

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Гусеничные машины»

Отделение «Машиноведение и детали машин»

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Методические указания

к выполнению лабораторной работы по курсу

«Прикладная механика», «Механика»

для студентов направлений (специальностей)

140200 (140211), 220300 (220301),

280100 (280101), 190700 (190702)

Курган 2010

Кафедра: «Гусеничные машины»

Дисциплина: «Прикладная механика», «Механика»

Направления (специальности):

140200 (140211) – Электроснабжение;

220300 (220301) – Автоматизация технологических процессов и производств (в машиностроении);

280100 (280101) – Безопасность жизнедеятельности в техносфере;

190700 (190702) – Организация и безопасность движения (автомобильный транспорт).

Составили: канд. техн. наук, доцент В.К. Набоков
канд. техн. наук, доцент Д.А. Курасов
канд. техн. наук, доцент Г.Ю. Волков

Утверждены на заседании кафедры « 9 » декабря 2009 г.

Рекомендованы методическим советом университета

« 11 » января 2010 г.

ВВЕДЕНИЕ

Широкое распространение подшипников качения в машиностроении обусловлено малыми потерями на трение, относительно низкой стоимостью в условиях массового производства. Высокая степень стандартизации производства подшипников качения обеспечивает ремонтпригодность машин и механизмов с подшипниками качения, снижает стоимость затрат на обслуживание в эксплуатации.

Целью лабораторной работы является закрепление навыков студентов в выборе подшипников качения для узлов и механизмов, изучаемых в курсе «Прикладная механика» или «Механика».

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОДШИПНИКАХ

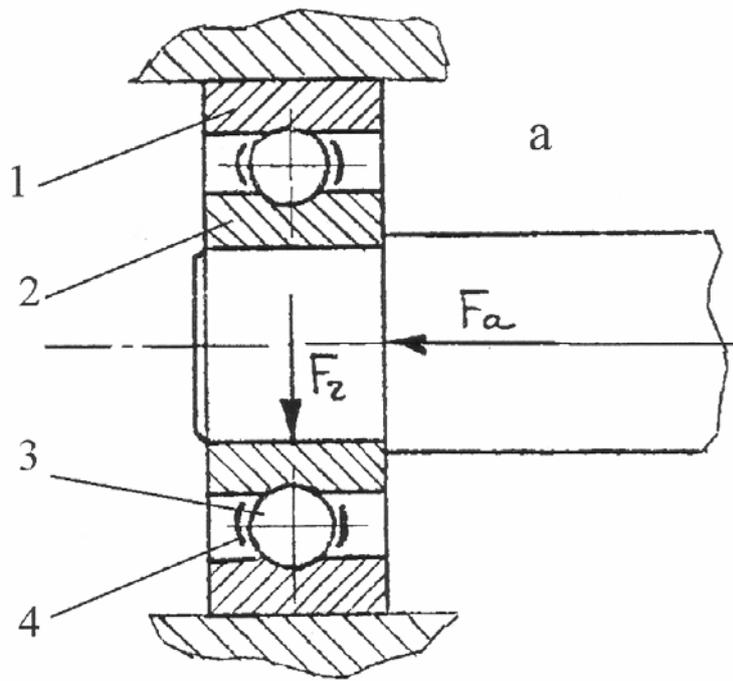
Опорами валов и вращающихся осей являются подшипники. Слово «подшипник» произошло от слова «шип» которым называют один из элементов вала. Этой частью вал и опирается на какой-либо подшипник. Основное назначение подшипников – воспринимать действующие на вал или ось нагрузки и обеспечивать беспрепятственное их вращение. В зависимости от того, что возникает при вращении вала в месте контакта его с опорой – трение скольжения или трение качения, – подшипники соответственно называются подшипниками скольжения или подшипниками качения. Опоры вала с обоими видами подшипников показаны на рис. 1.

В предлагаемых методических указаниях при выполнении лабораторной работы рассматриваются подшипники качения. Следует сразу же отметить, что подшипники качения являются основным видом опор в современном машиностроении. Отечественной промышленностью освоен выпуск более 1000 типоразмеров подшипников в диапазоне наружных диаметров от 1 мм до 3 м и весом от 0,5 г до 3,5 т.

Подшипники качения представляют собой готовый узел (рис. 1), состоящий из двух колец, наружного 1 и внутреннего 2, тел качения 3 (шариков или роликов) и сепаратора 4. Сепаратор удерживает тела качения на определенном расстоянии. На кольцах, т.е. на внутренней поверхности наружного кольца и на наружной поверхности внутреннего кольца, выполнены канавки, по которым катятся шарики или ролики. Все эти детали изготовлены из высоколегированных износостойких сталей ШХ-6, ШХ-9, ШХ-15, 18ХГТ, 20Х2НЧА. Твердость тел качения и колец составляет НRс 61...66.

Достоинства подшипников качения:

- сравнительно малая стоимость вследствие массового производства подшипников;
- малые потери на трение и незначительный нагрев;
- малый расход смазочного материала;
- не требуют особого внимания и ухода;
- высокая степень стандартизации, что облегчает монтаж и ремонт машин.



F_r – радиальная нагрузка
на подшипник
 F_a – осевая нагрузка

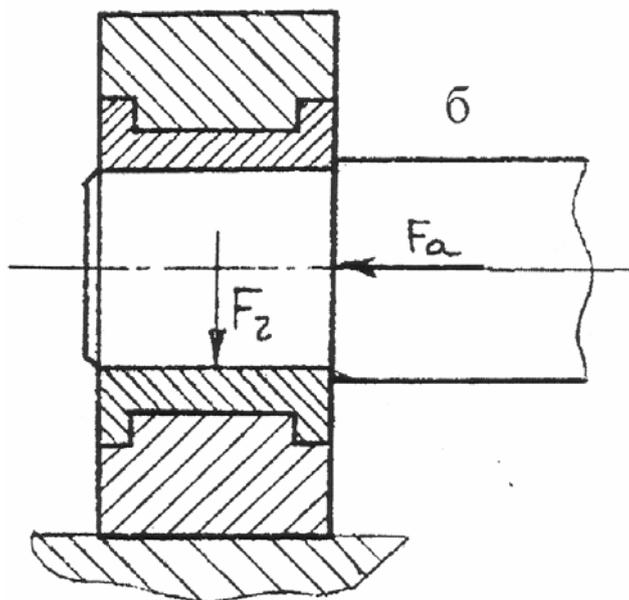


Рис. 1. Опора вала (или оси)
а – подшипник качения;
б – подшипник скольжения.

Недостатки:

- высокая чувствительность к ударным и вибрационным нагрузкам вследствие большой жесткости конструкции подшипника;
- малая надежность в высокоскоростных приводах из-за чрезмерного нагрева и опасности разрушения сепаратора;
- сравнительно большие радиальные размеры.

2. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПОДШИПНИКОВ

В промышленности производятся и используются подшипники качения десяти основных типов, которые имеют соответствующие обозначения: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 (см. рис. 2).

Тип «0» – шариковый радиальный однорядный подшипник. Это самый распространенный в машиностроении подшипник. Такие подшипники могут воспринимать не только радиальные, но и осевые нагрузки, действующие в обоих направлениях вдоль оси вала и не превышающие 70% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки. Эти подшипники работают с минимальными потерями на трение и, следовательно, обладают большой быстроходностью при соответствующих конструкциях и материале сепараторов. Они дешевы, допускают перекося внутреннего кольца относительно наружного до $0^{\circ}10'$. Подшипники устанавливаются на жестких двухопорных валах, прогиб которых под действием внешних сил не вызывает чрезмерного углового смещения оси вала относительно оси посадочного отверстия, т.е. на валах с расстоянием между опорами $L \leq 10 \cdot d$ (d – диаметр вала). Подшипник выполняется обычно со стальными пластинчатыми сепараторами, две половинки которых соединены заклепками. При высоких скоростях (более 15 м/с) применяются массивные сепараторы из латуни, бронзы, пластмасс.

Тип «1» – шариковый радиальный двухрядный сферический подшипник. Он предназначен для восприятия радиальных нагрузок, но может воспринимать одновременно и небольшую осевую нагрузку (до 20% величины неиспользованной радиальной). Сферическая форма дорожки качения на наружном кольце позволяет внутреннему кольцу посредством шариков самоустанавливаться, обеспечивая нормальную работу подшипника даже при значительном (порядка $2^{\circ} \dots 3^{\circ}$) перекося внутреннего кольца относительно наружного, возникающего в результате больших прогибов вала или при наличии технологических погрешностей изготовления опор вала.

Тип «2» – роликовый радиальный подшипник с короткими цилиндрическими роликами. Такие подшипники обладают большей (приблизительно в 1,7 раза) радиальной грузоподъемностью по сравнению с равно-габаритными радиальными шарикоподшипниками, но по скоростным характеристикам несколько им уступают. Подшипник легко разбирается в осевом направлении и допускает некоторое осевое взаимное смещение колец, что очень важно при осевой самоустановке вала. Подшипники с цилиндрическими роликами очень чувствительны к перекосям внутренних колец относительно наружных, поэтому требуют точной соосности посадочных

мест. Различаются восемь стандартных разновидностей конструкций таких подшипников. Отличаются они между собой тем, что на одном или обоих кольцах подшипника имеются бурты для фиксации валов. Такие подшипники устанавливаются на жестких коротких двухопорных валах.

Тип «3» – роликовый радиальный двухрядный сферический подшипник. Предназначен для восприятия особо больших радиальных нагрузок, но может одновременно воспринимать и осевую нагрузку, действующую в обоих направлениях (реверсивные передачи), величиной до 25% от неиспользованной радиальной. Устанавливать такие подшипники для работы при чисто осевой нагрузке не рекомендуется, так как в этом случае нагрузку будет воспринимать лишь один ряд роликов. Такие подшипники обладают значительно более высокой грузоподъемностью, чем сферические шарикоподшипники. Допустимая частота вращения у них значительно ниже, чем у подшипников с короткими цилиндрическими роликами. Ввиду того, что ролики бочкообразные и опираются они на внутреннюю сферическую поверхность наружного кольца, внутреннее кольцо становится самоустанавливающимся, что позволяет таким подшипникам работать при возможном перекосе валов порядка $2^\circ \dots 3^\circ$.

Тип «4» – роликовые радиальные подшипники с длинными (игольчатыми) цилиндрическими роликами. Такие подшипники предназначены для восприятия только радиальных нагрузок и не могут воспринимать осевые нагрузки. Обладают относительно меньшими габаритными размерами в радиальном направлении по сравнению с подшипниками других типов, при одинаковой с ними грузоподъемности, что позволяет применять их в ограниченном пространстве. Иглы таких подшипников могут иметь диаметр $d = 1,6 \dots 6,0$ мм, а длину в 4... 10 раз большую. При этом подшипники не допускают перекоса колец и несоосности посадочных мест. Особенно широко эти подшипники применяются для работы в режиме качательного движения.

Тип «5» – роликовый подшипник с витыми роликами. Предназначен для восприятия только радиальных нагрузок ударного характера. Перекос внутреннего кольца (вала) относительно наружного кольца (корпуса) за счет упругой деформации витых роликов ведет к некоторому снижению долговечности подшипника. По сравнению с роликовыми подшипниками они имеют примерно вдвое меньшую грузоподъемность и могут работать только при небольших частотах. Подшипники такого типа применяются мало и их применение сокращается.

Тип «6» – шариковый радиально - упорный подшипник. Он предназначен для комбинированных (радиальных и осевых) или чисто осевых нагрузок. Его радиальная грузоподъемность на 30-40% выше, чем у радиального однорядного подшипника. Это достигается тем, что у радиально-упорного подшипника один из бортов наружного кольца срезан почти полностью и благодаря этому в подшипнике устанавливается примерно на 45% больше шариков того же диаметра, чем у радиального. Способность воспринимать осевую нагрузку определяется величиной угла α контакта шариков с наружным кольцом. Углы α могут быть: 12° , 26° , 36° . При большей осевой силе выбирается подшипник с большим углом контакта.

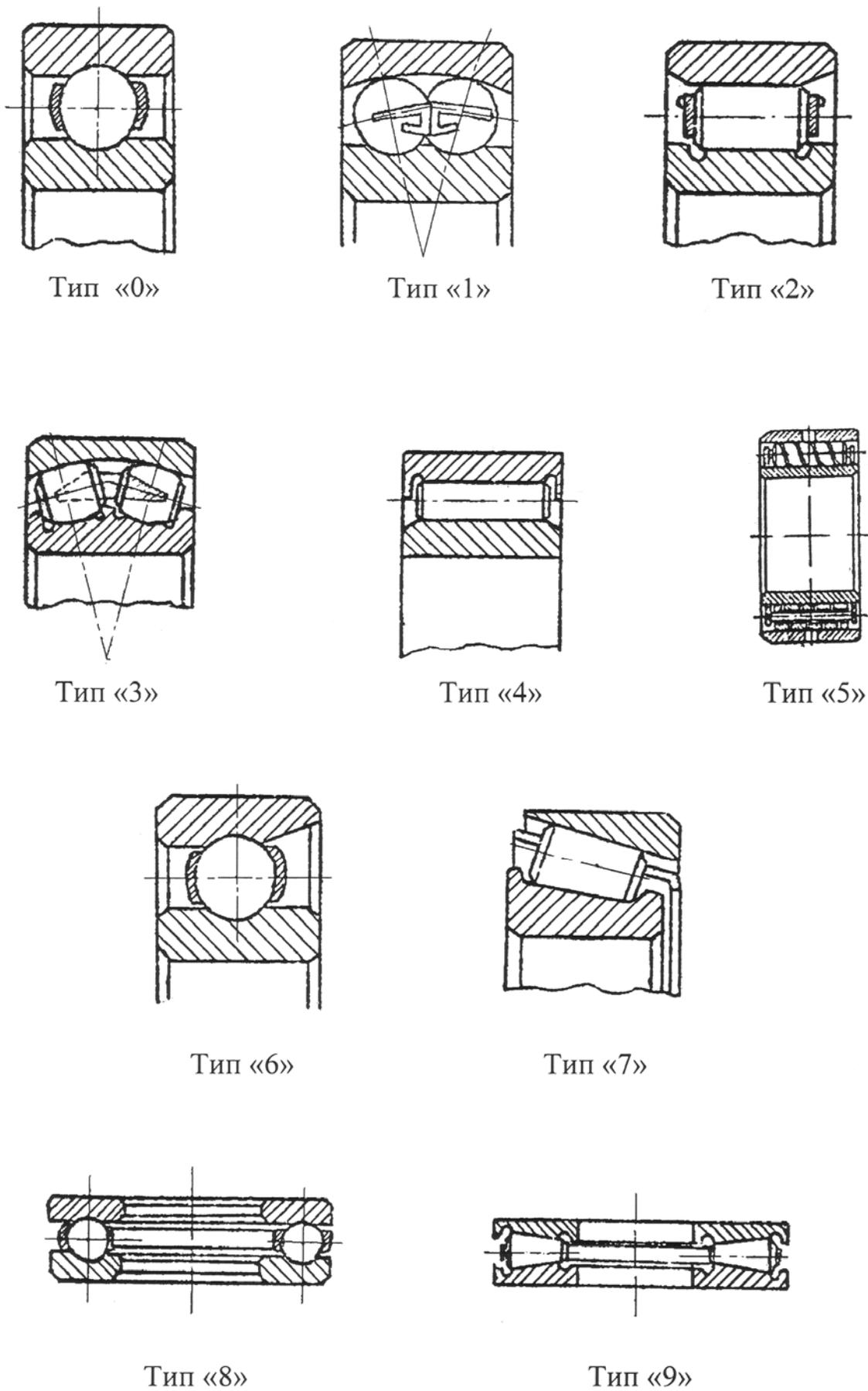


Рис. 2. Типы подшипников качения

Допустимая осевая нагрузка в зависимости от угла α :

Угол контакта α , град:	12	26	36.
Допустимая осевая нагрузка F_a :	$0,77 F_r$	$1,5 F_r$	$2,0 F_r$,

где F_r – допустимая радиальная нагрузка, Н.

Тип «7» – роликовый радиально-упорный подшипник с коническими роликами. Предназначен для восприятия значительных одновременно действующих радиальных и осевых нагрузок. Допустимая частота вращения таких подшипников по сравнению с подшипниками, имеющими цилиндрические ролики, значительно ниже. Грузоподъемность в среднем в 1,9 раза выше, чем у однорядного шарикового радиального подшипника. Способность к восприятию осевой нагрузки определяется углом конусности α наружного кольца. При его увеличении осевая грузоподъемность возрастает, при этом уменьшается радиальная. Обычно угол контакта ролика с наружным кольцом $\alpha = 10^\circ \dots 16^\circ$. Однако при передаче особо больших осевых нагрузок этот угол выполняется равным $\alpha = 25^\circ \dots 30^\circ$. Конические роликоподшипники удобны при сборке, разборке и регулировке зазоров, поэтому они широко распространены.

Тип «8» – шариковый упорный и упорно-радиальный подшипники предназначены для восприятия только осевых нагрузок. В основном такие подшипники применяются в качестве опор вертикальных валов. Рекомендуется их использовать при низких и средних числах оборотов валов, так как при высоких оборотах на работу подшипников оказывают влияние центробежные силы.

Тип «9» – роликовый упорный и упорно-радиальный подшипники. Выдерживают нагрузки значительно большие, чем упорный шариковый подшипник, но работают только на самых малых скоростях вращения вала.

3. МАРКИРОВКА ПОДШИПНИКОВ

Подшипники качения маркируют нанесением на торцы колец ряда цифр, условно обозначающих внутренний диаметр, серию, тип, конструктивные разновидности, класс точности и др.

Две первые цифры справа обозначают внутренний диаметр подшипника. Для подшипников с $d = 20 \dots 495$ мм размер внутреннего диаметра определяется умножением указанных двух цифр на 5. Так подшипник 7309 имеет внутренний диаметр $d = 45$ мм. Что касается подшипников с малыми внутренними диаметрами, т.е. диаметрами менее 20 мм, то это правило не применяется и диаметры таких подшипников следует просто запомнить. Так, подшипники, имеющие последние цифры 00, 01, 02, 03, имеют диаметры 10, 12, 15 и 17 мм. Для всех подшипников с диаметрами до 9 мм включительно первая цифра справа условного обозначения указывает фактический размер диаметра подшипника в мм.

Третья цифра справа обозначает серию. Серия определяет габариты подшипника (рис. 3). Каждый тип подшипника при одном и том же внутреннем

диаметре может иметь различные размеры наружного кольца (наружный диаметр и ширину).

Серии имеют следующие обозначения:

- сверхлегкая серия - 0;
- особо легкая серия - 1;
- легкая серия - 2;
- средняя серия - 3;
- тяжелая серия - 4;
- легкая широкая серия - 5;
- средняя широкая серия - 6.

Подшипник 7309 относится к средней серии диаметров. Для подшипников с диаметром до 9 мм серию обозначает вторая цифра справа. Подшипник 25 относится к легкой серии и соответствует диаметру вала 5 мм.

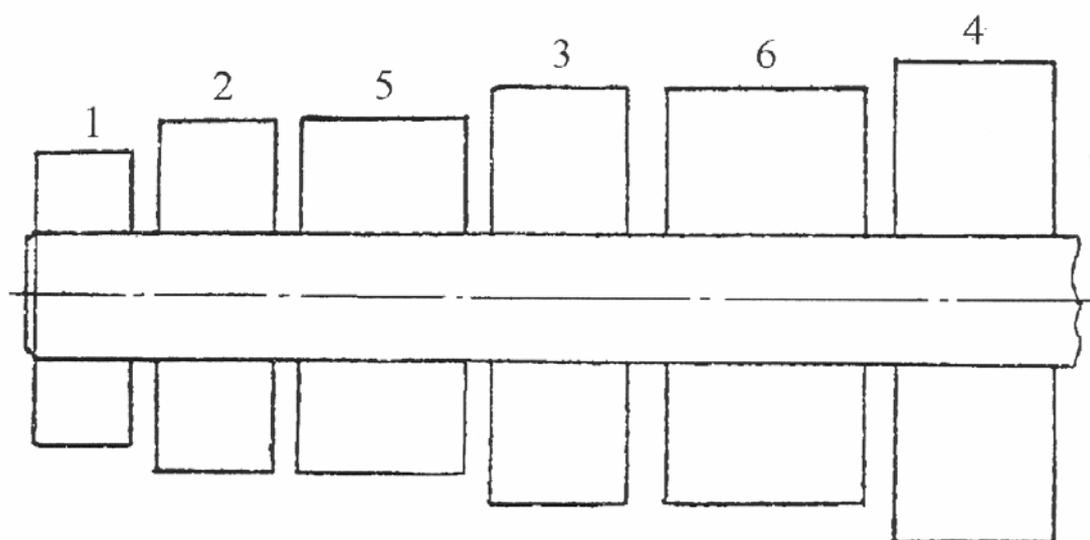


Рис. 3. Примерное соотношение габаритных размеров подшипников качения одного и того же внутреннего диаметра, но разных серий:

- 1 – особо легкая; 2 – легкая; 3 – средняя;
- 4 – тяжелая; 5 – легкая широкая; 6 – средняя широкая

Четвертая цифра справа обозначает тип подшипника. Типы подшипников рассмотрены нами в разделе 2.

Приведенный выше для примера подшипник 7309 является роликовым коническим. Подшипник 25 – шариковый радиальный. Этот тип подшипника, обозначаемый цифрой «0», в маркировке не указывается, если слева от «0» нет других цифр.

Пятая или пятая и шестая цифры справа обозначают отклонение конструкции подшипника от основного типа. Например, на подшипнике имеется дополнительный буртик, кольцевая канавка, фаска увеличенного размера, щитки для удержания пластичной смазки, отверстие – все это должно быть отражено пятой и шестой цифрой.

Седьмая цифра справа обозначает серию ширины.

Если подшипник имеет нормальную ширину и не имеет конструктивных особенностей, тогда его обозначение включает в себя только четыре цифры. А если при этом он является шариковым радиальным, то три цифры (или даже две для диаметров вала $d \leq 9$ мм).

Перед номером подшипника через тире может стоять еще одна цифра, обозначающая его точность. Нормальный класс точности обозначается цифрой «0», но она в маркировке не проставляется. Повышенная точность обозначается цифрой «6», высокая точность – «5», особо высокая – «4», сверхвысокая – «2».

4. РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Расчет долговечности подшипника производится исходя из его динамической грузоподъемности «С». Под динамической грузоподъемностью радиальных и радиально-упорных подшипников понимается постоянная, радиальная нагрузка, которую подшипник с неподвижным наружным кольцом сможет выдержать в течение расчетного срока службы. При частоте вращения вала больше 1 об/мин расчет ведут по динамической грузоподъемности «С», при частоте меньше 1 об/мин – по статической грузоподъемности «С₀».

Если частота вращения вала постоянная, номинальную долговечность в рабочих часах определяют по формуле:

$$L_H = \left(\frac{C}{P_{\Sigma}} \right)^m \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}, \quad (1)$$

где n – частота вращения вала, об/мин;

C – динамическая грузоподъемность, Н;

P_{Σ} – эквивалентная динамическая нагрузка, Н;

m – показатель степени (для шариковых подшипников – 3, для роликовых – 3,33);

Рекомендуемое значение расчетной долговечности L_H для стационарных электродвигателей и редукторов общего назначения – 12000 часов. Расчетные долговечности подшипников для других машин приведены в приложении.

Из формулы (1) следует, что при увеличении эквивалентной нагрузки P_{Σ} вдвое – расчетная долговечность уменьшится в 8 раз для шарикоподшипников и в 10 раз для роликоподшипников. Необходимо как можно точнее определять действующие на подшипник нагрузки.

Эквивалентная нагрузка для радиальных и радиально-упорных подшипников

$$P_{\Sigma} = (X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a) K_{\sigma} \cdot K_T, \quad (2)$$

где F_r – постоянная по величине и направлению радиальная нагрузка, действующая на подшипник, Н;

F_a – осевая нагрузка от зубчатого зацепления, действующая на подшипник, Н;

X – коэффициент радиальной нагрузки (см. в каталоге для данного типа подшипника [1, 6, 8]);

Y – коэффициент осевой нагрузки (см. в каталоге для данного типа подшипника [1, 6, 8]);

V – коэффициент (вращение внутреннего кольца – 1, вращение наружного кольца – 1,2);

K_{σ} – коэффициент безопасности (зависит от характера нагрузки на подшипники): спокойная нагрузка – $K_{\sigma} = 1$; нагрузка с лёгкими толчками – $K_{\sigma} = 1 \div 1,2$; нагрузка с умеренными толчками – $K_{\sigma} = 1,3 \div 1,8$; нагрузка с сильными ударами – $K_{\sigma} = 2 \div 3$;

K_T – температурный коэффициент. Он зависит от рабочей температуры подшипника (вводится при $t \geq 100 \text{ C}^{\circ}$);

при $t =$	125 C [°]	150 C [°]	200 C [°]	250 C [°]
$K_T =$	1,05	1,1	1,25	1,4

При выборе шарикоподшипники предпочтительнее роликоподшипников, т.к. имеют более низкую стоимость и относительно большую долговечность. Для повышения компактности подшипниковых узлов и снижения их массы (следовательно, габаритов и массы машин и механизмов в целом) не следует чрезмерно завышать расчетную долговечность подшипников. Кроме того, моменты трения, энергетические потери и предельная быстроходность у подшипников более тяжелых серий менее благоприятны.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить от преподавателя какой-либо подшипник и необходимую справочную литературу.
2. Записать номер подшипника и расшифровать его, пояснив значения каждой цифры.
3. Найти изучаемый подшипник в каталоге и заполнить для него табл. 1.

Таблица 1

Номер подшипника	Серия	d	D	B	C, кН	C ₀ , кН	Масса кг
	Легкая						
	Средняя						
	Тяжелая						

4. Найти в каталоге подшипники такого же типа и с таким же диаметром вала еще двух серий (если выбранный Вами подшипник средней серии, то найти аналогичные подшипники легкой и тяжелой серий и т.д.) и добавить их данные в табл. 1.

5. Начертить контуры всех выбранных подшипников в масштабе 1:1, как показано на рис. 3.
6. Определить долговечность L_H (часов) выбранных подшипников при эквивалентной нагрузке P_{Σ} (Н) и числе оборотов вала n (об/мин), указанных преподавателем, по формуле (1).
7. Ответить на вопрос: «Для какого оборудования приемлема полученная долговечность подшипника?»

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего в узлах машин устанавливают подшипники? Их назначение.
2. Чем принципиально отличаются подшипники качения от подшипников скольжения?
3. Каковы основные достоинства подшипников качения?
4. Каковы недостатки подшипников качения?
5. Как устроен подшипник качения?
6. Из каких материалов изготавливают детали подшипников качения?
7. По каким признакам классифицируют подшипники качения?
8. Какие Вы знаете тела качения в подшипниках?
9. Как классифицируются подшипники по воспринимаемым нагрузкам?
10. Как понять термин «самоустанавливаемость» подшипников? В каких случаях она происходит?
11. Какие серии подшипников Вы знаете? Чем отличается одна серия от другой?
12. Как расшифровывается марка подшипника?
13. Как обозначаются легкая, средняя и тяжелые серии?
14. Что обозначают пятая и шестая цифры?
15. Как обозначается точность изготовления подшипника?
16. Какие основные типы подшипников Вам известны?
17. Как проверяется работоспособность выбранного подшипника?
18. Как следует поступать, если рассчитанная долговечность значительно отличается от рекомендуемой долговечности?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / Под. ред. И.Н. Жестоковой. – Перераб. и доп. - М.: Машиностроение – 1, 2006. - Т. 3. – 927 с.
2. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. – Перераб. и доп. – М.: Академия, 2004. – 496 с.
3. Скойбеда А.Т. Детали машин и основы конструирования. – Минск: Вышэйшая шк, 2000. – 584 с.
4. Тимофеев СИ. Детали машин. – Ростов-н/Д.: Феникс, 2005. – 408 с.

5. Кудрявцев В.И. Детали машин. – Л.: Машиностроение, 1980. – 463 с.
6. Бейзельман Р.Д., Цыпкин Б.В., Перель Л.Я. Подшипники качения: Справочник. – М.: Машиностроение, 1975. – 574 с.
7. Перель Л.Я. Подшипники качения. Расчет, проектирование и обслуживание опор: Справочник. – М.: Машиностроение, 1992. – 606 с.
8. Подшипники качения: Справочник – каталог / Под ред. В.Н. Нарышкина, Р.В. Коросташевского. – М.: Машиностроение, 1984. – 278 с.

Приложение 1

Рекомендуемые значения расчетной долговечности L_H для различных типов машин и оборудования [3]

№ п/п	Машины и оборудование	L_H , ч
1	2	3
1.	Приборы и аппараты, используемые периодически (демонстрационная аппаратура, механизмы для закрывания дверей, бытовые приборы)	500
2.	Механизмы, используемые в течение коротких периодов времени (механизмы с ручным приводом, сельскохозяйственные машины, подъемные краны в сборочных цехах, легкие конвейеры)	≥ 1000
3.	Ответственные механизмы, работающие с перерывами (вспомогательные механизмы на силовых станциях, конвейеры для поточного производства, лифты, нечасто используемые металлообрабатывающие станки)	≥ 8000
4.	Машины для односменной работы с неполной нагрузкой (стационарные электродвигатели, редукторы общего назначения)	≥ 12000
5.	Машины, работающие с полной загрузкой в одну смену (машины общего машиностроения, подъемные краны, вентиляторы, распределительные валы)	≈ 20000
6.	Машины для круглосуточного использования (компрессоры, насосы, шахтные подъемники, стационарные электромашины, судовые приводы)	≥ 40000
7.	Непрерывно работающие машины с высокой нагрузкой (оборудование бумагоделательных фабрик, энергетические установки, шахтные насосы, оборудование торговых морских судов)	≥ 100000

Владимир Кузьмич Набоков
Дмитрий Алексеевич Курасов
Глеб Юрьевич Волков

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы по курсу
«Прикладная механика», «Механика»
для студентов направлений (специальностей)
140200 (140211), 220300 (220301),
280100 (280101), 190700 (190702)

Редактор Н.Л. Попова

Подписано к печати	Формат 60 x 84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать офсетная	Усл. печ. л. 1,0	Уч. - изд. л. 1,0
Заказ	Тираж 200	Цена свободная

РИЦ Курганского государственного университета.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.