующие в подшипнике нагрузки часто одновременно имеют как радиальную, так и осевую составляющие, а испытания подшипников производятся, как правило, под действием однонаправленной нагрузки.

Эквивалентная динамическая нагрузка - постоянная однонаправленная нагрузка, при которой подшипник имеет такую же долговечность, как и в реальных условиях работы. Использование в расчётах эквивалентной нагрузки позволяет учесть не только характер и направление действующих сил, но и некоторые другие факторы, действующие на подшипниковый узел в реальных условиях его работы.

Эквивалентная нагрузка R_E подшипника качения может быть вычислена по выражению

$$R_E = (X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a) \cdot K_B \cdot K_T$$

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 - $V = 1,2$);

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

КТ – коэффициент, учитывающий влияние температуры подшипникового узла на долговечность подшипника.

При рабочей температуре подшипникового узла $t^\circ \leq 100^\circ \text{C}$, принимают $K_T = 1$,

а для температур $100 < t^\circ \leq 250^\circ \text{C}$ температурный коэффициент можно определить по эмпирической зависимости

$$K_T = 0,7891 \cdot \exp(t^\circ / 435)$$

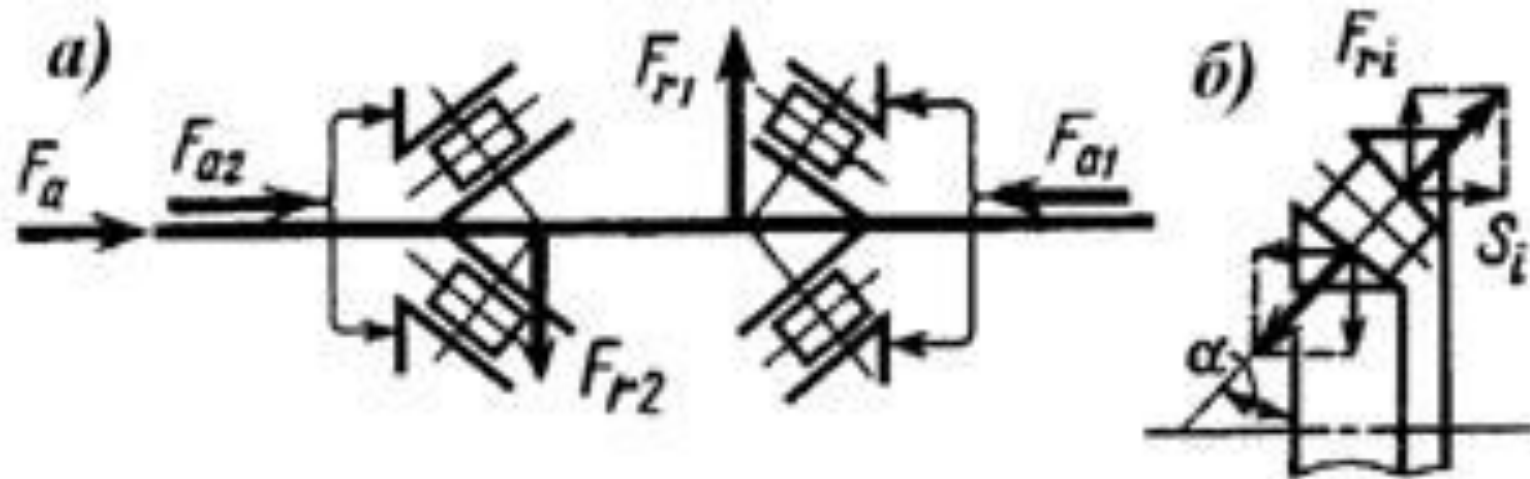
Для радиальных подшипников, неспособных воспринимать осевую нагрузку (например, для роликовых цилиндрических), $F_a = 0$ и $X = 1$; для упорных – $F_r = 0$ и $Y = 1$.

Для шариковых радиальных, шариковых и роликовых радиально-упорных (конических) подшипников в стандарте указывается величина «е», зависящая в основном от угла наклона беговой дорожки к оси вращения.

Если для внешних сил, действующих на подшипник, $F_a / V F_r \leq e$, то $X = 1$, а $Y = 0$.

В противном случае, когда $F_a / V F_r > e$, X и Y определяются по каталогу для данного типа подшипников.

Схема к определению сил, действующих на радиально-упорные подшипники



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 горизонтальной составляющей (рис.б, сила S_i). Для шариковых радиально-упорных подшипников эта сила $S_i = e \times F_{ri}$, а для роликовых конических - $S_i = 0,83 \times e \times F_{ri}$.

В этом случае осевые составляющие сил, действующих на каждый из подшипников вала, в существенной степени зависят от S_i . Так для расчётной схемы, представленной на рис.а, S_2 совпадает по направлению с внешней осевой нагрузкой F_a , действующей на вал, а S_1 направлена ей навстречу. Если при этом суммарная нагрузка $F_a + S_2 > S_1$, то $F_{a1} = F_a + S_2$, а $F_{a2} = S_2$; если же $F_a + S_2 < S_1$, то $F_{a1} = S_1$, а $F_{a2} = S_2 - F_a$.

Обычно в техническом задании на разработку механизма указывается и срок его работоспособности.

Принимая долговечность подшипника равной этому сроку (предпочтительный вариант) или при назначении замен подшипников в процессе эксплуатации (вариант с текущим ремонтом) некоторой части этого срока, нетрудно установить необходимую динамическую грузоподъёмность подшипника

$$C_{Tp} = R_E \cdot (60 \cdot n \cdot L_n \cdot 10^{-6})^{1/p}$$

где величина p в показателе степени у скобок зависит от типа подшипника (см. выше).

По известной требуемой величине грузоподъёмности подшипник может быть выбран из соответствующего каталога, при этом грузоподъёмность выбранного подшипника должна быть не меньше требуемой.

Способы установки подшипников на валы.
Подшипниковые узлы.

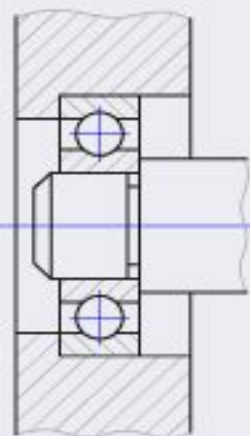




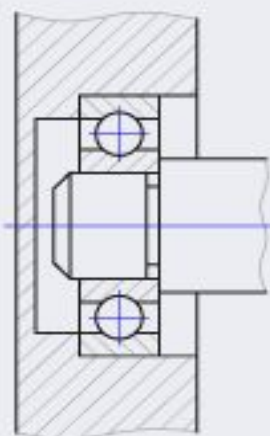


Способы крепления подшипников качения в корпусе

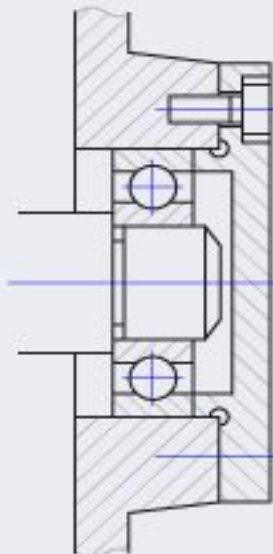
в заплечиках



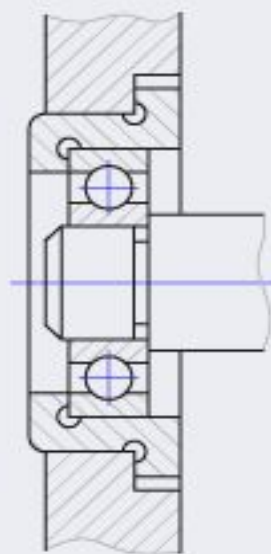
в расточке



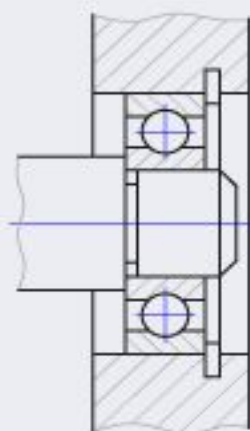
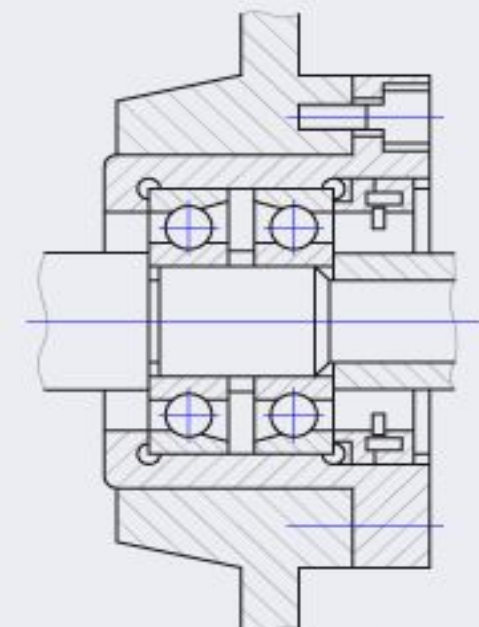
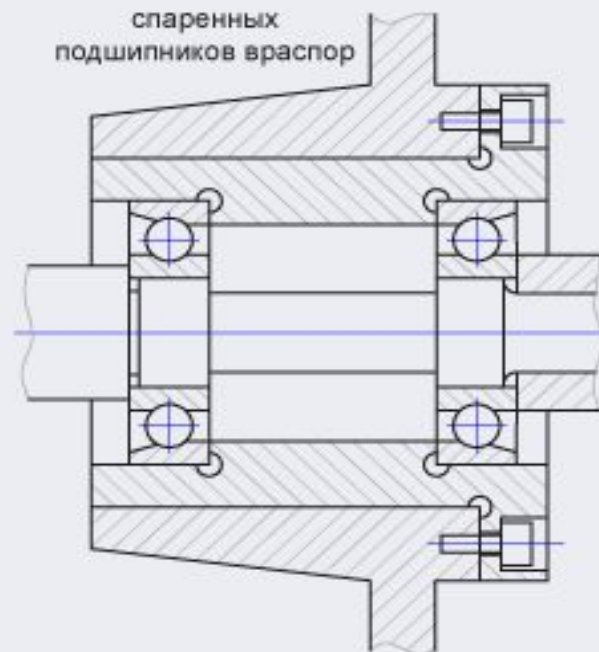
крышкой



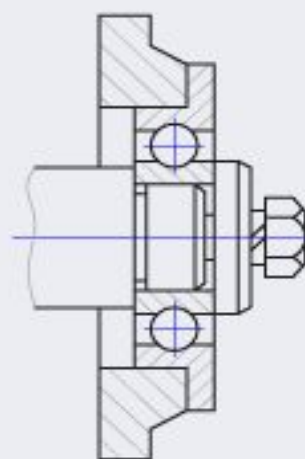
в стакане



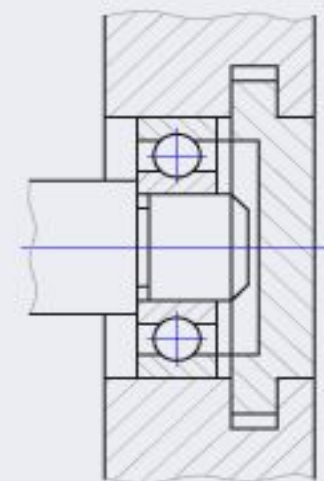
спаренных подшипников враспор



пружинным разрезным
кольцом



наличием заплечиков
у наружного кольца

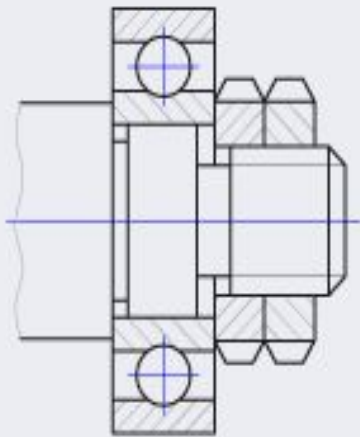


закладной
крышкой

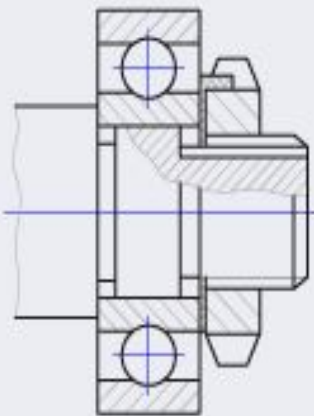
спаренных подшипников
враспор с выборкой люфта

Способы крепления подшипников качения на валу

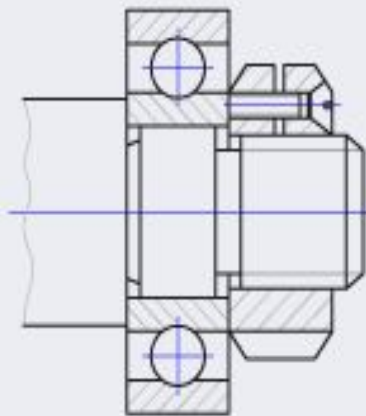
гайкой и
контргайкой



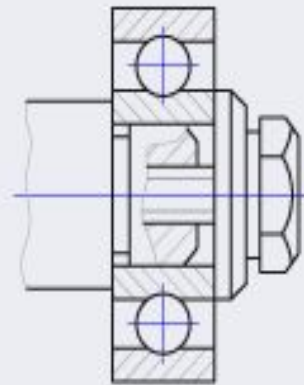
стопорной шайбой и
и шлицевой гайкой



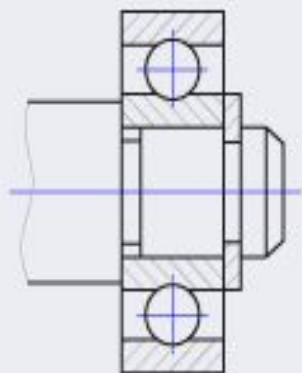
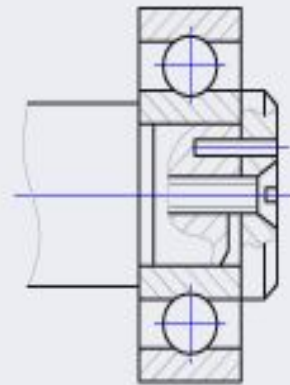
разрезной
деформируемой гайкой



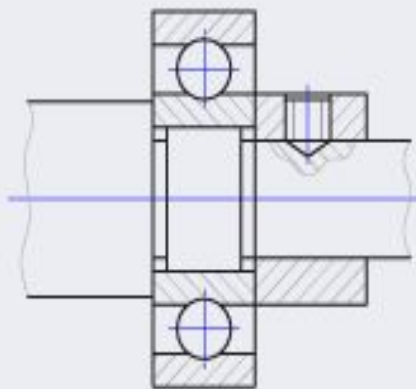
пружинной шайбой
и винтом



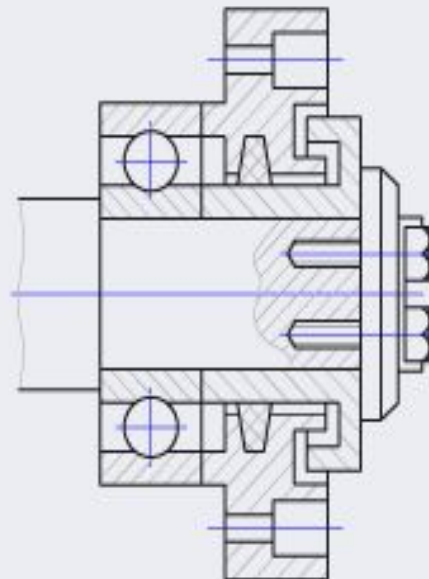
шайбой, винтом
и штифтом



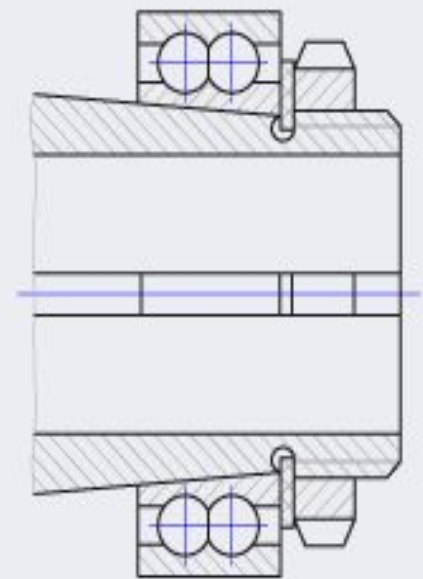
пружинным разрезным
кольцом



втулкой со стопорным
винтом



подвижной частью
лабиринтного уплотнения

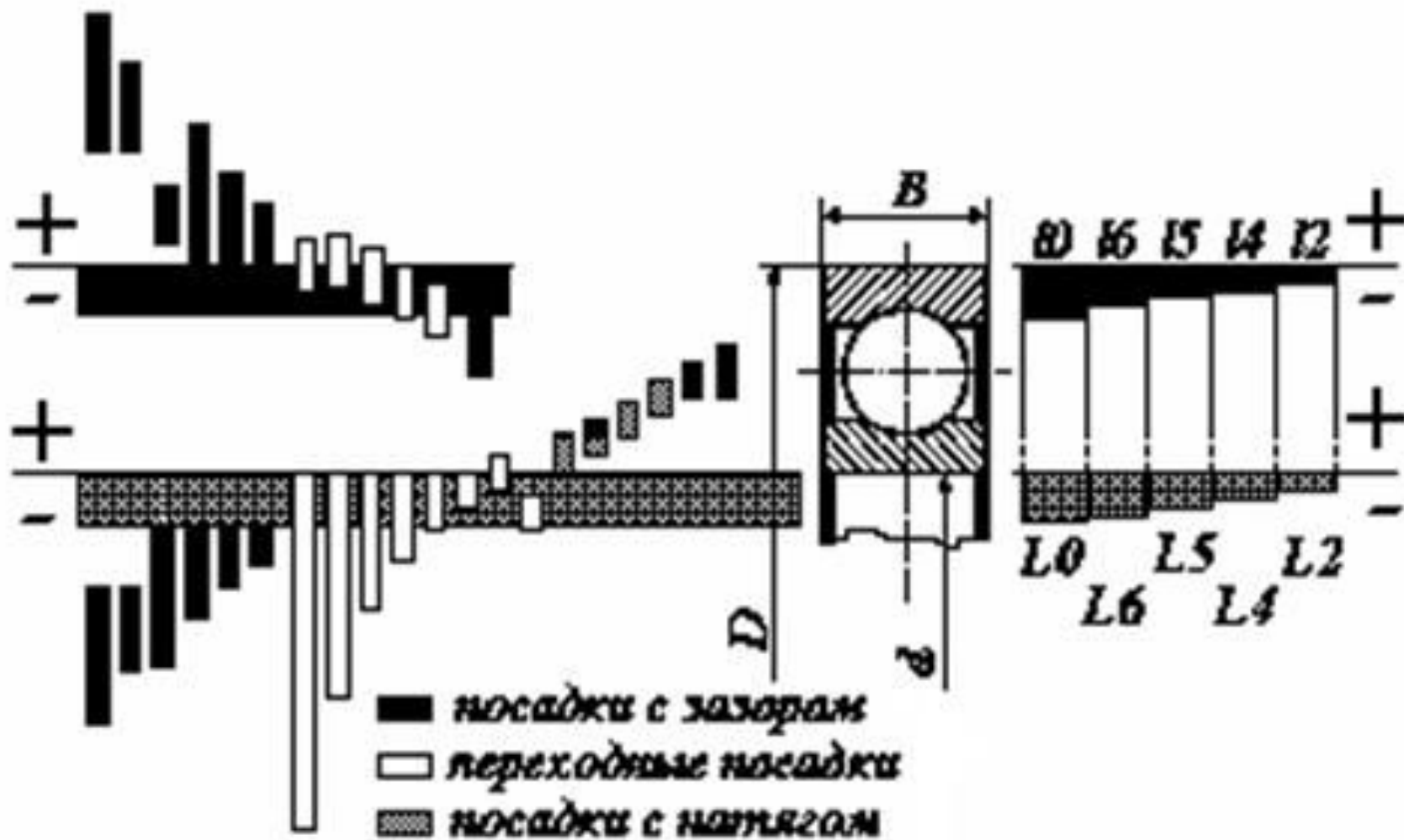


разрезной конусной
втулкой

Установка подшипников

Подшипники качения обладают полной взаимозаменяемостью. Присоединительными размерами этих подшипников являются наружный диаметр D , внутренний диаметр d и ширина кольца B . Допуски на изготовление посадочных поверхностей подшипника не совпадают с допусками по квалитетам, установленными для гладких поверхностей.

Схема расположения полей допусков для посадочных диаметров подшипника и сопрягаемых с ними поверхностей (вал и корпус)



Поля допусков посадочных поверхностей, сопрягаемых с подшипниками качения по ГОСТ 3325

Класс точности подшипни ка	Поля допусков посадочных поверхностей					
	отверстий корпусов для посадок			валов для посадок		
	с зазором	переходных	с натягом	с зазором	переходных	с натягом
0 и 6	(E9), E8, G7, (H9), H8, H7	Js7, (J7), K7, M7, N7	P7	(e9), e8, f8, f9, f7, f6	h11, (h10), h9, h8, h7, h6, js6, (j6), g6	r7, r6, p6, n6, m6, k6

При назначении посадок следует учитывать:

1. тип подшипника;
2. частоту вращения;
3. характер (постоянная или переменная по величине и направлению, спокойная или ударная) и величину нагрузки на подшипник;
4. жёсткость вала и корпуса;
5. характер температурных деформаций подшипникового узла (изменение плотности посадки при достижении рабочей температуры);
6. способ крепления подшипника (с затяжкой или без неё);
7. удобство монтажа и разборки подшипникового узла.

Посадки вращающихся колец с натягом предотвращают проворачивание колец на посадочных поверхностях, смятие и фрикционную коррозию этих поверхностей. Посадки невращающихся колец подшипников с минимальным зазором обеспечивают равномерность износа беговых дорожек на этих кольцах за счёт их чрезвычайно медленного проворачивания в сторону вращения подвижного кольца.

Вид смазывающего материала и способ его подачи к поверхностям трения зависит от условий работы подшипника (нагрузка, защищённость от действия неблагоприятных факторов внешней среды, возможность и периодичность обслуживания и т.п.) и скорости относительного движения подвижного и неподвижного колец подшипника, которую однозначно характеризует произведение внутреннего диаметра подшипника d_p на частоту вращения подвижного кольца n . В первом приближении характер смазки можно выбрать в соответствии с табл.

Таблица. Назначение смазки и, выбор уплотнительных элементов для разных условий работы подшипников

$d \cdot n$, $10^6 \text{ мм} \cdot \text{об/мин}$	Смазка	Уплотнение
$< 0,55$	Консистентная	Сальник, лабиринт
$< 0,60$	Жидкая погружением	Резиновая манжета, маслосгонная канавка
$< 0,75$	Жидкая фитильная и капельная – 5...10 капель в час.	
$< 1,70$	Жидкая масляным туманом	Металлические кольца, полиамидная манжета, центробежное уплотнение
$> 2,0$	Жидкая струйная под углом 15-20° к оси подшипника, охлаждение потоком масла	

В дальнейшем условия смазки подшипников согласуются с выбранной схемой смазывания агрегата, в котором эти подшипники установлены.

Спасибо за внимание