

Подшипники качения

Подшипник качения - часть опоры вала (или вращающейся оси), воспринимающая от него радиальные, осевые и радиально-осевые нагрузки, работающая в условиях преобладающего трения качения.

Попытки заменить трение скольжения трением качения были известны давно. Так, знаменитый русский механик Кулибин для опор осей построенной им "самокатки" в 1791 году применил цилиндры, явившиеся прототипом современных подшипников качения. Другим интересным примером применения трения качения является перемещение массивного гранитного камня для цоколя памятника Петру I в Петербурге в 1769 году. Этот камень массой около 1000 тонн доставлен к месту назначения на деревянных брусках с выдолбленными в них желобами, которые были обиты медными листами. На желоба укладывали большие бронзовые шары, а сверху на них надвигали такие же желобчатые бруска, на которых уже перемещался камень.

В настоящее время трудно назвать такую отрасль машино- и приборостроения, где бы ни применялись подшипники качения. Успешно осуществлен перевод на подшипники качения подвижного состава железных дорог, прокатных станков, тяжелых прессов, многих конструкций станков, мощных экскаваторов.

Изготовление подшипников качения в заводских условиях впервые было начато в 1933 году в Германии.

В настоящее время в России выпускаются подшипники качения с внутренним диаметром от долей миллиметра до 2475 мм и массой от долей грамма до 4 тонн.

Достоинства подшипников качения

1. Меньшие затраты энергии на трение (момент трения в шарикоподшипниках в 3-6 раз меньше, чем в подшипниках скольжения).
2. Меньше габаритные размеры (по ширине).
3. Меньший расход смазочных материалов.
4. Обладают лучшими конструктивными и эксплуатационными характеристиками.
5. Применение подшипников качения дает возможность повысить КПД всей машины, уменьшить нагрузку на двигатель в период пуска машины.
6. Эксплуатационные расходы на подшипники качения меньше на 20-30%, чем на подшипники скольжения.

Недостатки подшипников качения

1. Ограничение возможности работы при весьма больших нагрузках и частотах вращения.
2. Большие габаритные размеры по диаметру.
3. Неразъемность конструкции, что затрудняет монтаж и демонтаж машины.
4. Сравнительно высокая стоимость.
5. Возможность изготовления только на специализированных заводах с высоким техническим уровнем.

Подшипники качения представляют собой готовую сборочную единицу (узел), основными деталями которой являются тела качения - шарики или ролики различной формы, установленные между внутренним и наружным кольцами, и сепаратор, разделяющий тела качения. Внутреннее кольцо насаживается на вал, наружное устанавливается в корпусе опорного узла машины. На наружной поверхности внутреннего кольца и внутренней поверхности наружного кольца выполняются дорожки качения, геометрическая форма которых определяется формой тел качения.

Подшипники качения классифицируются по следующим основным признакам:

а) по направлению воспринимаемой нагрузки;



б) по форме тел качения

- в) по числу рядов тел качения - однорядные, двухрядные и многорядные;
- г) по способности самоустанавливаться - самоустанавливающиеся (сферические) и несамоустанавливающиеся;
- д) по габаритным размерам они делятся на пять серий:
 - 1) сверхлегкая;
 - 2) особо легкая;
 - 3) легкая;
 - 4) средняя;
 - 5) тяжелая.
- е) по ширине - особо узкие, узкие, нормальные, широкие и особо широкие.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Структура полного обозначения подшипника:

Стандартом установлены классы точности 0, 6, 5, 4, 2 (в порядке повышения точности), класс 0 не маркируется

Класс точности

Основное условное обозначение (в общем случае из семи цифр)

Другие конструктивные особенности (если имеются)

Серия по ширине

Серия по наружному диаметру

Конструктивные особенности

Характеризует тип подшипника

Обозначение	Тип
0	Шариковый радиальный однорядный
1	Шариковый радиальный двухрядный сферический
2	Роликовый радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами
3	Роликовый радиальный двухрядный сферический
4	Роликовый радиальный с длинными цилиндрическими роликами или иглами
5	Роликовый с витыми роликами
6	Шариковый радиально-упорный
7	Роликовый радиально-упорный
8	Шариковый упорный
9	Роликовый упорный

Характеризуют диаметр посадки подшипника на вал

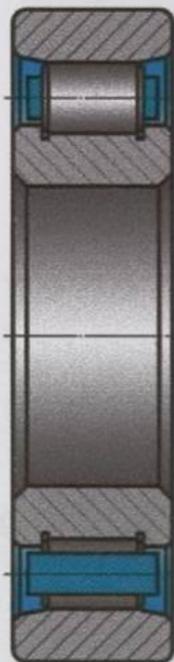
Обозначение	00	01	02	03	Частное от деления диаметра посадки на 5
Диаметр посадки, мм	10	12	15	17	$15 \leq d \leq 495$

Незначащие нули слева в основном условном обозначении подшипника не указываются

КОНСТРУКЦИИ РОЛИКОПОДШИПНИКОВ

Подшипники радиальные с короткими цилиндрическими роликами

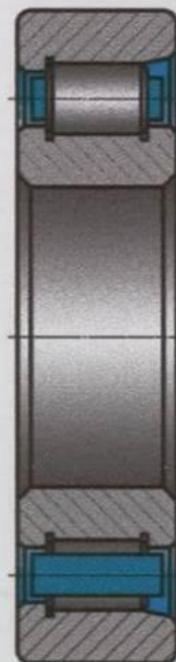
Тип 2000
без бортов на
наружном кольце



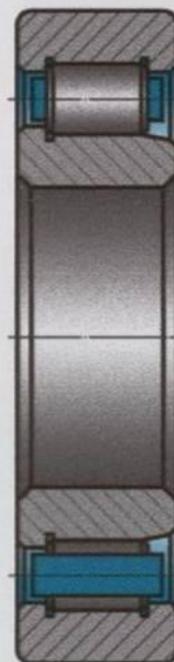
Тип 32000
без бортов на
внутреннем кольце



Тип 12000
с одним бортом на
наружном кольце



Тип 42000
с одним бортом на
внутреннем кольце



КОНСТРУКЦИИ РОЛИКОПОДШИПНИКОВ

Радиальный
двухрядный
сферический

Тип 3000



Радиальный
с витыми роликами

Тип 5000



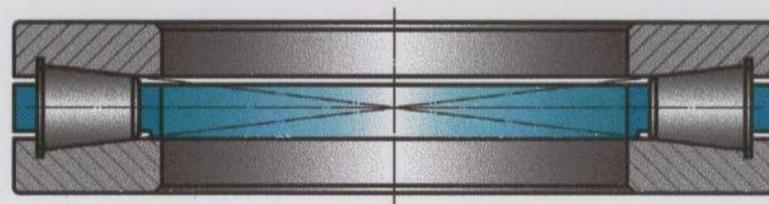
Радиально-упорный

Тип 7000



Упорный с коническими роликами

Тип 9000



Грузоподъемность роликоподшипников при тех же габаритных размерах выше, чем шарикоподшипников, однако потери на трение в роликоподшипниках больше, чем в шариковых: значение коэффициента трения для шарикоподшипников $f=0,001...0,004$, для роликоподшипников $f=0,0025...0,01$. Роликоподшипники более чувствительны к перекосу валов.

Подшипники с витыми роликами хорошо противостоят ударным радиальным нагрузкам и менее чувствительны к перекосам, чем подшипники с длинными цилиндрическими роликами. Они удовлетворительно работают в условиях необеспеченной смазки и абразивной среды.

Игольчатые подшипники предназначены для восприятия больших радиальных нагрузок в опорах, размеры которых ограничены по диаметру. Тела качения игольчатых подшипников представляют собой длинные ролики диаметром не свыше 5 мм и длиной от 4 до 12 диаметров. В подшипниках они укладываются без сепараторов, почти вплотную друг к другу. Могут работать как при малых, так и при больших частотах вращения.

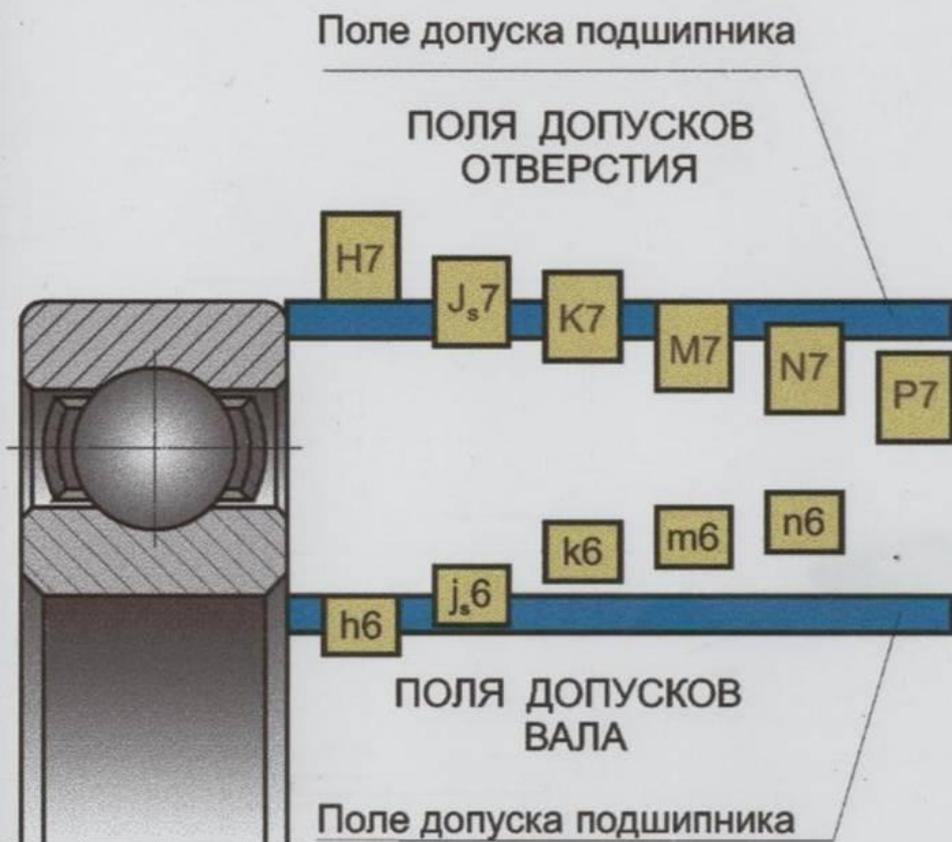
Радиальные подшипники качения предназначены для восприятия главным образом радиальных нагрузок. Однорядные радиальные шарикоподшипники кроме радиальной нагрузки могут воспринимать осевую нагрузку в пределах до 60 % от неиспользованной радиальной.

Радиально-упорные шарико- и роликоподшипники предназначаются для восприятия одновременно действующих радиальных и осевых и осевых нагрузок одного направления. Эти подшипники могут воспринимать только осевые нагрузки.

Упорные шарико- и роликоподшипники служат для восприятия осевой нагрузки: однорядные - одностороннего действия, двухрядные - двухстороннего действия. Упорные шарикоподшипники при больших частотах вращения работают неудовлетворительно вследствие неблагоприятного влияния центробежных сил, действующих на шарики. Они весьма чувствительны к несоосности и относительному перекосу осей вращающегося и неподвижного колец.

Подшипниковые кольца и тела качения изготавливают из высококачественных сталей марок **ШХ 15, ШХ 15 СГ**, а также специальных сталей марок **9Х18Ш, ЭН347Ш, Н36ХТЮ**. Для уменьшения трения и износа тела качения и поверхность беговой дорожки колец должны обладать большой твердостью (**НRC 61-65**).

ПОСАДКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

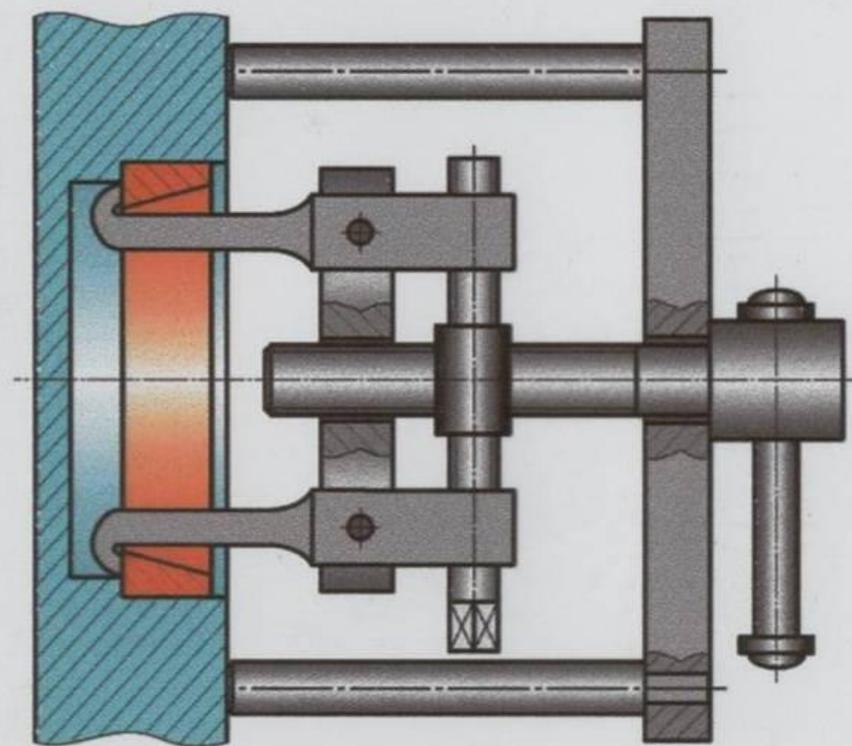
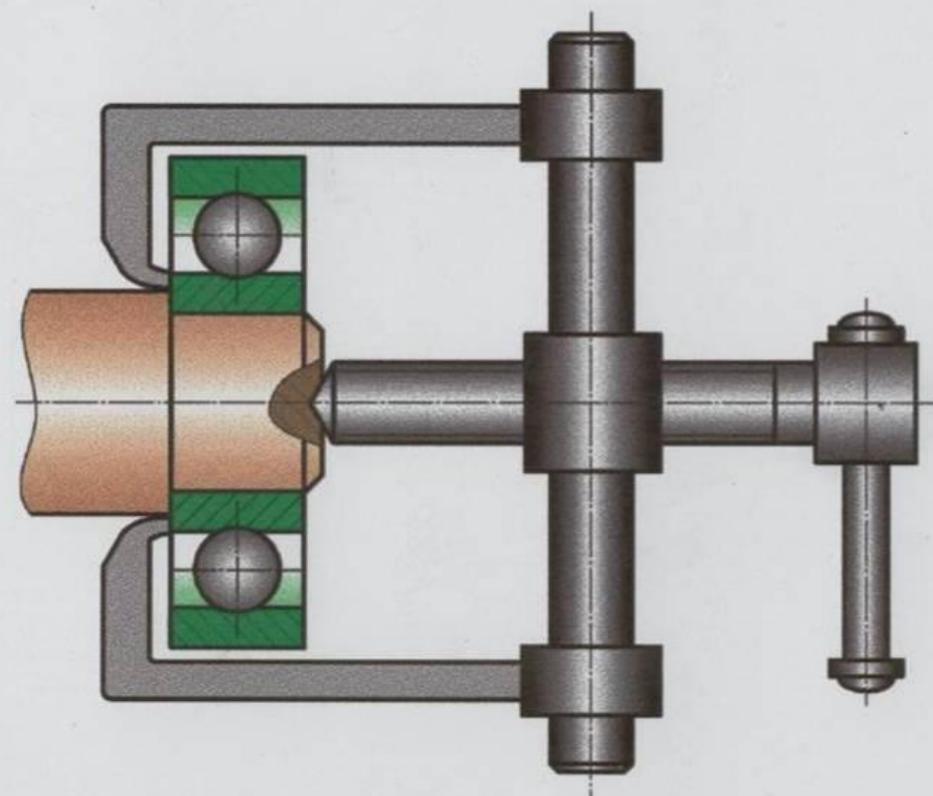


Условия нагружения внутреннего кольца	Поле допусков		Условия работы
	вала	отверстия	
Циркуляционное (вращается вал)	js6	H7	Регулировка перемещением внутреннего кольца
	k6	H7	Средние нагрузки. Основная посадка в общем машиностроении
	m6	Js7	Тяжелые нагрузки
	n6	K7	Особо тяжелые и ударные нагрузки
Местное (вращается корпус)	h6	K7	Большие частоты вращения
	h6	M7	Средние нагрузки
	h6	N7	Тяжелые нагрузки
	n6	P7	Особо тяжелые и ударные нагрузки

ДЕМОНТАЖ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

С вала

Из корпуса

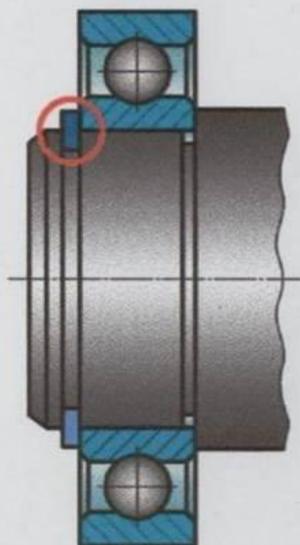


КРЕПЛЕНИЕ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ НА ВАЛАХ

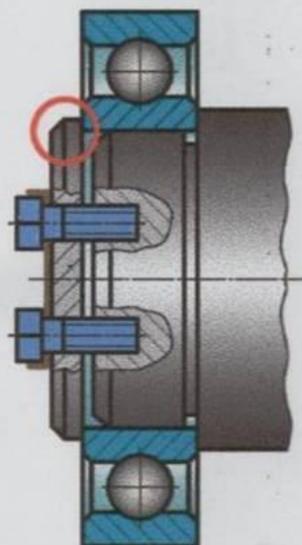
Посадка с натягом
до упора в запечик



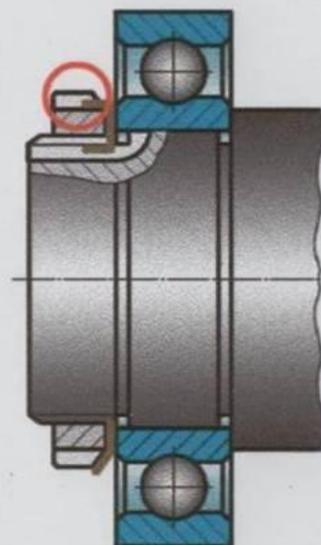
Пружинным
кольцом



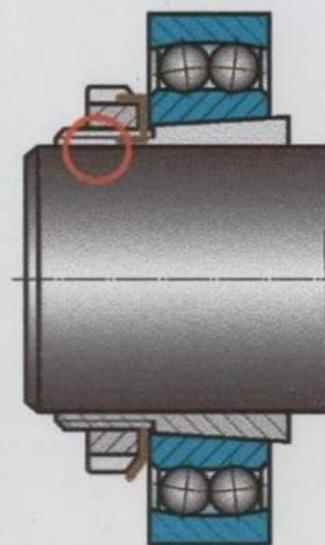
Торцевой
шайбой



Гайкой

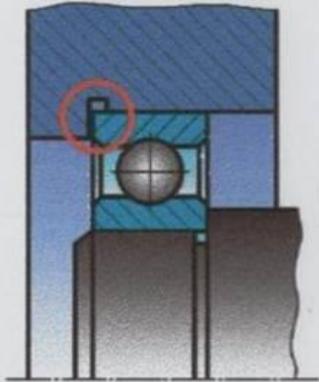


Конической
разрезной втулкой

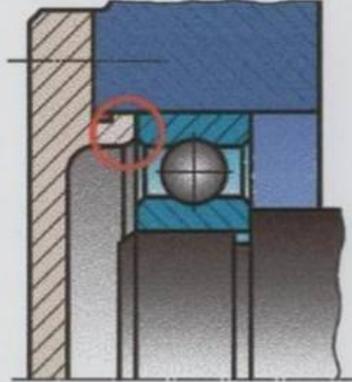


КРЕПЛЕНИЕ НАРУЖНЫХ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ В КОРПУСЕ

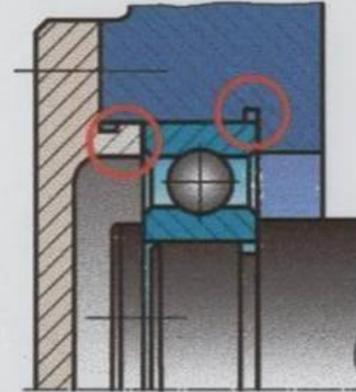
Запечиками



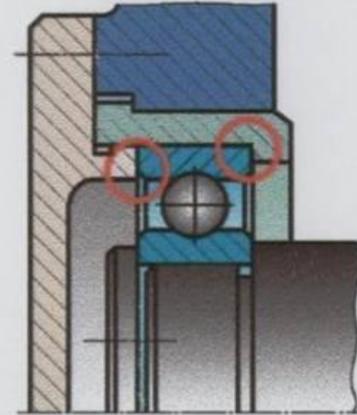
Торцовой крышкой



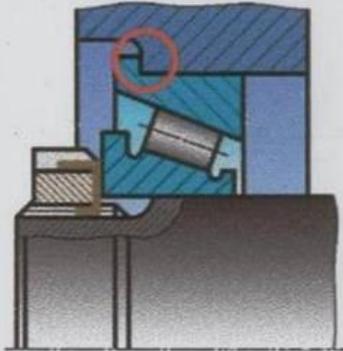
Крышкой и запечиками



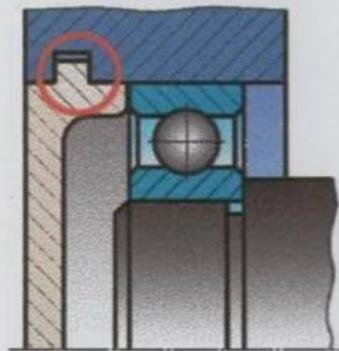
Стаканом и крышкой



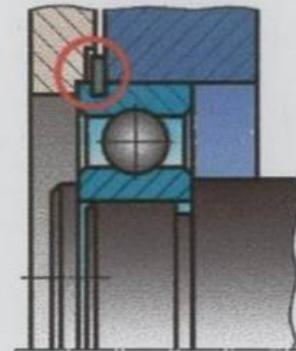
Упорным бортом подшипника



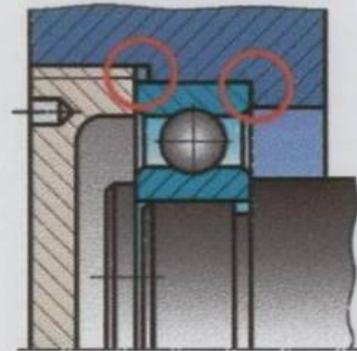
Врезной крышкой



Пружинным кольцом



Гайкой и запечиками



СПОСОБЫ ФИКСИРОВАНИЯ ВАЛОВ В КОРПУСЕ

Конструкции при большом расстоянии между опорами

Конструкции при малом расстоянии между опорами

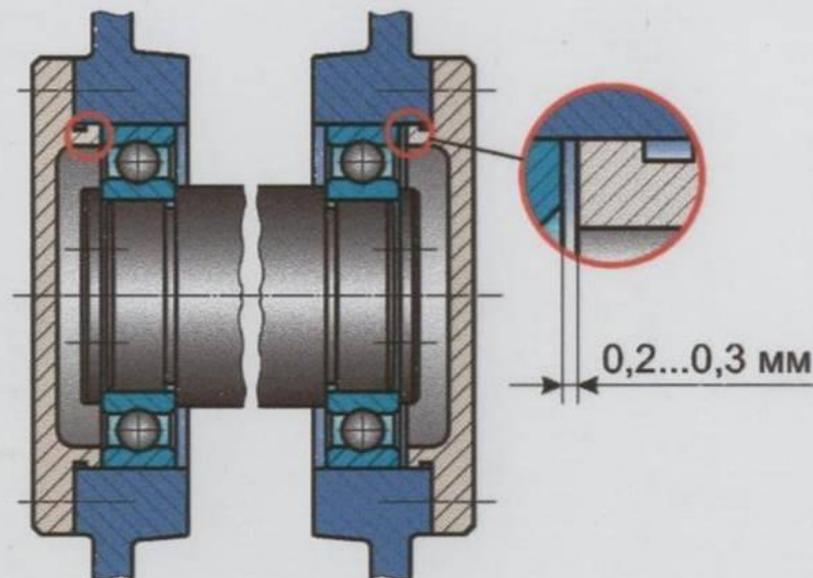
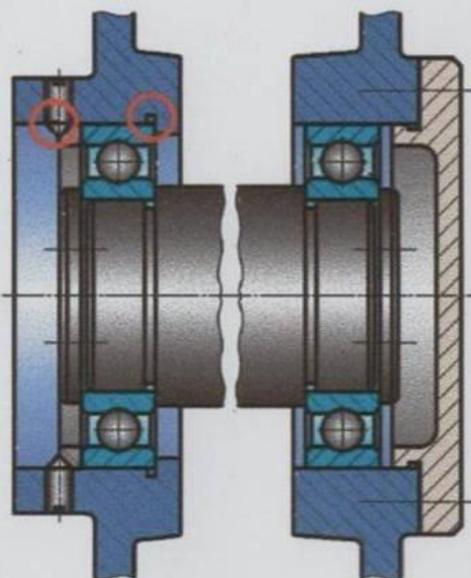
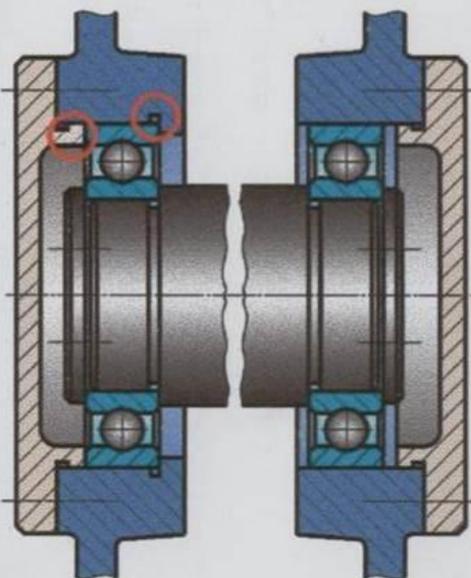
Левая опора - фиксирующая, правая - плавающая

Обе опоры - фиксирующие

фиксирование
крышкой и заплечиком

фиксирование
винтом и заплечиком

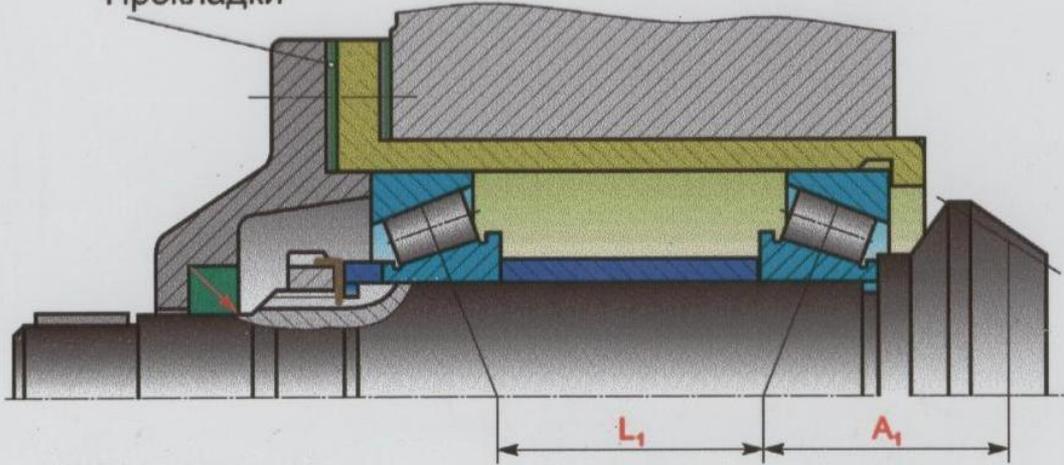
фиксирование крышками



СХЕМЫ УСТАНОВКИ РАДИАЛЬНО-УПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ

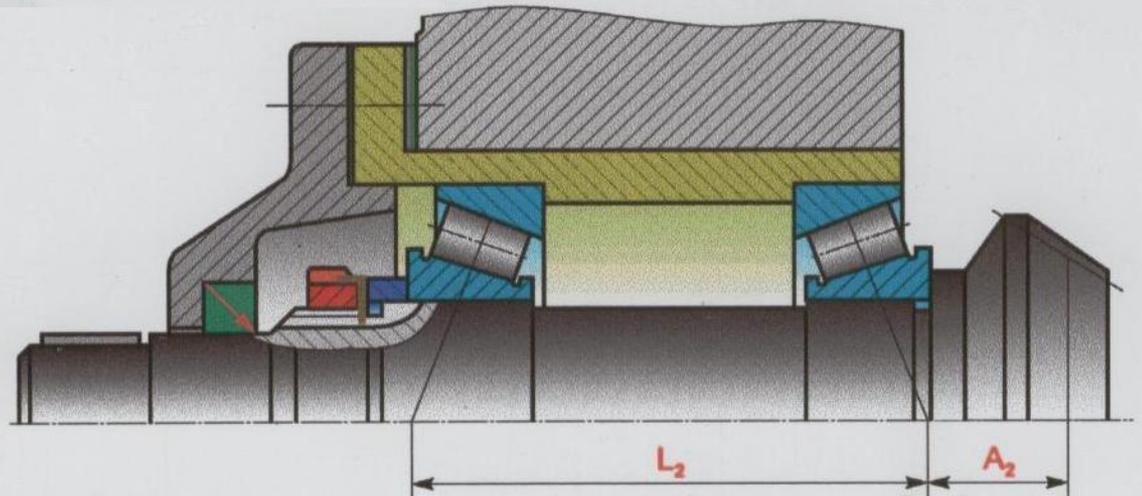
Враспор

Прокладки



Регулировка подшипников осуществляется подбором металлических прокладок между крышкой подшипника и стаканом

Врастяжку



Регулировка подшипников осуществляется перемещением внутреннего кольца одного из подшипников посредством гайки

СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАДИАЛЬНО-УПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ

Осевым перемещением наружного кольца

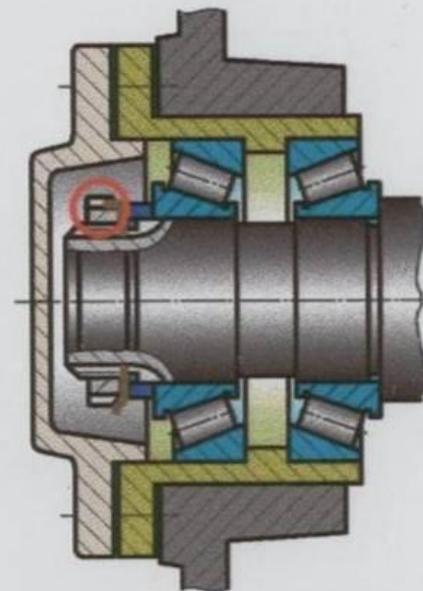
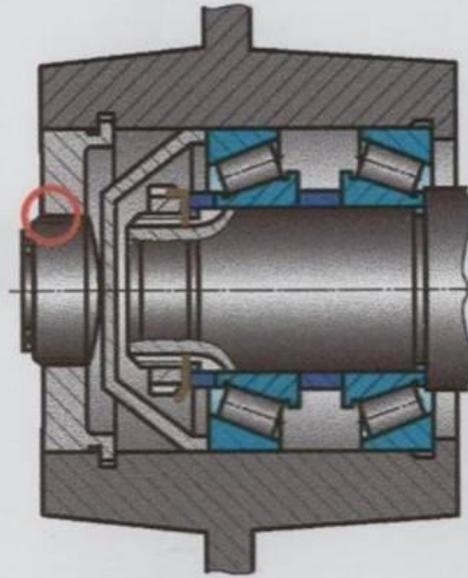
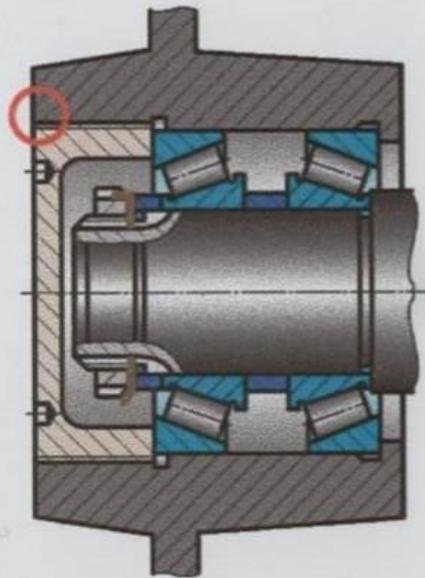
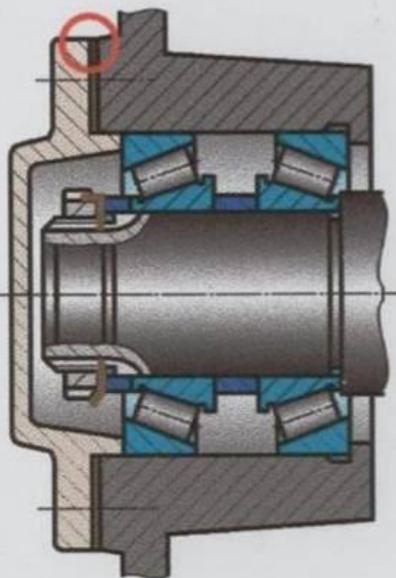
Осевым перемещением
внутреннего кольца

Набором
металлических
прокладок

Винтом,
вворачиваемым
в корпус

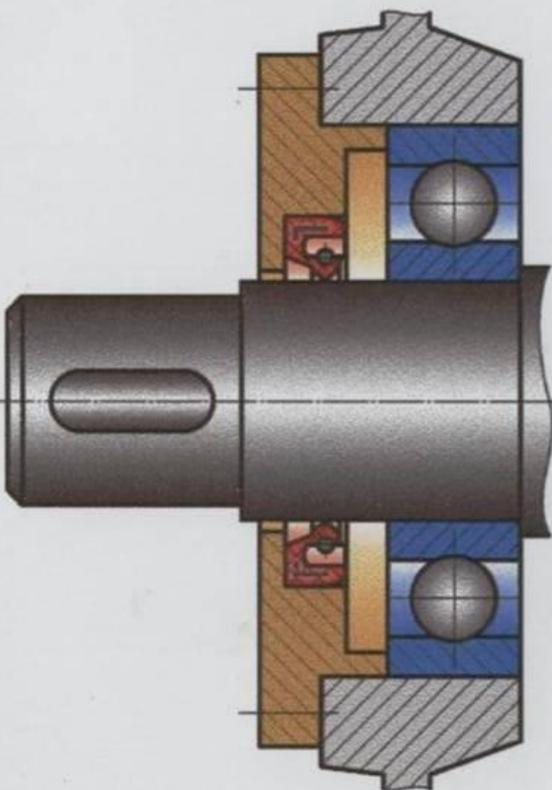
Винтом,
вворачиваемым
в крышку

Гайкой

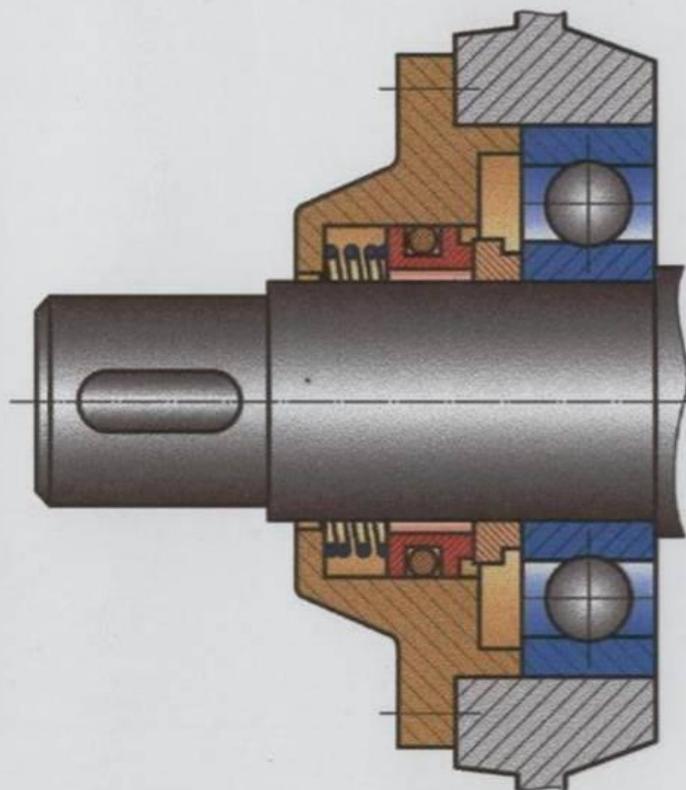


КОНТАКТНЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

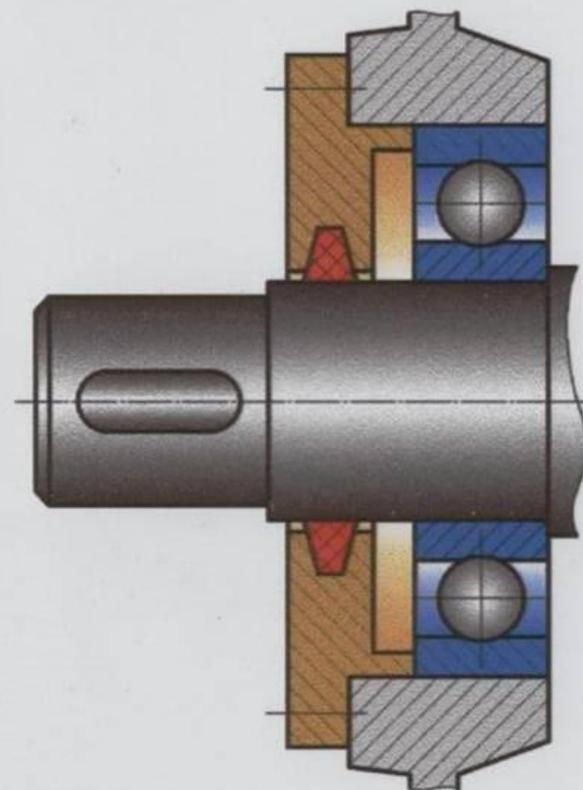
Манжетное



Торцовое

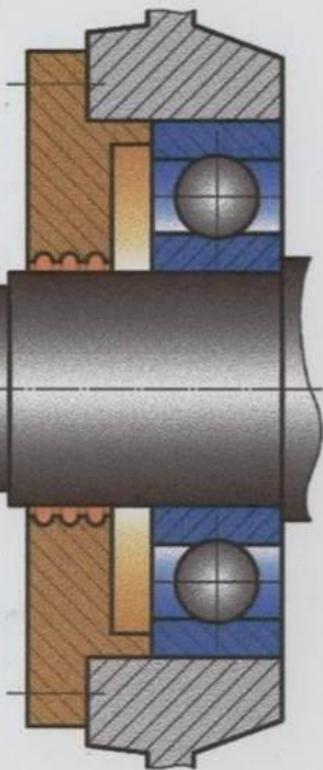


Сальниковое



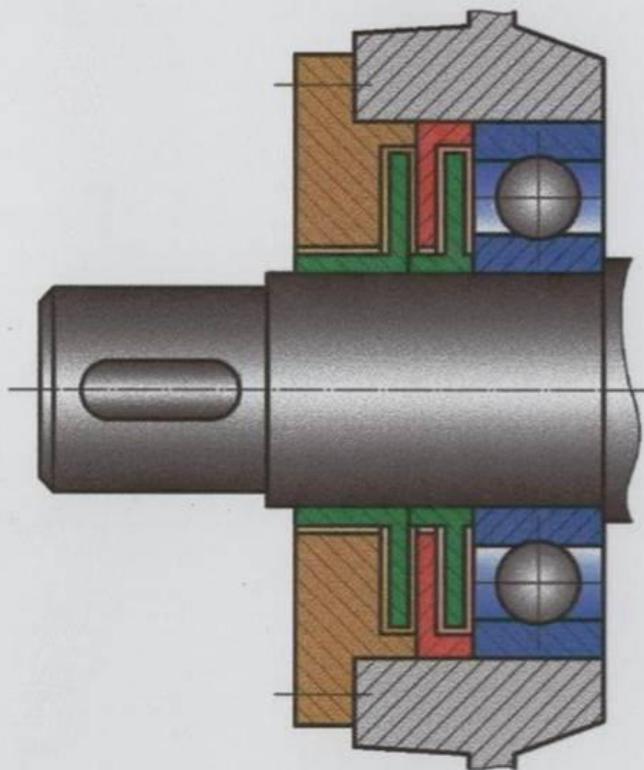
БЕСКОНТАКТНЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

Щелевое

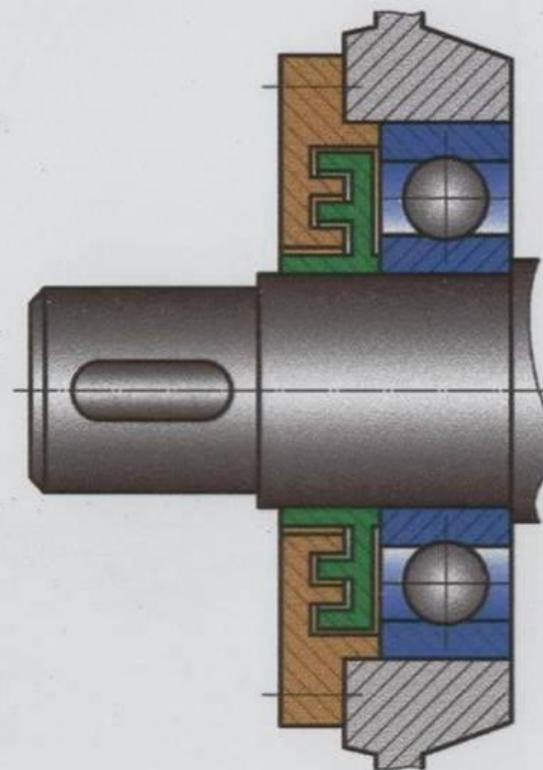


Лабиринтные

осевое



радиальное

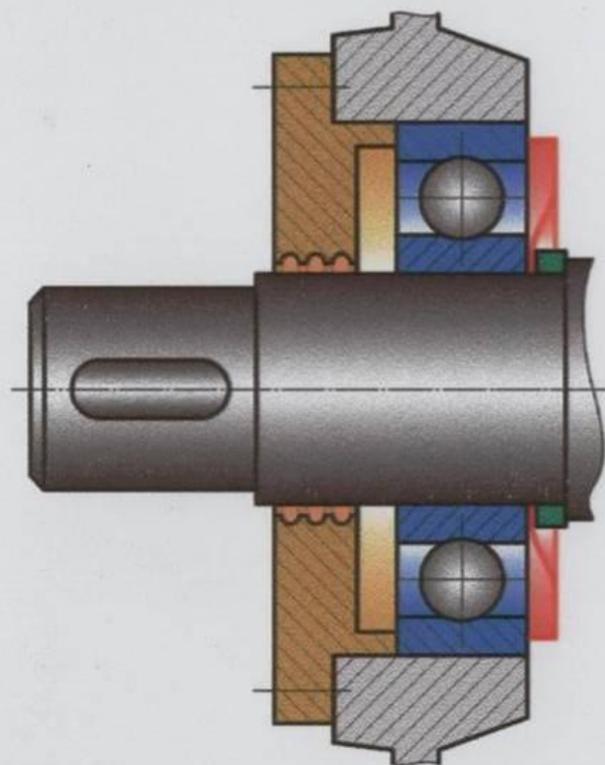
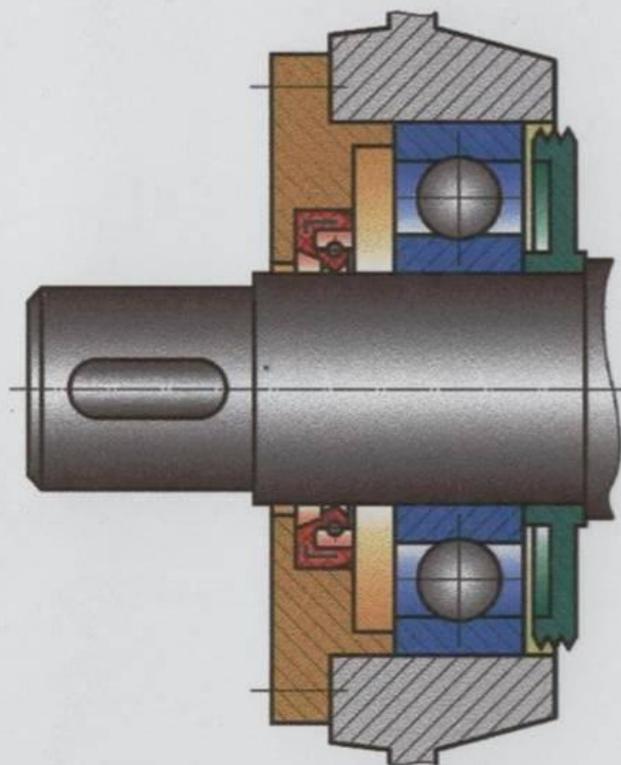
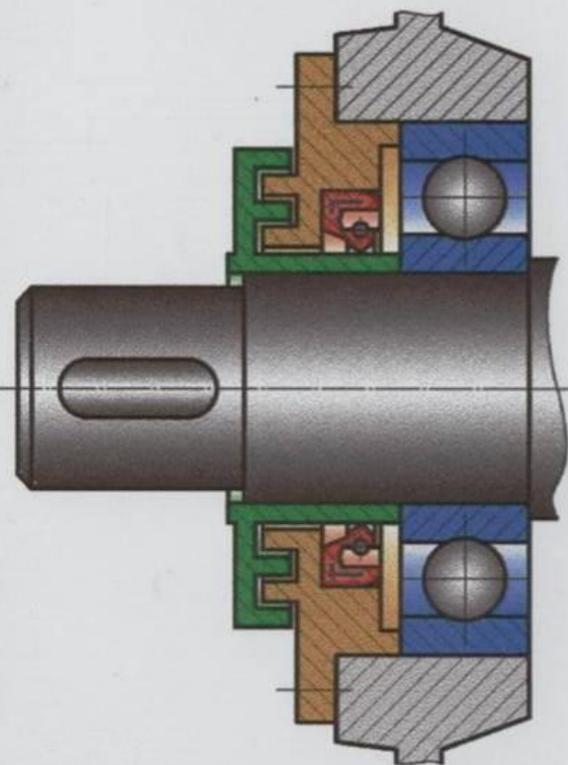


КОМБИНИРОВАННЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

Манжетное с лабиринтным

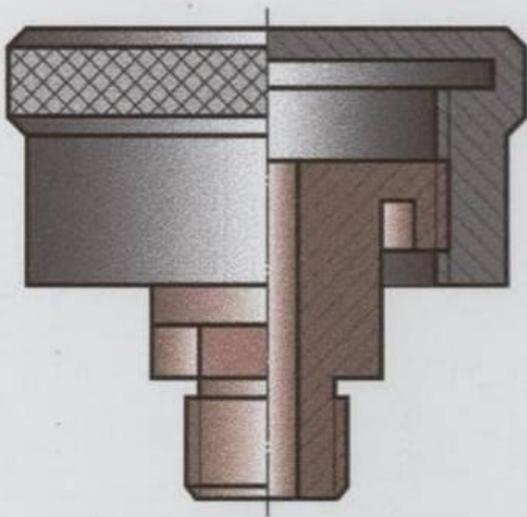
Манжетное с маслосбрасывающим кольцом

Щелевое с упругой шайбой



ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ МАСЛЕНКИ ДЛЯ ПЛАСТИЧНОЙ СМАЗКИ

Колпачковая

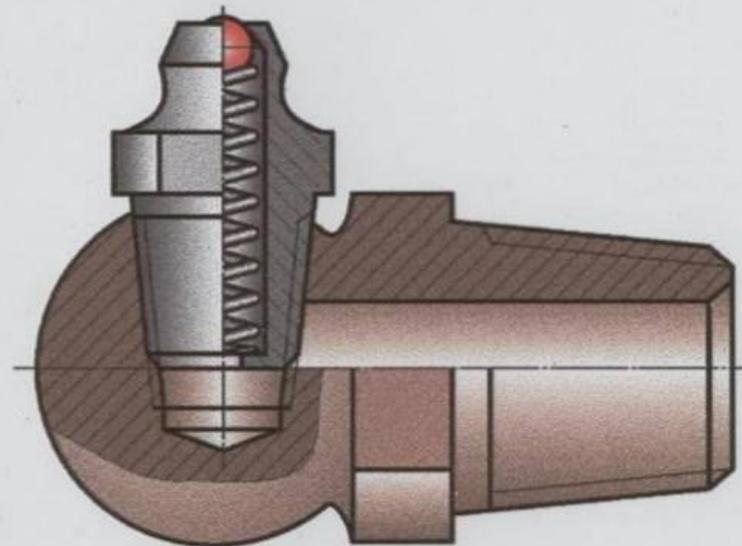


Пресс-масленки

прямая

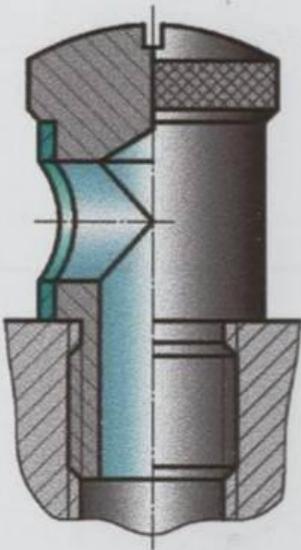


с переходным штуцером

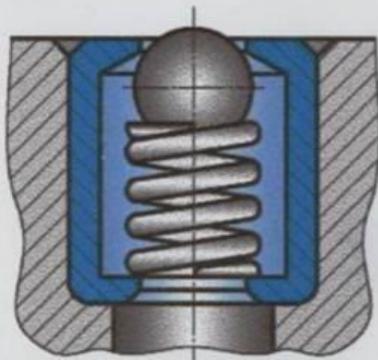


ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ МАСЛЕНКИ ДЛЯ ЖИДКОЙ СМАЗКИ

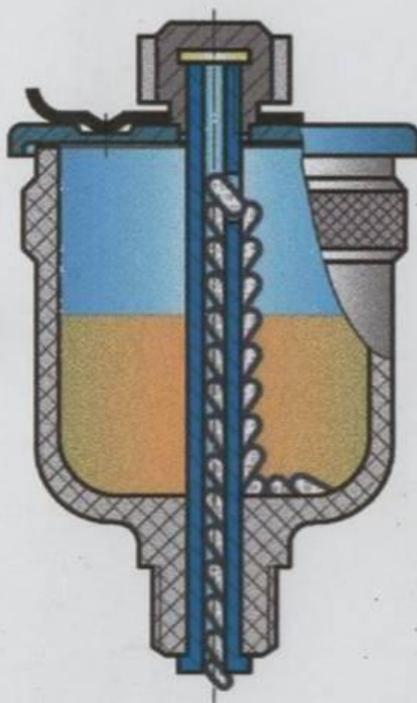
С поворотной крышкой



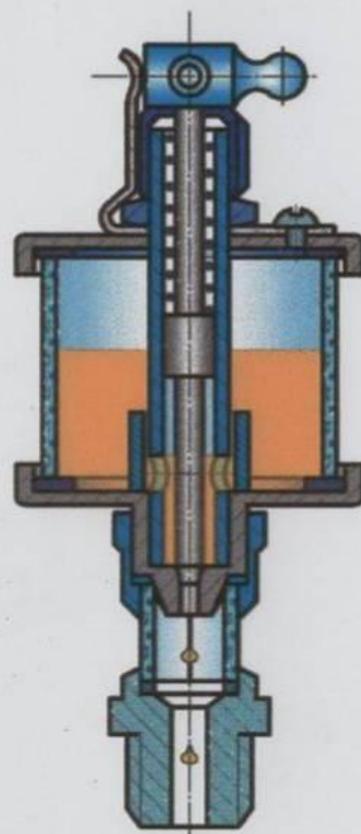
Шариковая



Фитильная

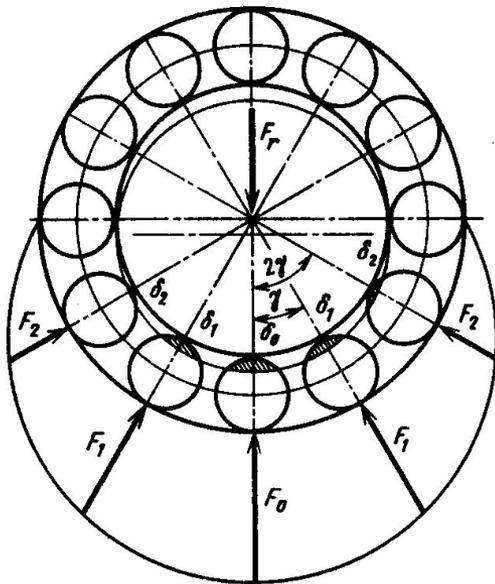


Капельная с иглой



Расчет подшипников качения

Нагрузка на тела качения (шарики или ролики) в подшипниках распределяются неравномерно и зависит от угла между радиусом подшипника, проходящим через центр шарика (ролика), и направлением нагрузки.



$$P_n = P_0 \cdot \cos^{3/2} n\alpha$$

- P_n - нагрузка на тело качения;
- P_0 - максимальная нагрузка на тело качения, находящееся на линии действия силы;
- n - порядковый номер шарика (ролика), отсчитываемый от наиболее нагруженного;
- α - центральный угол между центрами двух соседних шариков;
- Z - число шариков (роликов).

Согласно этому выражению свыше 50% всей нагрузки на подшипниках воспринимает один шарик, расположенный на линии действия нагрузки.

Основными причинами потери работоспособности подшипников качения являются:

1. усталостное выкрашивание тел качения и беговых дорожек колец;
2. абразивный износ вследствие плохой защиты подшипника от попадания пыли и грязи;
3. Пластические деформации на дорожках качения из-за ударных нагрузок;
4. Разрушение сепараторов от действия центробежных сил инерции и истирания;
5. Раскалывание колец и тел качения из-за перекосов при монтаже или при больших динамических нагрузках.

В связи с тем, что перечисленные факторы не поддаются точному учету, расчет подшипников качения производится на долговечность по динамической (при $n > 10$ об/мин) и статической нагрузке (при $n \leq 1$ об/мин).

Динамическая грузоподъемность подшипников устанавливается из условия контактной выносливости таким образом, чтобы 90% подшипников выдержали не менее миллиона оборотов. Критерием для выбора подшипника служит неравенство:

$$C_{TR} \leq C$$

C_{TR} – требуемая величина динамической грузоподъемности подшипника;

C – табличное значение динамической грузоподъемности.

Требуемая величина динамической грузоподъемности подшипника определяется по одной из формул:

$$C_{TP} = P(L)^{1/p} \quad \text{или} \quad C_{TP} = P(60nL_h / 10^6)^{1/p}$$

P – эквивалентная динамическая нагрузка подшипника;

L – долговечность подшипника в миллиогах оборотов;

L_h – долговечность подшипника в часах;

p – коэффициент, зависящий от формы кривой контактной усталости: для шарикоподшипников **$p=3$** ; для роликоподшипников **$p=10/3$** ;

n – частота вращения кольца вала.

При постоянной частоте вращения между L и L_h существует простая зависимость:

$$L = (C / P)^p$$

или

$$L_h = 10^6 / 60n \cdot (C / P)^p = 10^6 L / 60n$$

$$L = 60n / 10^6 \cdot L_h$$

или

$$L_h = 10^6 / 60n \cdot (C / P)^p$$

Эквивалентная динамическая нагрузка P для радиальных и радиально-упорных подшипников (кроме роликовых радиальных) определяется по формуле:

$$P = (x \cdot V \cdot F_r \cdot Y \cdot F_a) \cdot K_b \cdot K_t$$

F_r, F_a радиальная и осевая нагрузка на подшипнике;

X, Y коэффициент радиальной и осевой нагрузки;

V кинематический коэффициент (коэффициент вращения) (Если вращается внутреннее кольцо $V = 1,0$, если оно вращается по отношению к нагрузке $V = 1,2$);

K_b коэффициент безопасности (динамичности);

K_t температурный коэффициент.

Значение коэффициента безопасности K_{σ} выбирается по таблице в зависимости от характера нагрузки на подшипник. Для зубчатых передач 7ой и 8ой степеней точности для всех редукторов: $K_{\sigma} = 1,3 \div 1,5$.

Температурный коэффициент выбирается в зависимости от рабочей температуры подшипника:

$t, ^{\circ}\text{C}$	100	125	150	175	200	250
K_t	1.0	1.05	1.10	1.15	1.25	1.4

Значения коэффициентов X и Y определяются в зависимости от отношения осевой нагрузки F_a к статической грузоподъемности подшипника C_0 с учетом угла контакта α_0 параметра e , который берется из таблицы, либо определяется по графику $e = f(R / C_0)$ при углах контакта от **120** до **180**,

где

C_0 — статическая грузоподъемность, статическая радиальная нагрузка, от действия которой возникает общая остаточная деформация тел качения и колец, не превышающая **0,0001** диаметр тела качения. C_0 выбирается по таблицам для каждого типа размера подшипника.

При отношении $F_a / VF_r < e$ для радиальных и радиально-упорных подшипников $X = 1$, а Y выбирается в зависимости от e .

При $F_a / VF_r > e$, величина X зависит от угла контакта α , а Y от F_a / C_0 .

Таблица для выбора коэффициентов X и Y

Пример расчета шарикового радиального подшипника

Пример расчета шарикового радиально-упорного подшипника

Пример расчета роликового радиально-упорного подшипника