***4.05.2020г. Практическая работа 14.***

***Изучение конструкций подшипников качения***

***1. Цель работы***

Изучить основные типы подшипников качения и ознакомиться с их условными обозначениями. Научиться определять типы подшипников по внешнему виду, по маркировке и по отдельным деталям. Ознакомиться с материалами, применяемыми для изготовления подшипников качения, и с основными конструктивными особенностями исполнения различных типов подшипников.

***2. Теоретические положения***

***2.1. Общие сведения***

Подшипники качения предназначены поддерживать вращающиеся валы и оси в пространстве, обеспечивая им возможность свободного вращения или качания, 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 5*м* и с диаметром шариков от 0,35 *мм* до 203 *мм*, и массой от долей *грамма* до нескольких *тонн*.

Подшипники качения (см. рисунок 1) в большинстве случаев состоят из наружного кольца 1, внутреннего кольца 2, тел качения 3 (шариков или роликов), сепаратора 4. В некоторых подшипниках качения для уменьшения их габаритов одно или оба кольца отсутствуют, а в некоторых отсутствует сепаратор.

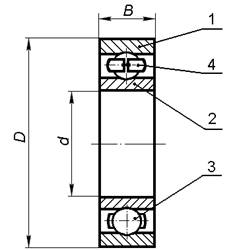


Рис.1. Шариковый радиальный подшипник

По сравнению с подшипниками скольжения, подшипники качения имеют следующие достоинства: меньшие моменты сил трения; малая зависимость моментов сил трения от скорости; небольшой нагрев; незначительный расход смазки; малую ширину; значительно меньший расход цветных металлов; менее высокие требования к материалу и к термической обработке валов; значительно меньшие пусковые моменты.

К недостаткам подшипников качения относятся: чувствительность к ударным нагрузкам; относительно большие радиальные размеры; высокая стоимость при производстве уникальных подшипников; высокие контактные напряжения и поэтому ограниченный срок службы; меньшая способность демпфировать колебания.

***2.2. Классификация подшипников качения***

Подшипники качения классифицируют по следующим основным признакам.

*По форме тел качения*: шариковые и роликовые, причём последние могут быть цилиндрическими, коническими, игольчатыми, бочкообразными и витыми.

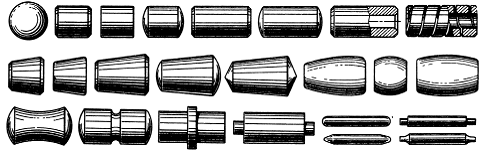
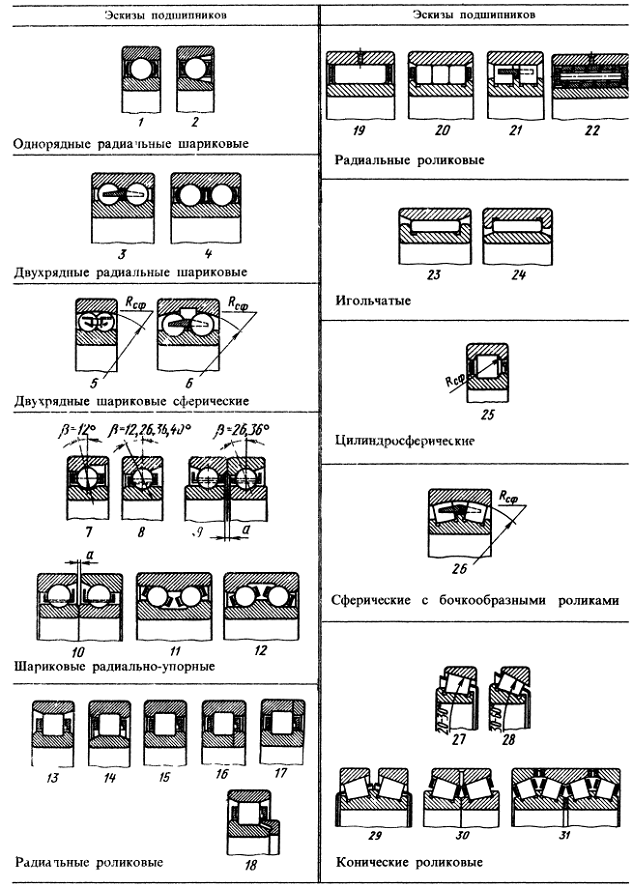


Рис.2. Форма тел качения подшипников

*По направлению воспринимаемой нагрузки*: радиальные, радиально-упорные, упорно-радиальные и упорные.

*По числу рядов тел качения*: однорядные, двухрядные, трёхрядные, четырёхрядные и многорядные.

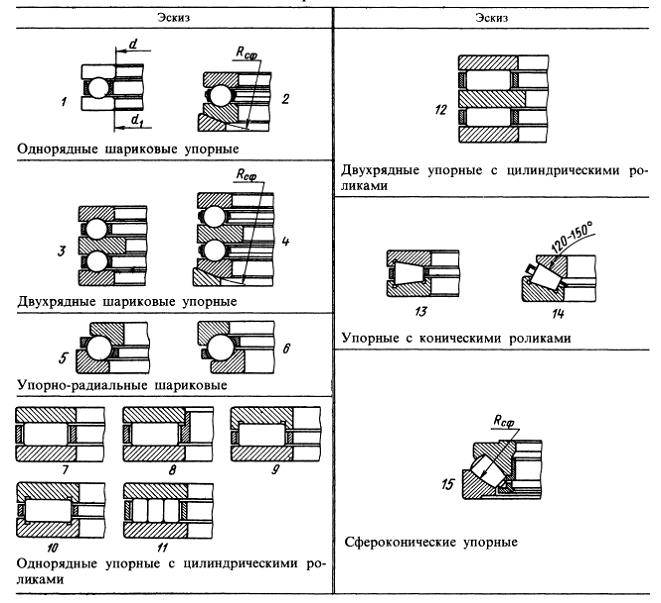
Таблица 1. Основные типы радиальных и радиально-упорных подшипников



*По способности самоустанавливаться*: несамоустанавливающиеся и самоустанавливающиеся (сферические, допускающие угол перекоса внутреннего и наружного колец до  2-30 ).

*По габаритным размерам*: на серии   (для каждого подшипника при одном и том же внутреннем диаметре имеются различные серии, отличающиеся несущей способностью подшипника, т. е. размерами колец и тел качения). В зависимости от размера наружного диаметра подшипника, серии подразделяются на *сверхлёгкие, лёгкие,* *средние* и *тяжёлые.*В зависимости от ширины подшипника серии бывают *особо узкие, узкие, нормальные, широкие*и*особо широкие.*

Таблица 2. Основные типы   упорных и упорно-радиальных подшипников



***2.3. Основные типы подшипников качения***

***2.3.1. Шариковые подшипники***

2.3.1.1. Радиальные, однорядные шариковые подшипники (см. рисунок 3, *а*) в основном 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°.

2.3.1.2. Радиальные, двухрядные, сферические шариковые подшипники (см. рисунок 3, *б*) предназначены для восприятия радиальных нагрузок в условиях возможных значительных перекосов колец подшипников (до 2 - 3°). 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, поэтому их можно применять в узлах машин с отдельно стоящими корпусами при несовпадении осей посадочных мест под подшипники или в качестве опор длинных, прогибающихся от действия нагрузок, валов.

2.3.1.3. Радиально-упорные шариковые подшипники (см. рисунок 3, *в*) предназначены для восприятия совместно действующих радиальных и односторонних осевых нагрузок. Могут воспринимать чисто осевую нагрузку.

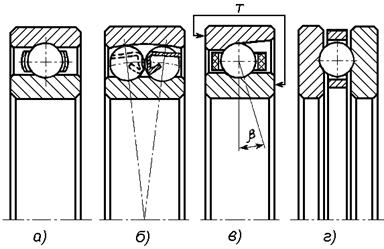


Рис.3. Шариковые подшипники

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 по конструктивным особенностям выполняют с расчетными углами контакта шариков с кольцами β = 12° (тип 36000), β= 26° (тип 46000) и β= 36° (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 β= 45° называются упорно-радиальными.

2.3.1.4. Упорные шариковые подшипники (см. рисунок 3, *г*) 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.

***2.3.2. Роликовые подшипники***

2.3.2.1. Радиальные роликовые подшипники с короткими цилиндрическими роликами (см. рисунок 4, *а*) предназначены для восприятия больших радиальных нагрузок. Их грузоподъемность на 70*%* выше грузоподъемности однорядовых радиальных шариковых подшипников одинакового типоразмера. Подшипники легко разбираются в осевом направлении, допускают некоторое осевое взаимное смещение колец, что облегчает монтаж и демонтаж подшипниковых узлов и позволяет применять их в плавающих опорах, как правило, жестких коротких валов.

2.3.2.2. Радиальные двухрядные подшипники с короткими цилиндрическими роликами (см. рисунок 4, *б*) применяют для опор быстроходных коротких валов, требующих точного вращения. Ролики расположены в шахматном порядке. Сепаратор – массивный бронзовый.

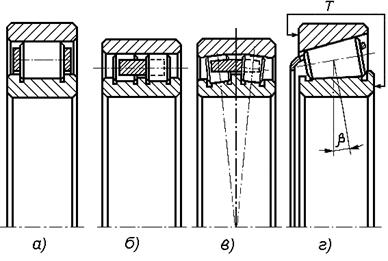


Рис.4. Роликовые подшипники

2.3.2.3. Радиальные двухрядные сферические роликовые подшипники (см. рисунок 4, *в*) предназначены для восприятия особо больших радиальных нагрузок при возможности значительных (2 - 3°) перекосов колец, а также двухстороннюю осевую нагрузку до 25*%* неиспользованной допустимой радиальной нагрузки. Могут работать и при только осевом усилии. 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.

2.3.2.4. Конические роликовые подшипники (см. рисунок 4, *г*) 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. Угол контакта (половина угла при вершине конуса дорожки качения наружного кольца) β = (9 - 17°) (тип 7000), β = (25 - 29°) (тип 27000). Конические роликовые подшипники применяют в узлах машин с жесткими, двух опорными, короткими валами.

***2.4. Условные обозначения подшипников качения***

Условными обозначениями характеризуются внутренний диаметр подшипника (или втулки), его серия, тип, конструктивные особенности. Все перечисленные параметры обозначаются по ГОСТ 3189-75 цифрами, значения которых определяются занимаемыми ими местами в условном обозначении подшипников, согласно данных, приведенных в таблице 3.

***2.4.1. Обозначение внутреннего диаметра подшипников***

Внутренний  диаметр подшипника  (или  диаметр вала, если он 20Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image026.gif*d*Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image026.gif200 *мм*) в условном обозначении подшипника указывается двумя первыми цифрами справа, являющимися частным от деления диаметра отверстия на пять. Для подшипников, у которых  10 ≤ *d ≤*17 *мм* диаметр обозначается в соответствии с таблицей 4.

Таблица 3. Значение цифр в условном обозначении подшипников

|  |  |
| --- | --- |
| Места цифр в условном обозначении  (считая, справа) | Значение цифр |
| 1-я  и  2-я | Диаметр вала (внутренний диаметр  подшипника *d*или втулки) |
| 3-я  и  7-я | Серия по наружному диаметру и  ширине соответственно |
| 4-я | Тип подшипника |
| 5-я  и  6-я | Конструктивные особенности |

Таблица 4. Обозначение диаметра отверстия подшипника

|  |  |
| --- | --- |
| Внутренний диаметр,  *мм* | Условные обозначения  Внутреннего диаметра |
| 10 | 00 |
| 12 | 01 |
| 15 | 02 |
| 17 | 03 |
| от 20 до 200 | Частное от деления *d* на 5 |

***2.4.2. Обозначение серий подшипников***

Третья и седьмая цифры справа указывают серию подшипника всех диаметров (кроме малых подшипников, у которых  *d* = 9*мм*) согласно данным таблицы 5.

Таблица 5. Обозначение серий подшипников

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Серия | Характеристика  по ширине | Обозначение серии | | Примеры  обозначения  серии |
| 3-я цифра  справа | 7-я цифра  справа |
| мелкогабаритные | разные | 0 | 0 | 1000 |
| ненормальные диаметры | неопределенные | 9 | 0 | 900 |
| неопределенные | неопределенные | 8  7 | 0  0 | 800  700 |
| тяжелые | широкая  узкая | 4  4 | 2  0 | 2086400  400 |
| средние | особоширокая  широкая  нормальная  узкая | 3  6  3  3 | 3  0  1  0 | 3056300  3600    300 |
| легкие | особоширокая  широкая  нормальная  узкая | 2  5  2  2 | 3  0  1  0 | 3056200  3500    200 |
| особолегкие | особоширокая    широкая    нормальная    узкая | 7  1  7  1  7  1  7  1 | 3  4  2  2  1  0  7  7 | 3003700  4854100    2007100  1007700  100  7002700  7000100 |
| сверхлегкие | особоширокая    широкая    нормальная    узкая | 9  8  9  8  9  8  9  8 | 4  3  2  2  1  1  7  7 | 4032900  3007800      1000900  1000800  7000900  7000800 |

***2.4.3. Обозначение типа подшипников***

Тип подшипника указывается в условном обозначении четвертой цифрой справа, в соответствии с таблицей 6.

Таблица 6. Обозначение типа подшипника в условном обозначении

|  |  |
| --- | --- |
| Четвертая  цифра  справа | Тип подшипника |
| 0 | Радиальный шариковый |
| 1 | Радиальный шариковый сферический |
| 2 | Радиальный с короткими цилиндрическими  роликами |
| 3 | Радиальный роликовый сферический |
| 4 | Радиальный роликовый с длинными  цилиндрическими роликами или игольчатый |
| 5 | Радиальный роликовый с витыми роликами |
| 6 | Радиально-упорный шариковый |
| 7 | Роликовый конический |
| 8 | Упорный шариковый |
| 9 | Упорный роликовый |

***2.4.4. Обозначение подшипников по конструктивным разновидностям***

Пятая и шестая цифры  в условном обозначении подшипника определяют его конструктивную разновидность и состоят из двух цифр от 00 до 99. Конструктивных разновидностей подшипников очень много и наиболее распространённые из них приведены в  ГОСТ 3395-89.

Внимание! Если в обозначении подшипника должна присутствовать цифра 0 и после неё слева  не требуются дополнительные обозначения (дополнительные цифры), то цифра 0 в обозначении не проставляется.

***2.4.5. Примеры расшифровки обозначений подшипников***

|  |  |
| --- | --- |
| 1000094 | тип - радиальный шариковый (цифра 0 на четвёртом месте)  внутренний диаметр 4мм. (цифра 4),  сверхлёгкой серии (цифра 9),  конструктивная разновидность 00,  серия ширин 1. |
| 25 | тип - радиальный шариковый (цифра 0 на четвёртом месте)  внутренний диаметр 5 мм. (цифра 5) ,  лёгкой серии (цифра 2),  конструктивная разновидность 00, |
| 2205  12305  42305  32305  92305  292305 | тип - радиальные роликовые с короткими цилиндрическими роликами, (2)  внутренний диаметр 25мм. (05\*5=25),  средней серии, (3)  конструктивная разновидность: 00 - без бортов на наружном кольце, 01 - с однобортовым наружным кольцом, 03 - с двухбортовым наружным кольцом,  04 - с однобортовым  внутренним кольцом и  двухбортовым наружным кольцом, 09 - с двухбортовым наружным кольцом и плоской опорной шайбой на внутреннем кольце,   29 - без внутреннего кольца. |
| 74103 | тип - радиальный роликовый игольчатый, (4),  внутренний диаметр 17мм,  (03),  особо лёгкой серии, (1),  конструктивная особенность  (07) - без сепаратора и с отверстием под смазку на наружном кольце. |
| 602/32 | тип - шариковый радиальный, (0),  внутренний диаметр 32мм,  (32),  лёгкой серии,  (2),  конструктивная разновидность  (06) - с одной защитной шайбой. |

***2.4.6. Дополнительные знаки условного обозначения***

Слева  через черту от основного обозначения подшипников, которое включает в себя не более семи цифр, указываются требования к точности изготовления подшипников.

Справа через черту от основного обозначения подшипников указываются параметры, определяющие специальные требования к материалу деталей подшипников, к термообработке деталей, конструктивные изменения деталей, специальные требования по шероховатости поверхности, температуре отпуска колец подшипников и требования по шуму при работе.

***2.4.7. Обозначение класса точности подшипников***

Установлены следующие классы точности подшипников, указанные в порядке повышения точности:

0, 6 ,5, 4, 2, Т - для шариковых и роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных подшипников;

0, 6, 5, 4, 2 - для упорных и упорно-радиальных подшипников;

0, 6X, 6, 5, 4, 2 -для роликовых конических подшипников.

Установлены дополнительные классы точности подшипников - 8 и 7 ниже класса точности 0 для применения по заказу потребителей в неответственных узлах.

Классы точности подшипников характеризуются значениями предельных отклонений размеров, формы и расположения поверхностей подшипников. В общем машиностроении обычно применяют классы точности  0,  6, и 5. Следует иметь ввиду, что стоимость одного и того же подшипника класса точности 0 и класса точности 2 отличается в 10 раз.

В зависимости от наличия требований по уровню вибрации установлены три категории подшипников - А,  В,  С.

К категории А относятся подшипники классов точности 5,  4, 2, Т с одним из дополнительных требований по повышенным нормам уровня вибрации, волнистости и отклонению от круглости поверхностей качения, моменту трения, углу контакта, радиальному биению, осевому биению и их совместному значению.

К категории В относятся подшипники классов точности  0,  6Х,  6,  5  с одним из дополнительных требований, аналогичных  категории  А.

К категории С относятся подшипники  классов точности  7,  8,  0,  6,  к которым не предъявляются требования по уровню вибрации, моменту трения и другие требования по категориям  А  и  В.

Полные требования к точности подшипников приведены в ГОСТ 520-89.

Класс точности подшипников указывается цифрой, соответствующей его точности слева от основного условного  обозначения через тире. Класс точности "0"  в условном обозначении опускается.

Пример: подшипник № 6 - 205.

Расшифровка: шарикоподшипник радиальный (четвёртая цифра слева "0" опущена), диаметром 25 мм (две последние цифры "05"), средней серии (третья цифра слева "2"), класс точности  6.

***2.4.8. Обозначение радиального зазора и момента трения подшипников***

Обозначения: 1, 2, 3, и т.д. расположенные слева от обозначения класса точности подшипника характеризуют различные величины (ряды) радиальных зазоров. Зазор по нормальному ряду обозначается цифрой  0.

Обозначения: 1, 2, 3,  и т.д. расположенные слева от радиального зазора, характеризуют различные величины (ряды) моментов трения.

У радиальных шарико - и роликоподшипников с радиальным зазором по нормальному ряду и у радиально-упорных шарикоподшипников в дополнительном обозначении между классами точности и обозначением момента трения проставляется буква "М".

Обозначения категорий подшипника проставляют:

- слева от обозначения ряда момента, например,  А1М5 - 205;

- перед обозначением ряда зазоров  при отсутствии требований по моменту трения, например,  В25 - 205;

- перед классом точности  при отсутствии требований по моменту трения и  нормальной группе зазора, например, А5 - 205.

***2.4.9. Расшифровка  дополнительных знаков справа от основного обозначения***

Дополнительные знаки справа от основного обозначения располагаются в следующем порядке:

обозначение материала деталей подшипника  (табл. 7);

конструктивные изменения деталей подшипника     К,  К1,  К2, …..;

специальные требования по шероховатости, покрытиям и т. п.,    У, У1, У2,…;

температура отпуска колец подшипника     Т1,  Т2,  ….;

разновидности смазочных материалов для подшипников закрытого типа  С1, С2,..;

требования по шуму   Ш,  Ш1,  Ш2, ….

Цифры 1, 2, 3, и т. д. справа от дополнительного буквенного обозначения Б,Г,Д,Е,К,Р,Л,У,Х,Ш,Э,Ю,Я указывают на каждое последующее исполнение с каким - либо отличием от предыдущего.

Таблица 7. Обозначение материала деталей подшипников

|  |  |
| --- | --- |
| Дополнительные  обозначения | Отличительные признаки |
| Б | Сепаратор из безоловянистой бронзы |
| Г | Сепаратор из чёрных металлов |
| Д | Сепаратор из алюминиевых сплавов |
| Е | Сепаратор из пластических материалов |
| Л | Сепаратор из латуни |
| Р | Детали из теплостойкой стали |
| Х | Детали из цементируемой стали |
| Ю | Часть деталей или все детали из нержавеющей стали |
| Я | Кольца и тела качения из редко применяемых материалов   (пластмасса, углепластик, стекло, керамика,…) |

***2.5. Материал деталей подшипников***

Кольца и тела качения подшипников изготавливают из шарикоподшипниковой стали марок  ШХ25СГ,  ШХ15,  ШХ20СГ, ШХ20  и др.

Кольца, ролики или шарики при температурах работы до 1000С должны быть термически обработаны до твёрдости  HRC 58-66  в зависимости от марки стали.

Сепараторы изготавливают из листовой стали, латуни, бронзы, дюралюминия, текстолита, полиамидов с различными уплотнителями. Пластмассовые сепараторы уменьшают величину инерционных нагрузок в подшипниках, дают возможность использовать упругие свойства пластмасс при монтаже тел качения.

Сепараторы, изготовленные из самосмазывающегося материала, служат источником твёрдой смазки. В качестве самосмазывающегося материала часто применяется аман. Его можно использовать для сепараторов обычных и высокоскоростных подшипников, работающих без жидкой смазки при нормальных и повышенных температурах.

Сепараторы из амана должны быть более массивны, чем обычные. Для увеличения ударной прочности у этих сепараторов по наружному диаметру устанавливается тонкий, менее 1мм., металлический обод.

Для сепараторов, работающих в вакууме и в невесомости, пригоден аман и различные композиции, например фторопласт - 4 с бронзой, эпоксидная смола в сочетании с двухсернистым молибденом. Механизм действия самосмазывающихся сепараторов основан на молекулярном  переносе их материала не поверхность тел качения.

***2.6. Подбор и расчет подшипников качения***

*2.6.1. Общие положения методики подбора и расчета подшипников качения*

Для выбора подшипников качения и определения их рабочего ресурса при проектировании и расчете опорных узлов редукторных валов необходимо учитывать эксплуатационные условия, характер и величину нагрузок, воспринимаемых опорами.

На основе анализа нагрузок конструктор намечает тип подшипника:  радиальный, радиально-упорный, упорный (см. таблицу 1) и его номер в соответствии с диаметром цапфы. Выбранный подшипник должен обладать необходимой нормативной долговечностью, согласованной с ресурсом работы данной машины или механизма. Например, для зубчатых редукторов установлен срок службы 36000 *час*, для черевячных 20000 *час*. Для подшипников таких редукторов минимальный ресурс рекомендуется соответственно 10000 и 5000 *час*, желательно предусматривать его таким же, как и у редукторов.

Таблица 8. Рекомендации по выбору подшипника

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Отношение  *F*a/*F*r | Условное обозначение и угол контакта | Осевая составляющая радиальной нагрузки *S* в долях от *F*r | Примечание |
| 0 - 0,35 | Радиальные однорядные шариковые подшипники | --- | В случае возможности использования легкой серии получаются оптимальные результаты по предельной быстроходности |
| 0,36 - 0,70 | 36000, β=12° | 0,3*F*r | Допустимо использование особо легкой и сверхлегкой серии |
| 0,71 - 1,00 | 46000, β=26° | 0,6*F*r | При весьма высоких скоростях легкая серия предпочтительней |
| 1,01 - 1,50 | 66000, β=36° | 0,9*F*r | Для высоких скоростей подшипник с данным углом контакта не пригоден |
| 1,51… | Рекомендуется применять конические радиально-упорные подшипники или спаренные радиально-упорные шариковые | | |

По ГОСТ 18855-82 расчетный ресурс подшипников качения определяется в миллионах оборотов работы по формулам:

для шариковых подшипников

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image029.gif

для роликовых подшипников

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image031.gif

Расчетная долговечность в часах

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image033.gif

где  *C*– динамическая грузоподъемность, указанная в каталогах на подшипники, *Н*;

*P* – эквивалентная динамическая нагрузка, *Н*,  рассчитываемая по формуле:

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image035.gif

где *F*r – радиальная нагрузка, *Н*;

*F*a – осевая нагрузка, *Н*;

*V* – коэффициент вращения  (если вращается внутреннее кольцо,

то *V* =1, если же вращается наружное кольцо, то*V*=1,2);

*k*б– коэффициент безопасности (см. таблицу 8);

*k*T– температурный коэффициент (см. таблицу 10);

*X, Y*– коэффициент радиальной и осевой нагрузок (см. таблицы 11, 12).

Однако для определения их конкретных значений необходимо предварительно найти параметр осевого нагружения *e*, указанный в тех же таблицах. Этот параметр зависит от отношения Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image037.gif, где Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image039.gif– статическая грузоподъемность, *Н*, указываемая в каталоге на подшипники. Далее определяют величину отношения Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image041.gif, сопоставляют ее с найденным ранее параметром *e* и в зависимости от этого находят конкретные значения *X* и *Y*.

Таблица 9. Значения коэффициента безопасности  *k*б

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характер нагрузки | *k*б | Примеры |
| Спокойная без толчков | 1,0 | Ролики ленточных транспортеров |
| Легкие толчки. Кратковременные перегрузки до 125*%*,  от расчетной нагрузки | 1,1 - 1,2 | Прецизионные зубчатые передачи, блоки, легкие вентиляторы, воздуходувки |
| Умеренные толчки и вибрации. Кратковременные перегрузки  до 150% от расчетной нагрузки | 1,3 - 1,5 | Редукторы всех конструкций |
| То же в условиях повышенной надежности | 1,6 - 1,8 | Центрифуги и сепараторы, энергетическое оборудование |
| Значительные толчки и вибрации. Кратковременные  перегрузки до 200% от расчетной нагрузки | 1,9 - 2,4 | Валики среднесортных прокатных станов; дробилки, ковочные машины |
| С сильными ударами и кратковременными перегрузками, достигающими 300*%* от расчетной нагрузки | 2,5 - 3,0 | Тяжелые ковочные машины; валки крупносортных прокатных станов; лесопильные рамы |

Таблица 10. Значения температурного коэффициента  *k*T

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рабочая температура подшипника, °С | до 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 300 | 350 |
| *k*T | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,15 | 1,25 | 1,35 | 1,40 | 1,60 | 2,00 |

Таблица 11. Коэффициенты *X*и *Y* для радиальных и радиально-упорных шариковых подшипников (по ГОСТ 18855-82)Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image043.gif

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Угол контакта  β° | Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image045.gif | Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image047.gif | Однорядные | | Двухрядные | | | | *e* |
| Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image116.gif | | Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image123.gif | | Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image116.gif | |
| *X* | *Y* | *X* | *Y* | *X* | *Y* |
| 0 | 0,014  0,028  0,056  0,110  0,170  0,280  0,120  0,560 | - | 0,56 | 2,30  1,99  1,71  1,45  1,31  1,15  1,04  1,00 | 1 | 0 | 0,56 | 2,30  1,99  1,71  1,45  1,31  1,15  1,04  1,00 | 0,19  0,22  0,26  0,30  0,34  0,38  0,42  0,44 |
| 5 | - | 0,014  0,028  0,056  0,085  0,110  0,170  0,280  0,420  0,560 | 0,56 | 2,30  1,99  1,71  0,55  1,45  1,31  1,15  1,04  1,00 | 1 | 2,78  2,40  2,07  1,87  1,75  1,56  1,39  1,26  1,21 | 0,78 | 3,74  3,23  2,78  2,52  2,36  2,13  1,78  1,69  1,630 | 0,23  0,26  0,30  0,34  0,36  0,40  0,45  0,50  0,52 |
| 10 | - | 0,014  0,029  0,057  0,086  0,110  0,170  0,290  0,430  0,570 | 0,46 | 1,88  1,71  1,52  1,41  1,34  1,23  1,10  1,01  1,00 | 1 | 2,18  1,98  1,76  1,63  1,55  1,42  1,27  1,17  1,10 | 0,75 | 3,06  2,78  2,47  2,29  2,18  2,00  1,79  1,64  1,63 | 0,29  0,32  0,36  0,38  0,40  0,44  0,49  0,54  0,54 |
| 12 | - | 0,014  0,029  0,057  0,086  0,110  0,170  0,290  0,430  0,570 | 0,45 | 1,81  1,62  1,46  1,34  1,22  1,13  1,04  1,01  1,00 | 1 | 2,08  1,84  1,69  1,52  1,39  1,30  1,20  1,16  1,16 | 0,74 | 2,94  2,63  2,37  2,18  1,98  1,84  1,69  1,64  1,62 | 0,30  0,34  0,37  0,41  0,45  0,48  0,52  0,54  0,54 |
| 15 | - | 0,015  0,029  0,058  0,087  0,120  0,170  0,290  0,440  0,580 | 0,44 | 1,47  1,40  1,30  1,23  1,19  1,12  1,02  1,00  1,00 | 1 | 1,65  1,57  1,46  1,38  1,34  1,26  1,14  1,12  1,12 | 0,72 | 2,39  2,28  2,11  2,00  1,93  1,82  1,66  1,63  1,63 | 0,38  0,40  0,43  0,46  0,47  0,50  0,55  0,56  0,56 |
| 18,19,20  24,25,26  30  35,36  40 | - | - | 0,43  0,41  0,39  0,37  0,35 | 1,00  0,87  0,76  0,66  0,57 | 1  1  1  1  1 | 1,09  0,92  0,78  0,66  0,55 | 0,70  0,67  0,63  0,60  0,57 | 1,63  1,41  1,24  1,07  0,93 | 0,57  0,68  0,80  0,95  1,14 |
| Подшипники сферические | | | 4,40 | Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image125.gif | 1 | Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image126.gif | 0,65 | Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image127.gif | Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image128.gif |

*Примечание:*

1) Для однорядных подшипников при Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image130.gif применяется *X*=1 и *Y*= 0;

2) Коэффициенты *Y*, *e* для промежуточных величин отношений Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image131.gif и Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image133.gif определяются интерполяцией,

где   *i*- количество рядов тел качения.

3) *e* – параметр осевого нагружения.

Таблица 12. Коэффициенты Х и Y для радиально-упорных

роликовых подшипников (по ГОСТ 18855-82)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image123.gif | | Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image116.gif | | *e* |
| X | Y | X | Y |  |
| Подшипники однорядные | | | | |
| 1 | 0 | 0,40 | Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image135.gif | Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image137.gif |
| Подшипники двухрядные | | | | |
| 1 | Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image139.gif | 0,67 | Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image141.gif | Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image137.gif |

***2.7. Примеры расчета подшипников качения***

***2.7.1. Примеры расчета радиальных подшипников***

***Пример 1.*** Подобрать подшипник качения для вала редуктора с цапфой *d*= 40 *мм*. Проверить долговечность при частоте вращения *n* = 1000 *об/мин*; радиальная нагрузка *F*r= 2500 *Н*, осевая нагрузка *F*a= 0.

***Решение:*** в данных условиях подходит подшипник радиальный однорядный шариковый (см. таблицу 5). Проверим подшипник для посадочного диаметра *d*= 40 *мм*., начиная с легкой серии - № 208, у которого статическая грузоподъемность (см. каталог):

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image143.gif = 18100  Н;

динамическая грузоподъемность

С = 25600  Н.

Примем по таблицам  9 и 10 – Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image145.gif = 1,4; Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image147.gif = 1,0.

Так как Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image149.gif = 0  и Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image131.gif = 0,  то из таблицы 11, примечание 1) следует:

Х=1, Y=0.

Эквивалентная динамическая нагрузка:

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image153.gif

Расчетный ресурс в миллионах оборотов:

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image157.gif

Расчетная долговечность в часах:

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image161.gif

Так как долговечность оказалась меньше минимальной нормы (10000 час.), то проверим подшипник средней серии № 308, у которого

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image143.gif = 22700  Н; C = 31900  Н.Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image163.gif

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image167.gif

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image170.gif

что допустимо.

***Пример 2.*** Подобрать подшипник качения при *Fa*=1000 *Н*, если остальные данные как в примере 1.

***Решение:***  Наметим как и выше, подшипник №308. Отношение

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image172.gif

Из таблицы 11 находим интерполированием   *е* = 0,24.

Так как

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image173.gif

то имеем  *Х*= 0,56;   *Y*= 1,85.

Эквивалентная динамическая нагрузка:

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image175.gif

Расчетный ресурс в миллионах оборотов:

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image177.gif

Расчетная долговечность в часах:

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image179.gif

Долговечность недостаточна.

Проверим подшипник тяжелой серии № 408, у которого

*Сo*= 37000, *Н*,  *С*= 5030, *Н*.

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image182.gif

*е* = 0,22

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image184.gif

следовательно: *Х* = 0,56; *Y* = 1,99;

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image186.gif

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image187.gif

Расчетная долговечность в часах:

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image188.gif

Такая долговечность приемлема.

***2.7.2. Примеры расчета 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. В случае установки шариковых радиально-упорных подшипников *S*= *еFr,* а в случае роликовых – *S*= 0,83*еFr*.

Общие осевые нагрузки находят в зависимости от расположения , как это указано в таблице 13.

Точка приложения реакции опоры находится на пересечении оси вала с нормалью к середине линии контакта. Эта точка может быть определена графически или по расстоянию *а* от торца наружного кольца:

Для однорядных шариковых подшипников

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image189.gif

Для роликовых конических

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image190.gif

где  *d* и *D* – внутренний и наружный диаметры подшипника, *мм*(см. рисунок 1);

*В* – ширина подшипника, *мм*;

*Т* – расстояние между противоположными торцами колец роликоподшипника,  *мм*  (см. рисунок 3, *г*).

Таблица 13. Общие осевые нагрузки, воспринимаемые подшипниками

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Схема нагружения | Соотношение  сил | Общие осевые  нагрузки |
| Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image191.jpg | *S1≥S2*  *Fа≥0*  *S1<S2*  *Fа≥S2-S1* | *Fа1=S1*  *Fа2=S1+Fа*  *Fа1=S1*  *Fа2=S1+Fа* |
| Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image192.jpg | *S1≤S2*  *Fа< S2 - S1* | *Fа1=S2-Fа*  *Fа2=S2* |

***Пример 3.*** При расчете первого вала редуктора были определены реакции опор *Fr1*= 3600, *Н*;  *Fr2*= 1800, *Н*; осевая нагрузка *Fа*= 1400, *Н*; подшипники установлены по схеме  б  (см. таблицу 13).

Диаметр цапфы вала *d* = 50; *мм*;  частота вращения вала  *n* = 1400 *об/мин*.

***Решение:*** Осевая нагрузка действует на вторую опору, поэтому определяем отношение  *Fа/Fr* для этой опоры:

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image194.gif

На основе рекомендаций, приведенных в таблице 5, намечаем тип подшипника – шариковый радиально-упорных с углом контакта β = 26°. Первоначально принимаем подшипник легкой серии  № 46210.

*С*= 31800 *Н*;  *Со*= 25400 *Н*  (см. каталог)

Из таблицы 11 имеем: *е*= 0,68

Так как *Fа/Fr* = 0,78 > *е*, то

*Х* = 0,41,  *Y* = 0,87 (см. таблицу 11)

Осевая составляющая *S1*= *е∙Fr1*= 0,68∙3600 = 2450  (*Н*).

Общая осевая нагрузка на вторую опору

*Fа2*= *S1*+ *Fа*= 2450 + 1400 = 3850  (*Н*)

Эквивалентная динамическая нагрузка второй опоры:

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image196.gif

Расчетный ресурс в миллионах оборотов:

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image198.gif

Расчетная долговечность в часах:

Описание: http://www.detalmach.ru/lab21.files/image200.gif

Долговечность недостаточна.

Рассмотрим вариант с шариковым радиально-упорным подшипником средней серии № 46310, с углом контакта 26°, у которого

*Со*= 44800  *Н*;   *С* = 56300  *Н*.

Все параметры и коэффициенты остаются без изменения. Поэтому сразу выделим:

Ресурс:   *L = (С/P)3 =* (56300/5700)3 = 970  (*млн.об*.)

Долговечность:*Lh = L .106/60n =*970.106/60 .1400 = 11600  (*час*.)

Такая расчетная долговечность подшипника для зубчатого редуктора приемлема (*Lh min*  = 10000 *час*.).

***3. Содержание работы***

- Расшифровка условного обозначения подшипников качения,

- определение области их применения,

- установление основных геометрических параметров и вычерчивание подшипников качения с указанием всех размеров,

- подбор подшипников качения и выполнение проверочного расчета на долговечность.

***4. Оборудование и инструмент***

1)  Набор подшипников качения

2)  Штангенциркуль

3)  Каталог подшипников качения

4)  Плакаты

***5. Порядок выполнения работы***

Подгруппа (2-3 студента) получает подшипники и мерительный инструмент.

1) Изучить теоретический материал.

2) Рассмотреть комплект подшипников качения.

3) Записать маркировку (условное обозначение) подшипников и, пользуясь настоящим пособием и технической литературой, выполнить расшифровку условных обозначений.

4) Установить назначение каждого подшипника качения и область его применения.

5) Штангенциркулем измерить все геометрические параметры подшипников.

6) Сравнить внутренние диаметры подшипников, полученные из условного обозначения и измеренные.

7) Каждый студент должен выполнить эскизы трёх различных подшипников с простановкой основных размеров: *d*- внутренний диаметр,  *D* - наружный диаметр,*b* - ширина,  *r* и  *r*1- радиусы скругления внутреннего и наружного колец.

8) Определить ориентировочно материал деталей подшипников.

8) Подобрать подшипник и рассчитать его долговечность исходя из исходных данных, приведенных в таблице 14.

9) Оформить отчет о выполненной работе.

В процессе выполнения  работы студенты обмениваются подшипниками с целью более широкого ознакомления с различными их типами и изучения более широкого спектра конструктивных отличий в подшипниках. Желательно ознакомиться  со всеми типами подшипников:  шариковыми, роликовыми, игольчатыми, коническими, сферическими, радиальными, упорными,….

Студент оформляет отчёт  на листах стандартного формата (210х290 мм) с указанием на титульном листе наименования работы, наименования кафедры, № группы и фамилии исполнителя.

В отчёте приводятся эскизы подшипников с основными габаритными размерами, даётся расшифровка цифровых и буквенных обозначений. Указывается материал деталей подшипников, описывается краткая характеристика подшипников по назначению и применению.

Таблица 14. Исходные данные для подбора и расчета подшипника

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *Fr1*, *Н* | *Fr2*, *Н* | *Fа*, *Н* | *n*, *об/мин* | *d*, *мм* | Вращается  кольцо | Характер  нагрузки | Рабочая температура  подшипника, *°С* | *Lh min*,  *час* |
| 1 | 2700 | 1200 | 0 | 940 | 40 | внутреннее | спокойная | 125 | 12000 |
| 2 | 1400 | 1950 | 30 | 1450 | 30 | внутреннее | легкие толчки | 100 | 10000 |
| 3 | 2300 | 2500 | 120 | 935 | 45 | наружное | умеренные толчки | 110 | 12000 |
| 4 | 3200 | 1600 | 1400 | 1000 | 50 | наружное | значител. толчки | 130 | 10000 |
| 5 | 3500 | 1500 | 2000 | 200 | 55 | внутреннее | легкие толчки | 115 | 12000 |

*Примечание.* Схему нагружения подшипников принять самостоятельно по таблице 13.

***6. Вопросы для самоконтроля***

1. Назначение подшипников качения.

2. Устройство подшипников качения.

3. Достоинства и недостатки подшипников качения.

4. Классификация подшипников качения.

5. Какую нагрузку воспринимают различные типы подшипников?

6. Почему роликовые подшипники воспринимают большую нагрузку чем шариковые?

7. Почему шариковый радиально-упорный подшипник воспринимает большую нагрузку чем шариковый радиальный?

8. Что указывается в условном обозначении подшипника?

9. Подбор и расчет радиального подшипника.

10. В каких случаях выбирают радиально-упорные подшипники?

11. Особенности расчета радиально-упорного подшипника?

12. Назначение подшипников качения, их преимущества и недостатки в сравнении с подшипниками скольжения.

13. Классификация подшипников качения по форме тел качения и направлению воспринимаемой нагрузки.

14. Расшифровка маркировки подшипников (порядок расположения цифр в условном обозначении и их назначение).

15. Материал и термическая обработка деталей подшипников.

16. Наиболее характерные разновидности конструктивного исполнения подшипников.

17. Пределы применимости в общем машиностроении, представленных на эскизах подшипников.

***7. Список использованной литературы***

1) Иванов М.Н. Детали машин: Учебник для вузов/ М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. - М.: Высшая шк., 2019.- 408 с.

2) Решетов Д.Н. Детали машин: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 2017.- 656 с.

3) Гузенков П.Г. Детали машин: Учебник для вузов.- М.: Высшая шк., 2019.- 395 с.

4) Подшипники качения справочник – каталог. Под ред. Нарышкина и Коросташевского Р.В. – М.: Машиностроение, 2018. – 542 с.

5) Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 2. – 5-е издание перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2017. – 559 с.

6) Подшипники качения. Государственные стандарты России. – В 2-х ч. Ч.1. – М.: Стандартов, 2018. – 439 с.

7) Подшипники качения. Государственные стандарты России. – В 2-х ч. Ч.2. – М.: Стандартов, 2019. – 432 с.