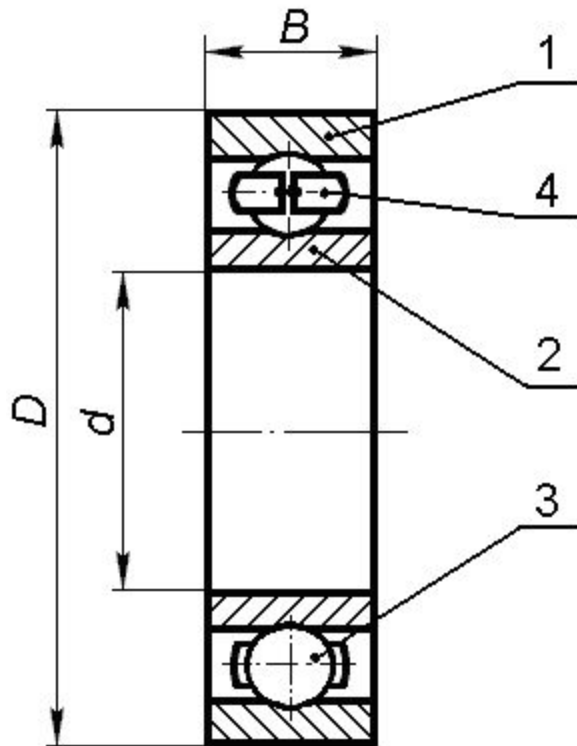


ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ



- 1 – наружное кольцо;
- 2 – внутренне кольцо;
- 3 – тело качения (шарики или ролики);
- 4 – сепаратор.

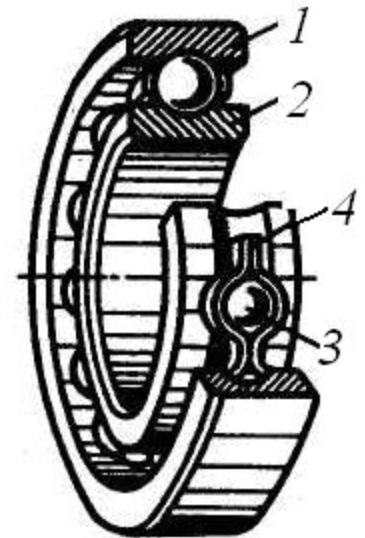


Рисунок 1 – Шариковый радиальный подшипник

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Подшипники качения предназначены поддерживать вращающиеся валы и оси в пространстве, обеспечивая им возможность свободного вращения или качения, и воспринимать действующие на них нагрузки. Кроме осей и валов подшипники качения могут поддерживать детали, вращающиеся вокруг неподвижных осей, например, блоки, шкивы и др.

Подшипники качения стандартизованы и выпускаются промышленностью в массовых количествах в большом диапазоне типоразмеров с наружным диаметром от 1 мм до 5м и с диаметром шариков от 0,35 мм до 203 мм, и массой от долей грамма до нескольких тонн.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

По сравнению с подшипниками скольжения, подшипники качения имеют следующие *достоинства*:

- а) меньшие моменты сил трения;
- б) малая зависимость моментов сил трения от скорости;
- в) небольшой нагрев;
- г) незначительный расход смазки;
- д) малую ширину;
- е) значительно меньший расход цветных металлов;
- ж) менее высокие требования к материалу и к термической обработке валов;
- з) значительно меньшие пусковые моменты.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

К недостаткам подшипников качения относятся:

- а) чувствительность к ударным нагрузкам;
- б) относительно большие радиальные размеры;
- в) высокие контактные напряжения и поэтому ограниченный срок службы;
- г) меньшая способность демпфировать колебания.

ГОСТ устанавливает для подшипников качения следующие классы точности (в порядке повышения точности): 0; 6; 5; 4 и 2. Нормальный класс точности обозначается цифрой 0, сверхвысокий класс точности обозначается 2.

В общем машиностроении обычно применяют подшипники класса точности 0.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Классификация подшипников качения

Подшипники качения по виду воспринимаемой нагрузки делятся на:

- радиальные;
- радиально-упорные;
- упорно-радиальные;
- упорные.

В зависимости от формы тел качения подшипники делятся на:

- шариковые;
- роликовые.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Классификация подшипников качения

Ролики бывают:

- цилиндрические короткие,
- длинные,
- витые,
- конические,
- бочкообразные,
- игольчатые.

По числу рядов тел качения подшипники различают однорядные, двухрядные, трехрядные и четырехрядные.



ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

По способу самоустановки подшипники качения подразделяются на:

- несамонастраиваемые;
- самонастраиваемые (сферические).

По грузоподъемности подшипники качения подразделяются на различные серии:

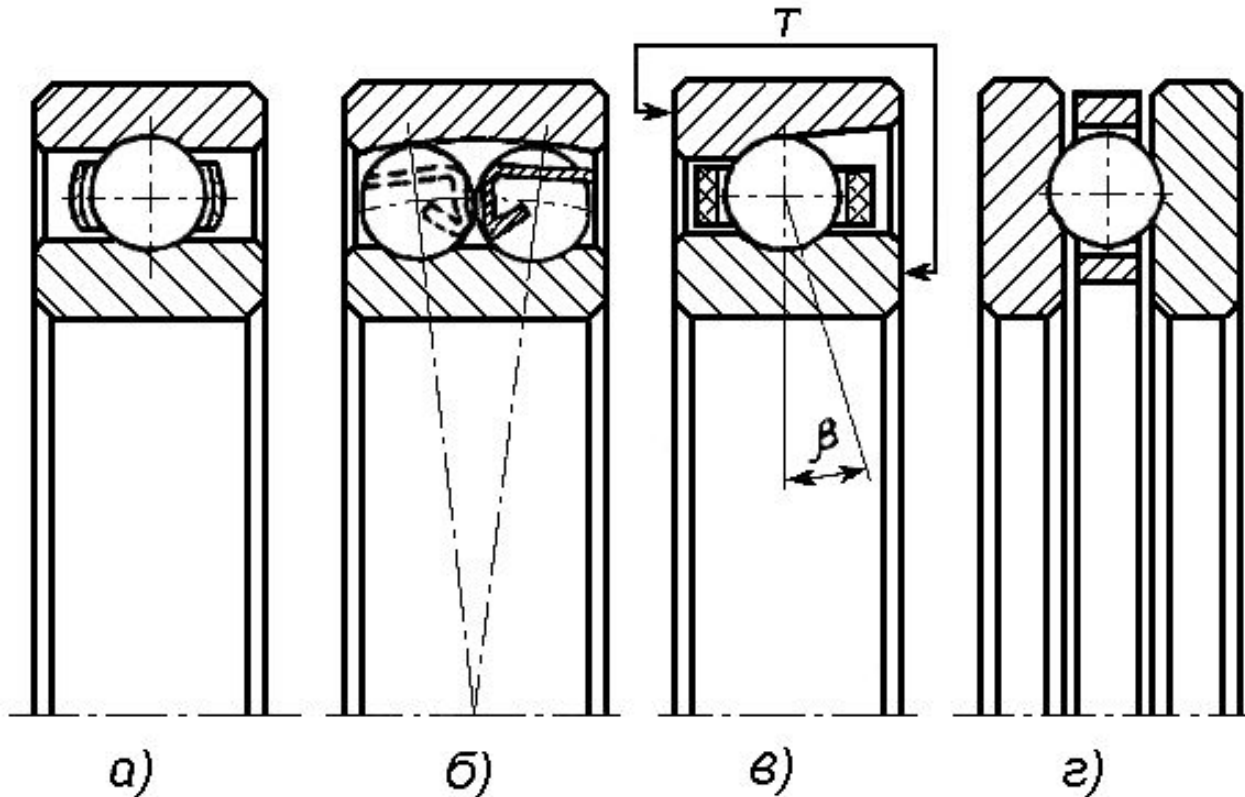
- сверхлегкие;
- особолегкие;
- легкие;
- средние;
- тяжелые.

По ширине на: узкие, нормальные, широкие, особоширокие.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Основные типы подшипников качения

Шариковые подшипники



- а) радиальные однорядные;
- б) радиальные двухрядные сферические;
- в) радиально-упорные;
- г) упорные.

Рисунок 2 – Шариковые подшипники.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Основные типы подшипников качения

Радиальные однорядные шариковые подшипники (см. рисунок 2а) предназначены для восприятия радиальных нагрузок, но могут воспринимать и осевую нагрузку в обе стороны до 70% от неиспользованной допустимой радиальной нагрузки, поэтому эти подшипники можно применять для фиксации вала или корпуса в осевом направлении. Допускают перекос осей колец подшипника на угол не более $0,25^\circ$.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Основные типы подшипников качения

Радиальные двухрядные сферические шариковые подшипники (см. рисунок 2б) предназначены для восприятия радиальных нагрузок в условиях возможных значительных перекосов колец подшипников (до $2 - 3^\circ$). Подшипники допускают осевую фиксацию вала в обе стороны с нагрузкой до 20% от неиспользованной допустимой радиальной нагрузки. Дорожку качения наружного кольца выполняют по сферической поверхности описанной из центра подшипника, что обеспечивает подшипнику самоустанавливаемость.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Основные типы подшипников качения

Радиально-упорные шариковые подшипники (см. рисунок 2в) предназначены для восприятия совместно действующих радиальных и односторонних осевых нагрузок. Могут воспринимать чисто осевую нагрузку.

Один из бортов наружного или внутреннего кольца срезан почти полностью, что позволяет закладывать в подшипники на 45% больше шариков того же диаметра, чем в обычные радиальные подшипники, что способствует повышению их грузоподъемности.



ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Основные типы подшипников качения

Подшипники по конструктивным особенностям выполняют с расчетными углами контакта шариков с кольцами $\beta = 12^\circ$ (тип 36000), $\beta = 26^\circ$ (тип 46000) и $\beta = 36^\circ$ (тип 66000). Радиально-упорные подшипники применяют в опорах жестких коротких валов и в опорах, требующих регулировки внутреннего зазора в подшипниках.

Подшипники, у которых угол контакта $\beta = 45^\circ$ называются упорно-радиальными.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

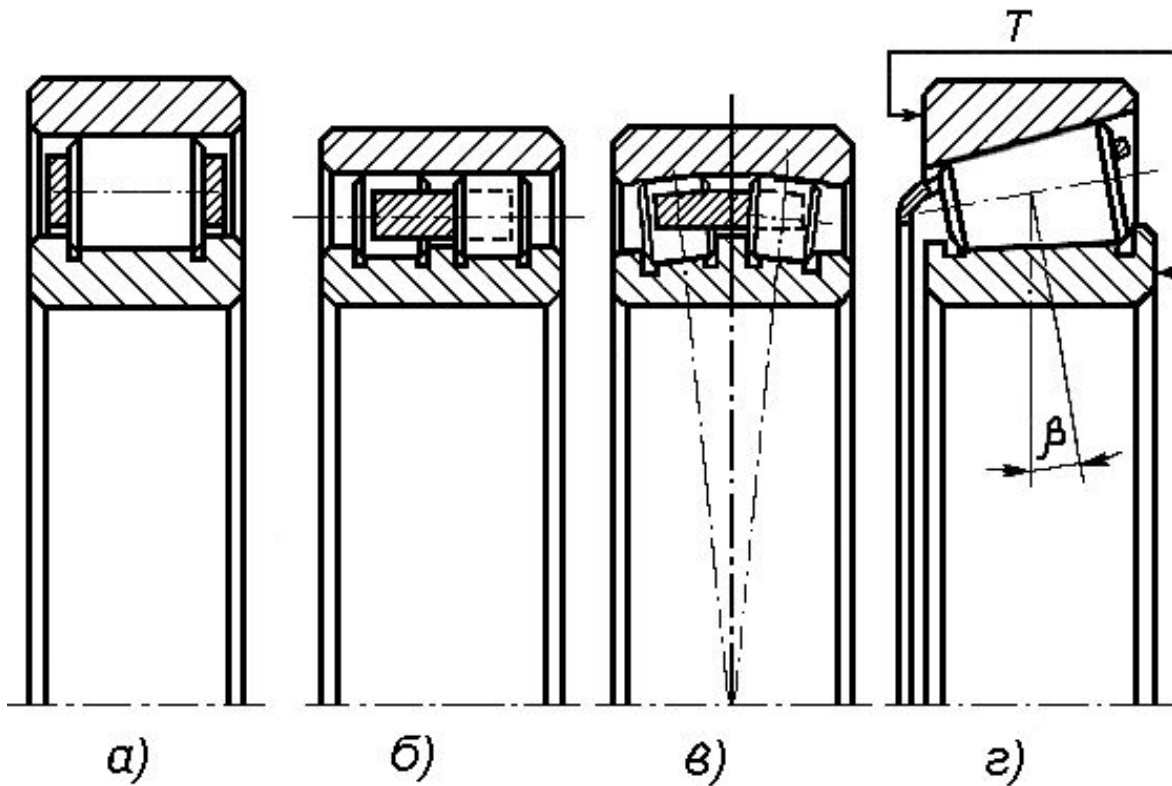
Основные типы подшипников качения

Упорные шариковые подшипники (см. рисунок 2г) предназначены для восприятия односторонних осевых нагрузок. На горизонтальных валах они работают хуже, чем на вертикальных валах и требуют хорошей регулировки или поджатия колец пружинами. Упорные подшипники часто устанавливают в одном корпусе в паре с радиальными подшипниками.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Основные типы подшипников качения

Роликовые подшипники



- а) радиальный с короткими роликами;
- б) радиальный двухрядный;
- в) радиальный двухрядный сферический;
- г) конический.

Рисунок 3 – Роликовые подшипники

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Основные типы подшипников качения

Радиальные роликовые подшипники с короткими цилиндрическими роликами (см. рисунок 3а) предназначены для восприятия больших радиальных нагрузок. Их грузоподъемность на 70% выше грузоподъемности однорядовых радиальных шариковых подшипников одинакового типоразмера. Подшипники применяются в плавающих опорах, как правило, жестких коротких валов.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Основные типы подшипников качения

Радиальные двухрядные подшипники с короткими цилиндрическими роликами (см. рисунок 3б) применяют для опор быстроходных коротких валов, требующих точного вращения. Ролики расположены в шахматном порядке. Сепаратор – массивный, бронзовый.

Радиальные двухрядные сферические роликовые подшипники (см. рисунок 3в) предназначены для восприятия особо больших радиальных нагрузок при значительных ($2 - 3^\circ$) перекосах колец, а также двухстороннюю осевую нагрузку до 25% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Основные типы подшипников качения

Дорожка качения наружного кольца выполнена по сферической поверхности. Ролики имеют форму бочки. Подшипники этого типа применяют в опорах длинных двух и многоопорных валов, подверженных значительным прогибам под действием внешних нагрузок, а также в узлах машин с отдельно стоящими подшипниковыми корпусами.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Основные типы подшипников качения

Конические роликовые подшипники (см. рисунок 3г) являются радиально-упорными и предназначены для восприятия значительных совместно действующих радиальных и односторонних осевых нагрузок.

Радиальная грузоподъемность в среднем на 90% выше, чем у радиальных однорядных подшипников одинакового типоразмера. Эти подшипники имеют широкое применение в машиностроении. Отличаются удобством сборки и разборки, регулировки зазоров и компенсации износов.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Основные типы подшипников качения

Угол контакта (половина угла при вершине конуса дорожки качения наружного кольца) $\beta = (9 - 17^\circ)$ (тип 7000), $\beta = (25 - 29^\circ)$ (тип 27000). Конические роликовые подшипники применяют в узлах машин с жесткими, двух опорными, короткими валами.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Основные типы подшипников качения

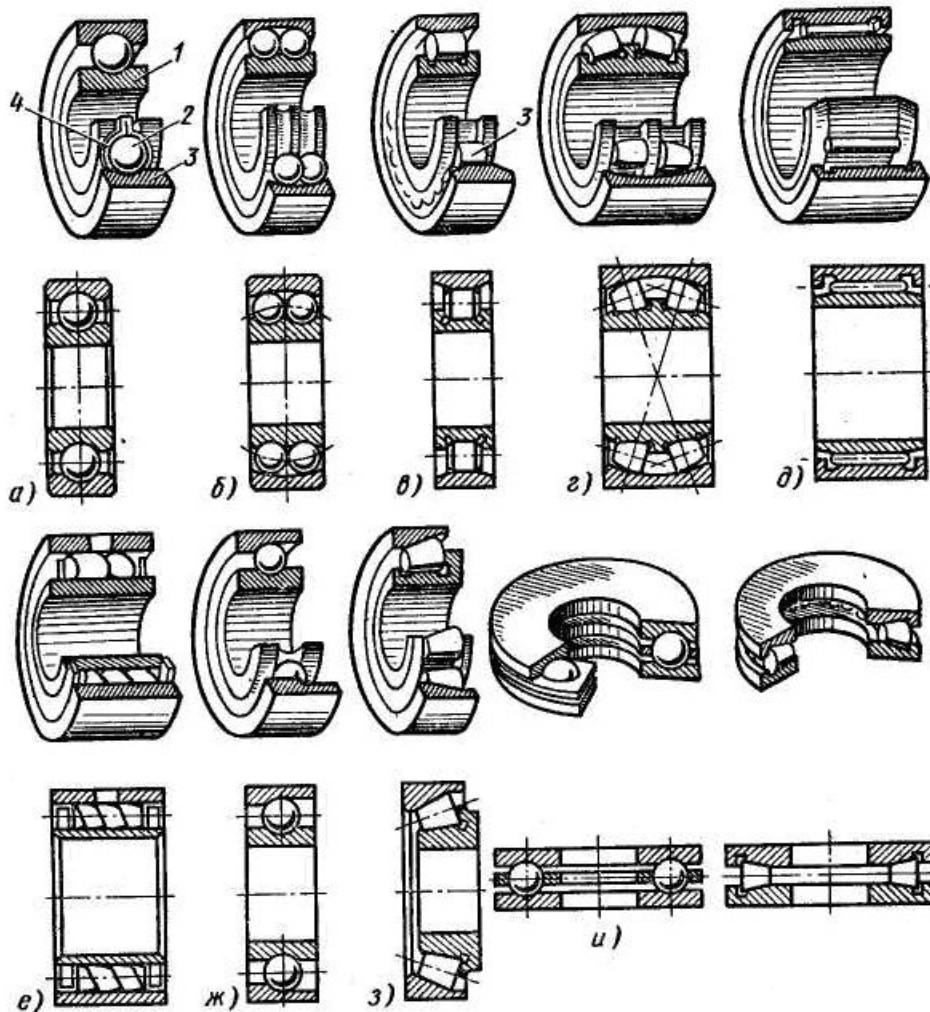


Рисунок 4 - Основные типы подшипников качения:

- а) шариковый радиальный однорядный;
- б) сферический шариковый двухрядный;
- в) цилиндрический роликовый;
- г) радиальный сферический двухрядный;
- д) игольчатый;
- е) игольчатый с витыми роликами;
- ж) радиально-упорный шариковый;
- з) конический роликовый;
- и) упорный шариковый;
- к) упорный с коническими роликами

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Условные обозначения подшипников качения

Подшипник качения маркируют путем нанесения на торец кольца ряда цифр, условно обозначающих внутренний диаметр подшипника, его серию, тип, конструктивную разновидность.

Система условных обозначений шариковых и роликовых подшипников устанавливается ГОСТ 3189-75. Порядок отсчета цифр в условном обозначении подшипника ведется справа налево.

Первые две цифры справа обозначают внутренний диаметр подшипников диаметром от 20 до 495 мм, причем обозначение получается путем деления значения диаметра на 5. Подшипники с внутренним диаметром 10 мм обозначаются 00; 12 мм – 01; 15 мм – 02; 17 мм – 03.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Третья цифра справа от условного обозначения указывает серию диаметров подшипника, например: 1 – особолегкая серия, 2 – легкая серия и т.д.

Четвертая цифра справа от условного обозначения указывает тип подшипника, например: 0 – шариковый радиальный, 2 – цилиндрический роликовый радиальный с короткими роликами, 6 – шариковый радиально-упорный, 7 – конический роликовый и т. д.

Пятая и шестая цифры справа обозначают конструктивную разновидность подшипника. Седьмая цифра справа указывает серию ширин, например: узкая, нормальная, широкая и др. Нули, стоящие в обозначении левее значащих цифр, не показывают.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Пример условного обозначения подшипников:

6 6 2 09

Внутренний диаметр подшипника
(диаметр вала) – $d = 09 \cdot 5 = 45 \text{ мм}$.

Серия по наружному диаметру и ширине –
легкая, узкая.

Тип – радиально-упорный шариковый однорядный.

Конструктивные особенности – угол контакта $\beta = 36^\circ$.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Практический расчет подшипников качения

Основные причины потери работоспособности подшипников качения:

- усталостное разрушение рабочих поверхностей тел качения и беговых дорожек колец вследствие циклического контактного нагружения (этот основной вид разрушения);
- пластические деформации в виде вмятин, лунок на дорожках качения;
- абразивное изнашивание, в результате недостаточной защиты от абразивных частиц (пыли и грязи);
- задиры рабочих поверхностей в результате недостаточной смазки, очень малых зазоров из-за неправильного монтажа;
- разрушение сепараторов имеет место в быстроходных подшипниках от действия центробежных сил и давления тел качения.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Практический расчет подшипников качения

Различают подбор подшипников по статической грузоподъемности для предупреждения остаточных деформаций (ГОСТ 18854—82) и по динамической грузоподъемности для предупреждения усталостного разрушения (ГОСТ 18855—82).

Долговечность подшипника — число оборотов, которое одно из его колец делает относительно другого до начала усталостного разрушения материала на одном из колец или тел качения. Долговечность измеряется в миллионах оборотов или часах работы и обозначается соответственно L или L_h .



ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Практический расчет подшипников качения

Выбор подшипников по динамической грузоподъемности

Этот выбор выполняется при $n \geq 10 \text{ мин}^{-1}$. При $n = 1 \div 9 \text{ мин}^{-1}$ расчет принимают $n = 10 \text{ мин}^{-1}$.

Условие выбора:

$$C_{\text{требуемая}} \leq C_{\text{базовая}} \cdot \quad (1)$$

Базовой динамической грузоподъемностью C называется постоянная нагрузка, которую подшипник качения может воспринимать при базовой долговечности, составляющей один миллион оборотов без появления признаков усталости не менее чем у 90% из определенного числа подшипников, подвергающихся испытаниям.



ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Практический расчет подшипников качения

Значения C приведены в каталогах для подшипников качения. При этом под C понимают радиальную силу для радиальных и радиально-упорных подшипников (с не вращающимся наружным кольцом) и осевую силу для упорных и упорно-радиальных подшипников (при вращении одного из колец).

Динамическая грузоподъемность и ресурс (долговечность) связаны эмпирической зависимостью

$$L = a_1 \cdot a_2 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p, \quad C = P \cdot \sqrt[p]{\frac{L}{a_1 \cdot a_2}} \quad (2)$$

где L - ресурс, млн. оборотов;



ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Практический расчет подшипников качения

P – эквивалентная динамическая нагрузка;

$p = 3$ для шариковых и $p = \frac{10}{3} \approx 3,33$ роликовых

подшипников;

a_1 - коэффициент долговечности (в каталогах указаны значения C с коэффициентом надежности $S = 0,9$, для которого $a_1 = 1$);

a_2 - обобщенный коэффициент совместного влияния качества металла и условий эксплуатации.

Значения a_2 выбирают в зависимости от условий:

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Практический расчет подшипников качения

обычные условия: для шарикоподшипников $a_2 = 0,7 \div 0,8$;
для роликоподшипников, сферических шарикоподшипников
 $a_2 = 0,5 \div 0,6$;

для роликоподшипников конических $a_2 = 0,6 \div 0,7$;

условия, характеризующиеся наличием гидродинамической пленки масла между контактирующими поверхностями колец и тел качения, и пониженных перекосов в узле: для шарикоподшипников
 $a_2 = 1$;

для роликоподшипников, сферических шарикоподшипников
 $a_2 = 0,8$;

для роликоподшипников конических $a_2 = 0,9$.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Практический расчет подшипников качения

Если частота вращения n постоянна, номинальную долговечность удобнее считать в часах:

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n} \quad (3)$$

Эквивалентной динамической нагрузкой P называется условная постоянная нагрузка, под действием которой подшипник качения будет иметь такую же долговечность, как и в действительных условиях нагружения:

$$P = (XVF_r + YF_a) k_b k_T, \quad (4)$$

где F_r – радиальная нагрузка, H ;

F_a – осевая нагрузка, H ;

V – коэффициент вращения (при вращении внутреннего кольца $V = 1$, наружного — $V = 1,2$);

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Практический расчет подшипников качения

k_{σ} – коэффициент безопасности (при спокойной нагрузке $k_{\sigma} = 1$; при умеренных толчках $k_{\sigma} = 1,3 \div 1,5$; при сильных толчках (ударах) $k_{\sigma} = 2,5 \div 3,0$);

k_T – температурный коэффициент (для стали ШХ15 при t до 100°C $k_T = 1$; при $t = 125 \div 250^{\circ}\text{C}$ $k_T = 1,05 \div 1,4$);

$X; Y$ – коэффициент радиальной и осевой нагрузок.

Для определения конкретных значений X и Y необходимо предварительно найти параметр осевого нагружения e , зависящий от отношения F_a / C_o , где C_o – статическая грузоподъемность, H , указываемая в каталоге на подшипники. Далее определяют величину отношения F_a / VF_r , сопоставляют ее с найденным ранее параметром e и в зависимости от этого находят конкретные значения X и Y .

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Практический расчет подшипников качения

Выбор подшипников по статической грузоподъемности

Эквивалентная динамическая нагрузка P по уравнению (2) растет с уменьшением ресурса L и не имеет ограничения. Фактически нагрузка ограничена потерей статической прочности, или так называемой статической грузоподъемностью. Статическую грузоподъемность применяют для подбора подшипников при $n < 1 \text{ мин}^{-1}$.

Условие выбора:

$$P_0 \leq C_0, \quad (5)$$

где P_0 - эквивалентная статическая нагрузка;

C_0 - статическая грузоподъемность.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Практический расчет подшипников качения

Под статической грузоподъемностью C_0 понимают такую статическую нагрузку, которой соответствует общая остаточная деформация тел качения и колец в наиболее нагруженной точке контакта, равная 0,0001 диаметра тела качения. Значения C_0 указаны в каталогах для каждого типоразмера подшипника.

Эквивалентная статическая нагрузка

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a, \text{ но не меньше, чем } P_0 = F_r, \quad (6)$$

где F_r, F_a - радиальная и осевая нагрузки;

X_0, Y_0 - коэффициенты радиальной и осевой статических нагрузок.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Практический расчет подшипников качения

Особенности расчета нагрузки радиально-упорных подшипников

При расчете радиально-упорных подшипников необходимо определять осевые нагрузки, воспринимаемые опорами и учитывать собственные осевые составляющие S реакций в подшипнике, возникающие от радиальной нагрузки. Для шариковых радиально-упорных подшипников:

$$S = e \cdot F_r, \quad (7)$$

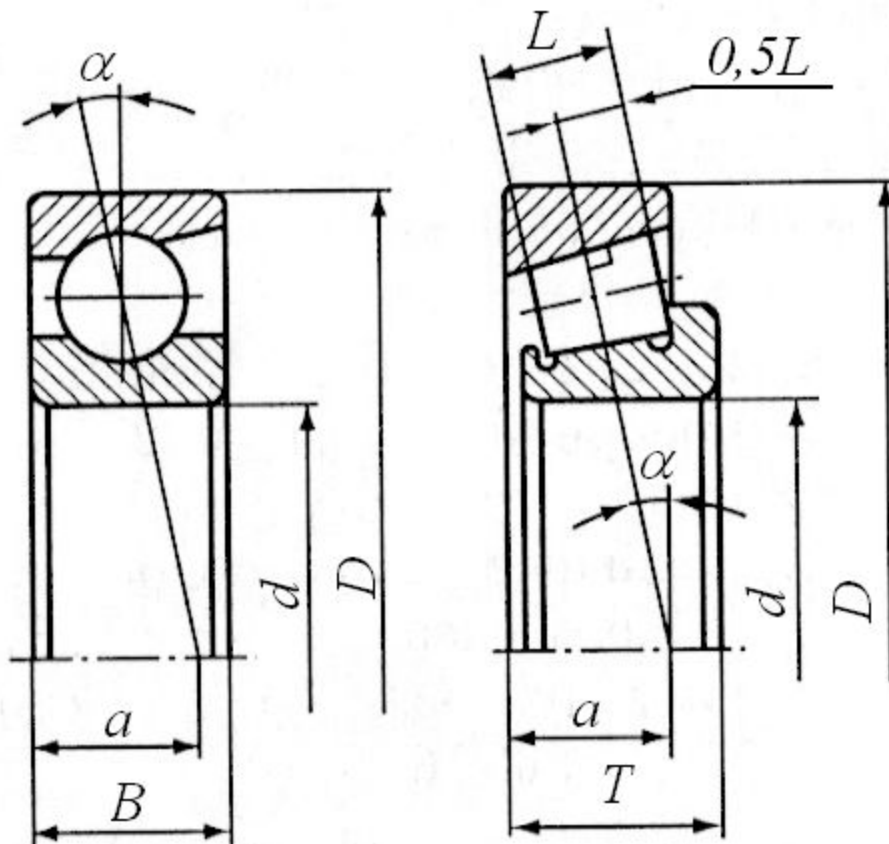
для конических роликовых подшипников:

$$S = 0,83 \cdot e \cdot F_r. \quad (8)$$

Точка приложения реакции опоры находится на пересечении оси вала с нормалью к середине линии контакта. Эта точка может быть определена графически или по расстоянию a от торца наружного кольца подшипника (рисунок 5,6):

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Практический расчет подшипников качения



для однорядных
шариковых подшипников

$$a = 0,5 \cdot \left[B + \frac{d+D}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right]; \quad (9)$$

для роликовых
конических

$$a = 0,5 \cdot \left[T + \frac{(d+D) \cdot e}{3} \right]. \quad (10)$$

Рисунок 5 – Определение точки приложения реакции радиально-упорных подшипников:

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Практический расчет подшипников качения

Для нормальной работы радиально-упорных подшипников необходимо, чтобы в каждой опоре осевая сила нагружающая подшипник, была бы не меньше осевой составляющей от действия радиальных сил (рисунок 6):

$$F_{a1} \geq S_1; \quad F_{a2} \geq S_2. \quad (11)$$

Кроме того, должно выполняться условие равновесия вала:

$$F_a + F_{a2} - F_{a1} = 0. \quad (12)$$

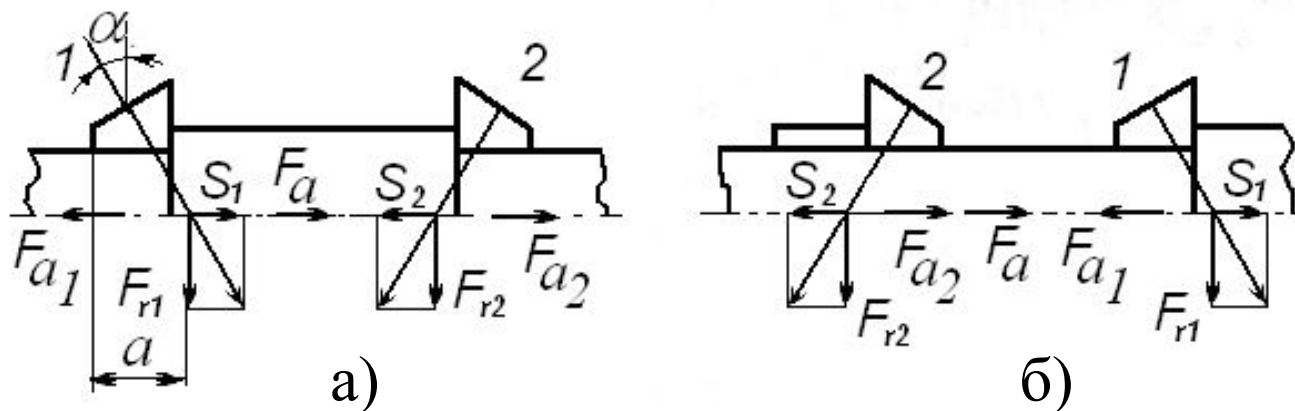


Рисунок 6 – Расчетные схемы для радиально-упорных подшипников



ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Практический расчет подшипников качения

Ниже приведены формулы для определения осевых сил F_{a1} и F_{a2} для отдельных частных случаев:

если $S_1 \geq S_2$; $F_a \geq 0$ или $S_1 < S_2$; $F_a \geq S_2 - S_1$,

то $F_{a1} = S_1$; $F_{a2} = F_{a1} + F_a$;

если $S_1 < S_2$; $F_a < S_2 - S_1$,

то $F_{a2} = S_2$; $F_{a1} = F_{a2} - F_a$.

(13)