

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

Утверждаю

Декан МСФ



Р.И. Дедюх

“09”

11

2009 г.

Э.Л.Вольф, Ан И–Кан

**ВАЛЫ В СБОРЕ: ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ  
ОПОРНЫХ УЗЛОВ. ЧАСТЬ 2.**

Методические указания к выполнению заданий по  
самостоятельной аудиторной работе со студентами  
немашиностроительных специальностей по курсу  
«Прикладная механика»

Издательство  
Томского политехнического университета  
2009

УДК 621.824–752(076)  
ББК 34.445я7  
В72

**Вольф Э.Л., Ан И–Кан**

В72 Валы в сборе: типовые конструкции опорных узлов. Часть 2.  
Методические указания к выполнению заданий по самостоятельной аудиторной работе со студентами немашиностроительных специальностей по курсу «Прикладная механика» /Э.Л.Вольф, Ан И–Кан – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – с.

УДК 621.824–752(076)  
ББК 34.445я7

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры теоретической и прикладной механики МСФ «\_\_» ноября 2009 г.

Зав. кафедрой ТПМ  
доц., канд. техн. наук

 В.М. Замятин

Председатель  
учебно-методической комиссии

 Н.А. Куприянов

*Рецензент*  
доцент, кандидат технических наук  
Д.П. Снигирёв

© Вольф Э.Л., Ан И–Кан, 2009  
© Томский политехнический университет, 2009  
© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2009

## Введение

Работоспособное состояние машины заключается в способности выполнять заданные функции, сохраняя значения параметров ее работы в установленных технической документацией пределах. Внутреннее комплексное свойство машины, связанное с обеспечением ее работоспособного состояния, носит название надежности. В механических системах, состоящих из кинематических цепей и групп, кинематических соединений и кинематических пар, соединений разъемных и неразъемных, звеньев и деталей, надежность в целом будет определяться надежностью каждого из перечисленных элементов, которые соединяются между собой последовательным, параллельным либо смешанным способами. Надежность элементов системы связана также и со свойствами конструкционных материалов, применяемых для их изготовления. У этого свойства, каковым выступает надежность, просматривается три аспекта: конструкционный, технологический и эксплуатационный. Если рассматривать эксплуатационную надежность, то она может быть оценена через такие показатели как безотказность и долговечность. Эти показатели приобретают одинаковое значение, когда речь идет о невосстанавливаемых механических системах, например, подшипниках качения.

Подшипники входят в состав практически любой машины. По кинематическому признаку опорные устройства (подшипники скольжения или качения) можно рассматривать как роторную систему. Общие требования к такого рода системам включают в себя, прежде всего, стремления уменьшить момент сопротивления вращению, а также шум и вибрации. Исходя из этих соображений, излагается материал методических указаний.

### О типах подшипников качения

Конструктивные особенности подшипников определяются их типами, среди которых можно выделить десять:

1. Шариковый радиальный однорядный.
2. Шариковый радиальный двухрядный сферический.
3. Роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами.
4. Роликовый радиальный двухрядный сферический.
5. Роликовый (с длинными цилиндрическими роликами) радиальный игольчатый.
6. Роликовый радиальный с витыми роликами.

7. Шариковый радиально упорный.
8. Роликовый конический.
9. Шариковый упорный.
10. Роликовый упорный.

Во всех названных типах подшипников качения в качестве тел качения выступают шарики или ролики. Через эти элементы передаются с одного кольца на другое только сосредоточенные силы.

По направлению воспринимаемых усилий подшипники делятся на радиальные, радиально-упорные, упорно-радиальные и упорные. Различие между ними определяется численным значением угла контакта  $\alpha$ , т.е. угла между главной центральной осью тела качения и соответствующей осью внутреннего кольца подшипника. Для радиального подшипника угол  $\alpha=0^\circ$ , для радиально-упорного угол может изменяться от  $0^\circ$  до  $45^\circ$ . Упорно-радиальные подшипники имеют  $45^\circ < \alpha < 90^\circ$ , а в упорных  $\alpha=90^\circ$ .

Таблица 1

Ориентировочные значения угла контактно « $\alpha$ » при различных соотношениях радиальной « $F_r$ » и осевой « $F_a$ » составляющих комбинированной нагрузки

$F_a/F_r \cdot V$	$\alpha$ , град.	Тип подшипника	$\alpha$ , град.	Тип подшипника
0,3	ШАРИКОПОДШИПНИКИ		РОЛИКОПОДШИПНИКИ	
	0	Радиальный однорядный	6...10	Сферический двухрядный
0,3...0,5	12	Радиально-упорный	10...16	Конический (радиально- упорный)
0,5...0,8	26		20...28	
0,8...1,5	36			
> 1,5	>45	Упорно-радиальный	>45	Упорно-радиальный сферический со сфероконическими роликами

ПРИМЕЧАНИЕ: « $V$ » - коэффициент вращения.

Анализ табличных данных позволяет выявить ещё и такие классификационные признаки подшипников качения как форма тел качения – шариковые и роликовые (цилиндрические, конические, бочкообразные, игольчатые, витые ролики); число рядов тел качения – однорядные и многорядные; способность самоустанавливаться, например, сферический подшипник является самоустанавливающимся;

нагрузочная способность. Последний признак позволяет классифицировать подшипники по габаритным размерам. В этом случае ведется речь о серии подшипника, которых всего 7. Под серией подразумевают соотношение размеров деталей подшипника – тел качения и колец, в основном наружного. При переходе для подшипника одного типа от лёгкой (Л) к средней (С) и далее тяжелой (Т) серии не изменяется только диаметр отверстия внутреннего кольца. Сепаратор разделяет тела качения и направляет их по беговым дорожкам концентрических колец. При этом он является свободно плавающей и вращающейся деталью, выполняющей роль своеобразного водила (аналогия с планетарным механизмом).

В особый ряд следует выделить такой классификационный признак как точность изготовления. Точность изготовления во многом определяет работоспособное состояние подшипника и его стоимость. По классам точности подшипники делят на: 0 (нормальный класс), 6 (повышенный), 5 (высокий), 4 (особо высокий), 2 (сверхвысокий). При этом точность изготовления подшипника качения понижается при переходе от 2 кл. к 0 кл. Это наглядно иллюстрируется через величину радиальных биений:

Класс точности	0	6	5	4	2
Биение, мкм	20	10	5	3	2,5

Эти данные приведены для радиальных биений внутренних колец подшипников, диаметры которых лежат в пределах 50÷80 мм.

В тоже время применение подшипников сверхвысокой точности изготовления приводит к резкому удорожанию опорного узла машины. Подтверждением этому являются следующие табличные данные (подшипники одного типоразмера, но разного класса точности):

Класс точности	0	6	5	4	2
Относ. стоимость	1	1,3	2	4	10

### **О структуре и кинематике**

Структурная схема подшипника качения позволяет отнести его к планетарному механизму с внешним и внутренним зацеплением. При таком подходе не вращающееся наружное кольцо подшипника качения можно по выполняемой функции считать корончатым колесом, а внутреннее кольцо – солнечным. Тела качения можно отнести к сателлитам. Что касается сепаратора, то как отмечено ранее, ему можно придать роль своеобразного водила. В тоже время в местах контакта тел

качения с беговыми дорожками колец и посадочной поверхностью сепаратора при нормальном функционировании подшипника трения скольжения не происходит. Данное обстоятельство обеспечивает отсутствие действия внешнего момента от сил сопротивления трения скольжения. Поэтому момент от сил сопротивления вращению

$$T_e = f_{m.k} F_R \frac{d}{2},$$

где  $f_{m.k}$  – коэффициент трения качения;  
 $F_R$  – радиальная нагрузка подшипника;  
 $d$  – диаметр внутреннего кольца.

Таблица

Коэффициенты трения « $f$ » подшипников различных типов

Тип подшипника (шариковый)	$f$	Тип подшипника (роликовый)	$f$
Радиальный	0,0015	Радиальный с короткими цилиндрическими роликами	0,0011
Радиальный сферический	0,0010	Игольчатый	0,0025
Радиально-упорный однорядный	0,0020	Радиальный сферический	0,0018
Радиально-упорный двухрядный	0,0024	Конический	0,0018
Упорный	0,0013	Упорный сферический	0,0018

ПРИМЕЧАНИЕ: Данные значения « $f$ » реализуются при использовании минерального масла средней вязкости и частотах вращения  $\approx 50\%$  от предельных.

В силу того, что  $f_{m.k} \approx 0,001 \div 0,003$ , то можно в практическом плане считать момент сопротивлению вращению пренебрежительно малым. Это, в свою очередь, с кинематической точки зрения позволяет отнести подшипник качения к паре вращения пятого класса. В теории механизмов и машин такого рода устройства называют кинематическим соединением.

Итак, подшипник качения только передаёт давление от подвижного кольца на неподвижное. Кстати, в качестве подвижного может быть не обязательно внутреннее кольцо – в некоторых случаях роль подвижной детали осуществляет наружное кольцо.

Работоспособное состояние подшипника качения обеспечивается конструктивной формой концентрических наружного и внутреннего колец и наличием тел качения, расположенных между ними. Сепаратор обеспечивает, помимо описанных выше его функций, движение тел качения по замкнутой траектории.

Опуская вывод, только для иллюстрации приведем формулу частоты вращения шарика вокруг собственной оси

$$n = \frac{1}{2}(n_H - n_B) \left( \frac{d_m}{D} - \frac{D}{d_m} \cos^2 \alpha \right),$$

где  $n_H$  – частота вращения водила (сепаратора);

$n_B$  – частота вращения внутреннего кольца;

$d_m$  – диаметр окружности, соединяющей центры тел качения;

$D$  – диаметр шарика;

$\alpha$  – угол контакта.

Анализ формулы позволяет отметить влияние конструктивных параметров подшипника качения на число циклов контактных напряжений, испытываемых дорожками качения стальных колец. Более того напрашивается вывод о целесообразности использования при высоких частотах вращения внутреннего кольца подшипников качения лёгких серий: сверхлёгкой, особо лёгкой, лёгкой с малыми углами контакта.

### **О долговечности подшипников**

Срок службы подшипников качения при нормальных условиях эксплуатации лимитируется в основном усталостными повреждениями на контактирующих поверхностях, которые связаны с процессом поверхностного выкрашивания как беговых дорожек внутреннего и наружного колец, так и поверхностей тел качения. К ненормальным условиям работы приводят неправильность монтажа, недостаточная смазка, появление недопустимых перегрузок. Последний фактор приводит к появлению высоких переменных во времени контактных напряжений в материале колец и тел качения, которые могут превысить допусковые. В соответствии с требованием стандарта ИСО уровень последних для разных типов подшипников может быть в пределах 4000÷4600 МПа. Возникающая в телах качения при таких напряжениях остаточная деформация приблизительно равна 0,0001 диаметра тела качения.

При статическом нагружении поверхностные повреждения проявляются в виде смятия контактирующих поверхностей. В подобной ситуации расчёт сводится к тому, чтобы действующие напряжения  $\sigma_n \leq [\sigma_n]$ , где  $[\sigma_n]$  – допусковые контактные напряжения.

Этот критерий позволяет определить базовую статическую грузоподъемность. Значения базовой статической грузоподъемности ( $C_0$ ) для каждого подшипника подсчитываются и они приведены в каталоге.

Подшипники качения по  $C_0$  выбирают, если они воспринимают нагрузку в неподвижном состоянии или при медленном вращении (при частоте вращения до  $10 \text{ мин}^{-1}$ ).

Основным расчетом подшипников качения является расчет на контактную усталость, которая в отличие от изнашивания при трении скольжения происходит в результате выкрашивания взаимодействующих поверхностей в виде отдельных очагов (питтинга). Стохастический (случайный) характер возникновения, роста и развития до критических размеров усталостных трещин (механизм процесса усталости при качении) описывается уравнением

$$S(N) = \exp[-N^e \tau_0^c Z_0^{1-h} a \ell],$$

где  $S(N)$  – вероятность нормального состояния детали через  $N$  циклов нагружения;

$\tau_0$  – амплитуда максимального касательного напряжения;

$Z_0$  – глубина, на которую распространяется максимальное напряжение под дорожкой качения;

$a$  – полуось касательного эллипсоида Герца;

$\ell$  – ширина нагруженной дорожки качения;

$e, c, h$  – положительные константы.

Установлено, что « $S(N)$ » с ростом « $N$ » и с увеличением амплитуды « $\tau_0$ » уменьшается. В практических расчетах данное уравнение можно привести к следующей более простой форме (оценка расчетного срока службы, млн.об):

1.  $L = (C/F_{\text{экв}})^3$  – для шарикоподшипников;

2.  $L = (C/F_{\text{экв}})^{3,33}$  – для роликоподшипников.

Значение динамической грузоподъемности « $C$ » как и  $C_0$  выбирают из таблиц каталога. « $F_{\text{экв}}$ » эквивалентная нагрузка на подшипник (определяется расчетным путем). Очевидно, что эти простые зависимости не позволяют в полной мере прогнозировать долговечность подшипника качения в целом, но в тоже время они необходимы для того, чтобы иметь возможность сравнения характеристик подбираемых подшипников.

Развитие процесса фрикционной усталости при качении зависит от целого ряда факторов (свойств материала деталей подшипника, параметров процесса изготовления, условий эксплуатации), которые в количественном отношении не все могут быть определены. Более того, многие факторы по характеру не являются статическими, а выступают в

роли динамических. В этой связи эквивалентная динамическая нагрузка рассчитывается по формуле

$$F_{\text{экв}} = (XVF_r + YF_a)K_dK_t,$$

где  $F_r, F_a$  – постоянные по величине радиальная и осевая нагрузки;

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

$X, Y$  – коэффициенты радиальной и осевой нагрузок;

$K_d$  – коэффициент безопасности (изменяется от 1,0 при спокойной работе до 3,0 при ударной нагрузке);

$K_t$  – температурный коэффициент, изменяющийся от 1,05 для подшипника с рабочей температурой 125°C до 1,40 при температуре 250°C.

Согласно стандартной методике подбор подшипников качения осуществляется по статической грузоподъемности, предупреждающей появление остаточной деформации, и по динамической, – обеспечивающей предотвращение питтинга.

Итак, под грузоподъемностью подшипника качения понимают способность воспринимать нагрузки без нарушения основных функциональных свойств. Различают статическую грузоподъемность « $C_0$ » ( $n = 1 \dots 10 \text{ мин}^{-1}$ ) и динамическую грузоподъемность « $C$ » ( $n > 10 \text{ мин}^{-1}$ ); которая в свою очередь является экспериментальной величиной. Если для одинаковых условий эксплуатации сравнивать между собой подшипники качения шариковые и подшипники качения роликовые в границах одной серии, то необходимо отметить – последние обладают повышенной грузоподъемностью. Это, прежде всего, связано с тем, что точечный контакт в шариковом подшипнике переводится в линейчатый в роликовом.

### Типовые конструкции подшипниковых узлов

I. Подшипниковый узел состоит из корпусной детали, представляющей собой подшипниковое гнездо с крышками. Корпус служит для закрепления подшипникового узла; непосредственно подшипника (опорного устройства); защитного уплотнения; закрепительных и стопорных устройств.

Основным элементом опоры является подшипник, который при эксплуатации обеспечивает минимум энергетических затрат и требуемую долговечность.



осуществляется в результате контактного взаимодействия между уплотняющим элементом, изготовленным из эластичного или твердого материала, и поверхностью вала или между подвижным элементом и корпусом. По величине максимальной линейной скорости скольжения, определяемой на периферийных точках трущейся поверхности уплотнительного элемента, а также максимальной температуре в самом подшипниковом узле уплотняющие устройства, рассматриваемого типа, подразделяются на несколько разновидностей, различающиеся конструкциями и используемым материалом. Наиболее простыми и дешевыми уплотняющими элементами являются войлочные или фетровые. В собранном виде уплотняющие устройства из этих материалов имеют трущийся элемент в форме кольца с трапецеидальным или прямоугольным сечением.

II. Общие принципы выбора подшипников и конструкции опоры:

- 1) тип подшипника должен отвечать направлению воспринимаемых опорой сил, а габаритные размеры должны соответствовать их абсолютной величине и рабочей частоте вращения;
- 2) опора должна быть компактной, прочной и жесткой, в ней не должны меняться положение подшипников и распределение радиального зазора под действием внешних сил;
- 3) крепление корпуса и способ осевой фиксации подшипников должны обеспечивать линейное температурное удлинение валов и угловые повороты колец относительно друг друга;
- 4) уплотнительное устройство должно гарантировано изолировать подшипник от внешней среды и надежно защищать опору от вытекания смазочного материала;
- 5) наилучшей является циркуляционная система смазки жидким маслом, но конструкторы продумывают возможность применения и пластичных смазок (в этом случае узел не нуждается в осмотре в течение 3÷6 месяцев);
- 6) охлаждать опоры должны за счет естественной отдачи тепла во внешнюю среду через корпуса и валы, искусственный отвод тепла из зоны предусматривают через ту опору, которая нагревается в процессе эксплуатации;
- 7) конструкция опор должна быть технологичной, операции демонтажа подшипников при частой их разборке должны быть несложными и короткими по времени.

Соединение вал – корпус (ось – колесо) с сохранением возможности относительного вращения выполняется, как правило, двухопорным. Значительно реже встречаются многоопорные соединения и одноопорные узлы. Известны две схемы установки вала на двух опорах:

1 – установка подшипников враспор и 2 – создание фиксирующей и плавающей опор (см. фиг. 1–4).

Типовые варианты конструкций опорных узлов чаще всего встречаются в конструкциях червячных редукторов. В этой связи и рассмотрены конструкции опорных узлов вала червяка и вала червячного колеса.

Первая применима лишь для коротких валов (расстояние между подшипниками  $\ell \leq (10+12)d$ ). Суммарный осевой зазор установленных враспор подшипников должен быть выше тепловых и силовых деформаций и компенсировать технологические погрешности соединения. При необходимости осевой зазор увеличивают с помощью прокладок или за счет допусков на осевые размеры вала и корпуса во избежание заклинивания подшипников. По схеме враспор устанавливают радиальные и радиально-упорные шарикоподшипники, радиальные роликоподшипники без бурта на одном из колец и конические роликоподшипники.

Таблица

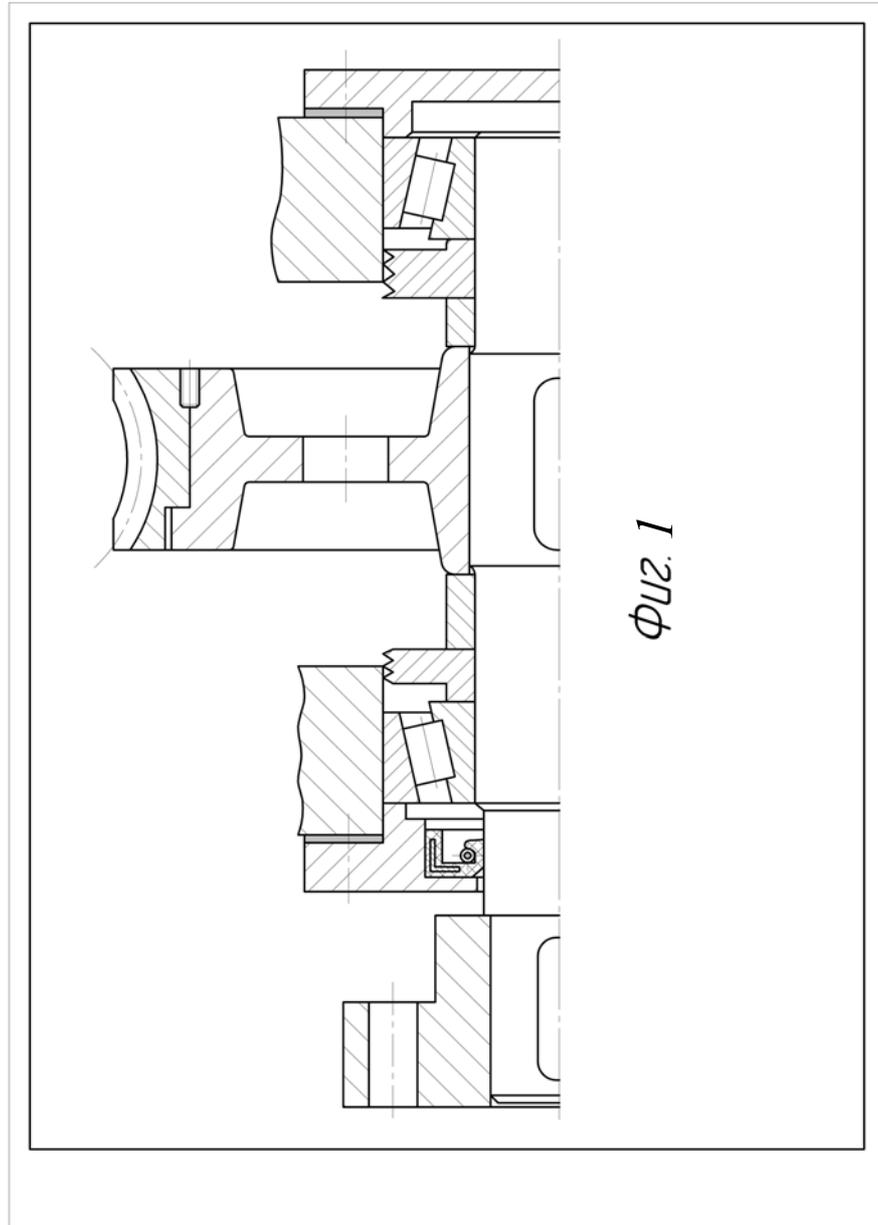
Рекомендуемая осевая игра для валов  
со схемой установки враспор

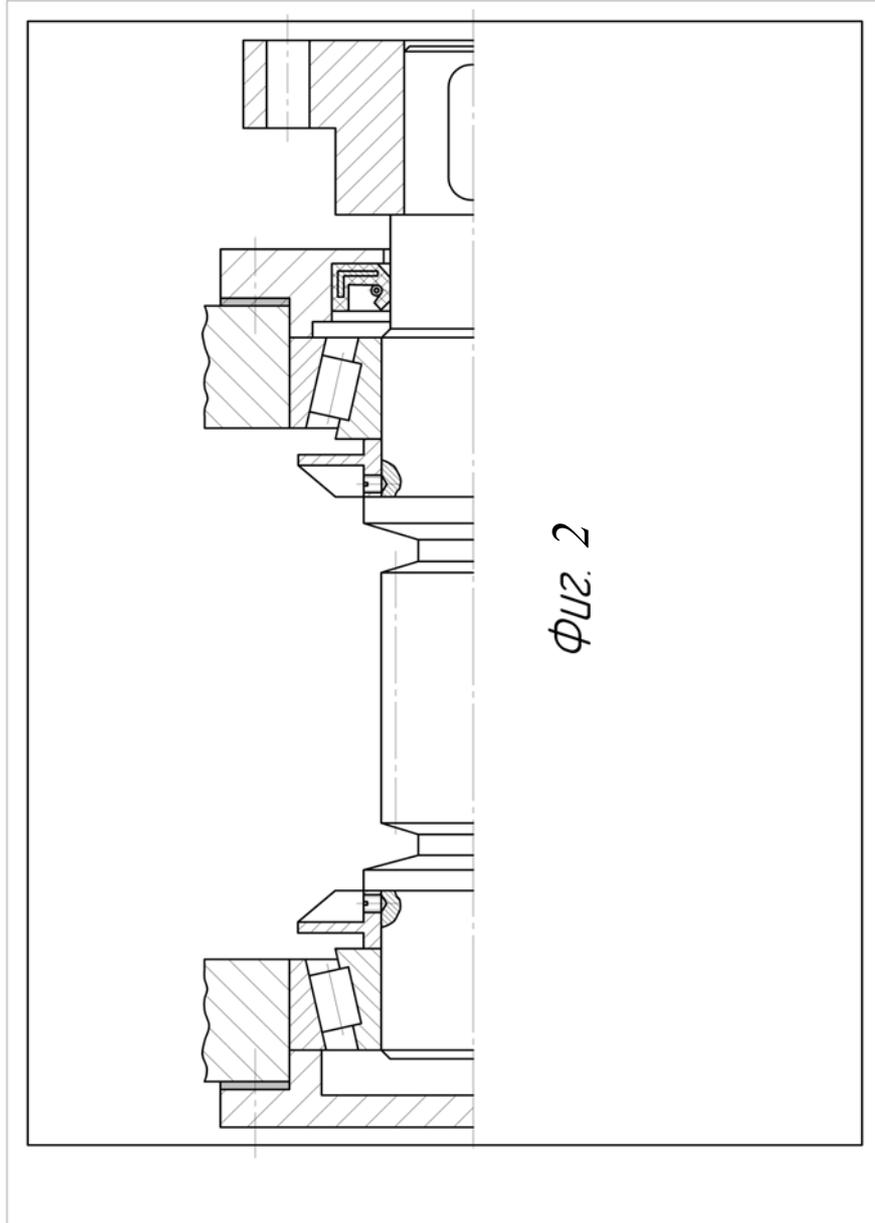
Номинальный диаметр $d$ отверстия, мм		$\ell$ , мм	Осевая игра, мкм	Номинальный диаметр $d$ отверстия, мм		$\ell$ , мм	Осевая игра, мкм
свыше	до			свыше	до		
–	30	Роликоподшипники	40...70	–	30	Шарикоподшипники	30...50
30	50	12 $d$	50...100	30	50	7 $d$	40...70
50	80	11 $d$	80...150	50	80	6 $d$	50...100
80	120	10 $d$	120...200	80	120	5 $d$	60...150
120	180	9 $d$	200...300	120	180	4 $d$	100...200
180	260	6,5 $d$	250...350	180	260	(2...6) $d$	150...200

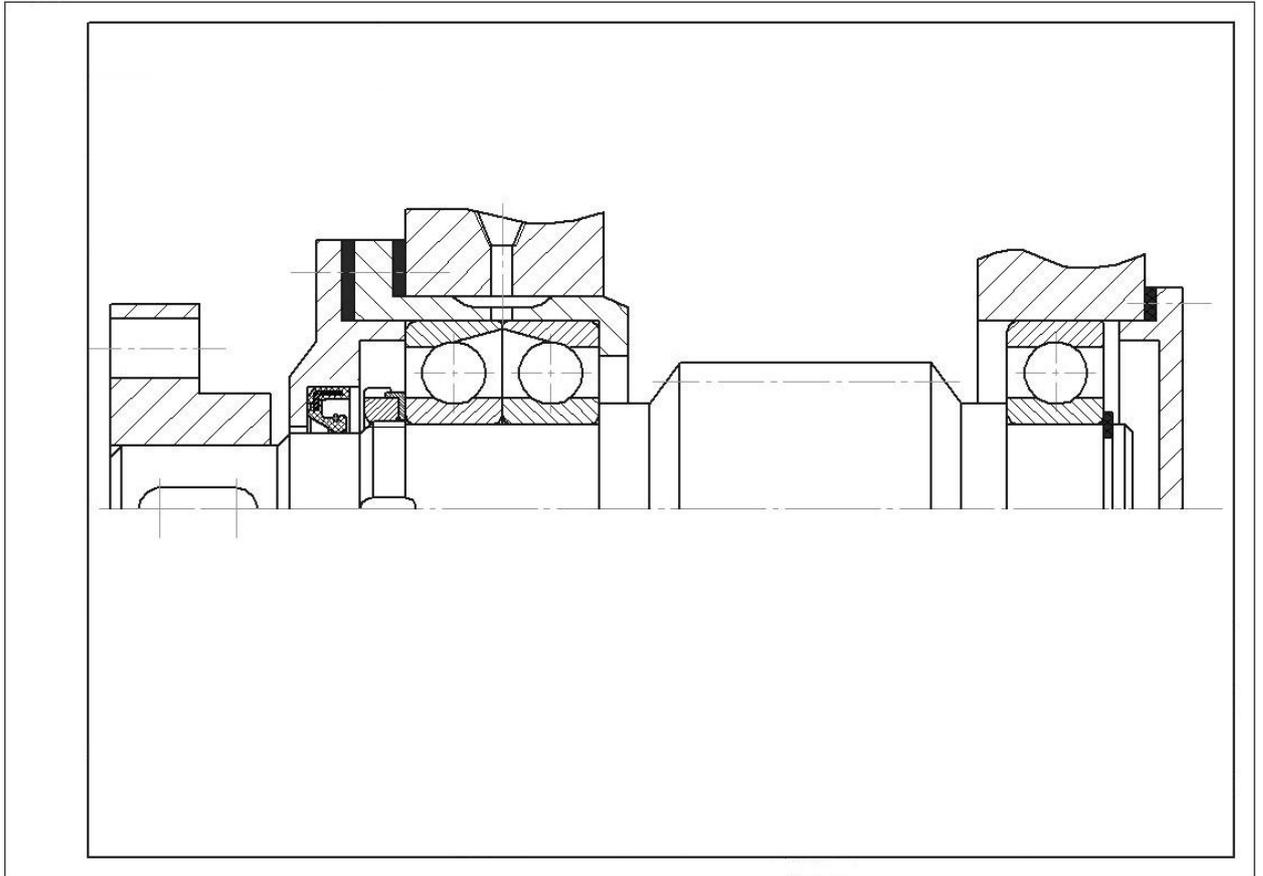
ПРИМЕЧАНИЕ: Применяя более длинные валы, следует увеличить осевую игру с учетом температурных деформаций.

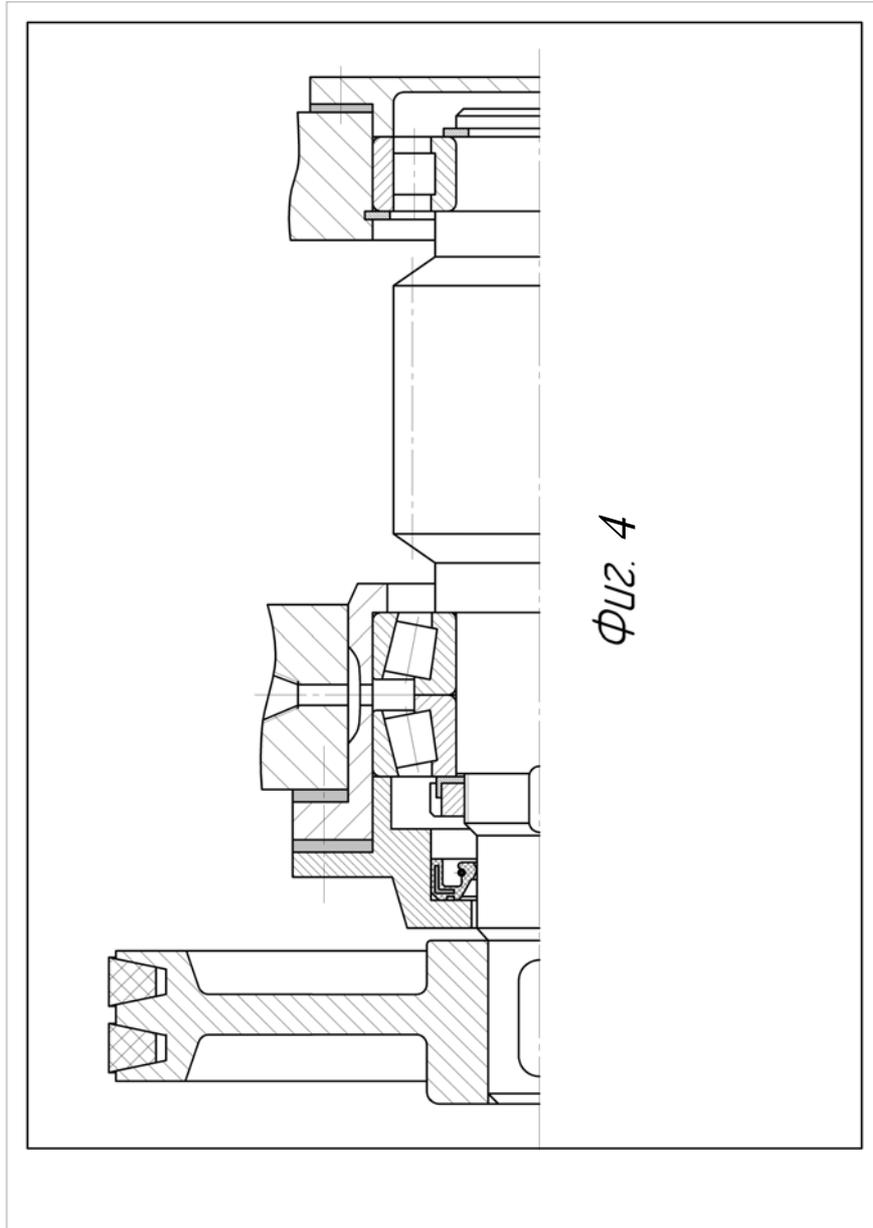
Для более длинных валов, а также при наличии значительной несоосности опор, требующей выбора самоустанавливающихся подшипников, применяется вторая схема (фиг. 3, 4).

Многоопорные соединения выполняются с одной фиксирующей и остальными плавающими опорами. Одноопорный узел всегда выполняется фиксирующим.





*Фиг.3*



Таблица

Рекомендуемая осевая игра для валов  
со схемой установки враспор

Номинальный диаметр $d$ отверстия, мм		$\ell$ , мм	Осевая игра, мкм	Номинальный диаметр $d$ отверстия, мм		$\ell$ , мм	Осевая игра, мкм
свыше	до			свыше	до		
–	30	Роликоподшипники	14 $d$	40...70	–	30	Шарикоподшипники
–	30	14 $d$	40...70	–	30	8 $d$	30...50
30	50	12 $d$	50...100	30	50	7 $d$	40...70
50	80	11 $d$	80...150	50	80	6 $d$	50...100
80	120	10 $d$	120...200	80	120	5 $d$	60...150
120	180	9 $d$	200...300	120	180	4 $d$	100...200
180	260	6,5 $d$	250...350	180	260	(2...6) $d$	150...200

ПРИМЕЧАНИЕ: Применяя более длинные валы, следует увеличить осевую игру с учетом температурных деформаций.

В простейшем варианте вал опирается на два роликовых конических подшипника. Однако, при тепловом расширении червяка возможно заклинивание из-за больших потерь в червячной паре на трение, особенно при однозаходном червяке. И все же описанная конструкция применяется в серийных редукторах с межосевым расстоянием до 180 мм.

Во втором варианте предусмотрена свобода температурных расширений, поэтому он пригоден для длинных валов. В одной из опор устанавливаются в стакане два радиально-упорных подшипника (либо роликовых конических, либо шариковых). Эти подшипники располагают так, чтобы они фиксировали вал в обоих направлениях.

Вал червячного колеса обычно монтируется на роликовых конических подшипниках. Положение вала в осевом направлении регулируют прокладками так, чтобы средняя плоскость колеса проходила через ось червяка.

Необходимым условием для обеспечения низкого уровня коэффициента трения в процессе работы узла является эффективное смазывание. Определяющими факторами при выборе смазки являются температура и частота вращения. При этом быстроходность подшипника характеризуется параметром  $d_m n$ , где  $d_m$  – диаметр окружности, соединяющий центры тел качения.

Таблица

Численные значения скоростного параметра « $d_m n$ »

Тип подшипника	$d_m n$ , мм·мин <sup>-1</sup>	
	Пластичная смазка	Жидкая смазка
Шариковый радиальный однорядный	до 200000	св. 200000
Шариковый радиальный сферический двухрядный	до 150000	св. 150000
Шариковый радиально-упорный однорядный	до 200000	св. 200000
Шариковый упорный	до 100000	св. 100000
Роликовый радиальный с цилиндрическими роликами	до 150000	св. 150000
Роликовый конический	до 100000	св. 100000
Роликовый радиальный сферический двухрядный	до 100000	св. 100000

ПРИМЕЧАНИЕ: Численное значение скоростного параметра может достигнуть для шарикоподшипников небольших размеров, смазываемых масляным туманом:  $1,8 \cdot 10^6$  мм·мин<sup>-1</sup>. В этом случае  $n = 90000 \dots 100000$  мин<sup>-1</sup>, а ресурс составляет около 2000 часов.

Роль смазочного материала в следующем: создание устойчивой масляной пленки, снижение трения скольжения в работающем подшипнике, распределение и отвод тепла, защита элементов подшипника от коррозии. В соответствии с агрегатным состоянием смазочные материалы делятся на три группы: твердые, пластичные и жидкие. В последние годы находят применение подшипниковые узлы с газовой смазкой. Однако наибольшее употребление находят пластичные смазочные материалы – 90% опор качения. Пластичный смазочный материал подводится к подшипнику в подшипниковое гнездо, как правило, с помощью пресс-масленки по каналам подвода смазки.

Точность подшипника обеспечивается при изготовлении этой сборочной единицы. По этому показателю каждый из десяти типов подшипников качения делятся на пять классов точности (в порядке повышения точности изготовления): 0, 6, 5, 4, 2. Стоимость изготовления подшипников высокой точности резко возрастает, поэтому применение в механизмах общего назначения подшипников 5, 4 и 2 классов точности должно быть тщательно обосновано. Как правило, при нагрузках среднего уровня, которые могут регламентироваться значениями передаваемой мощности (это до 10...15 кВт) и средними скоростями (это частоты вращения до

1000...1500 мин<sup>-1</sup>), находят применение подшипники класса точности 0 или 6.

Поверхности цапф и шипов вала, а также посадочные поверхности отверстий в корпусных деталях обрабатываются таким образом, чтобы наружное кольцо подшипника образовывало с отверстием корпусной детали подвижную посадку. В этой связи это кольцо называют «свободным». Что касается отверстия внутреннего кольца подшипника, то оно должно образовывать неподвижную посадку с сопрягаемой поверхностью вала, т.е. быть «тугой».

Таблица

Допуски валов и отверстий, сопрягаемых с кольцами  
подшипника

Класс точности	Поле допуска на сопрягаемый размер вала	Поле допуска на сопрягаемый размер отверстий
5 и 4	<i>n5; m5; k5; js5; h5; g5</i>	<i>N6; M6; K6; Js6; H6</i>
0 и 6	<i>n6; m6; k6; js6; h6; g6; f6</i>	<i>P7; N7; M7; K7; Js7; H7; G7</i>

Значения допусков на размеры посадочных поверхностей наружного и внутреннего колец подшипника установлены в зависимости от класса точности подшипника. Важно подчеркнуть, что поле допусков внутреннего и наружного колец для всех типоразмеров подшипника расположены ниже их линий номинальных диаметров  $d$  и  $D$ .

Выбор посадок подшипников качения производят с учетом типа, размера, класса точности, характера нагружений и режима работы подшипникового узла. Определяющим фактором является вид нагружения: местное, циркуляционное, колебательное. Вид нагружения определяется тем, какое из колец неподвижно, а какое вращается и как действует нагрузка.

**Ориентировочный подбор и оценка эквивалентной нагрузки  
на подшипники качения**

Подбор подшипников качения, как правило, производится методом последовательных приближений (итераций). При этом особую роль играют конструктивные соображения, о которых сказано в предыдущих параграфах настоящих МУ. Необходимо иметь в виду, что для одних и тех же условий эксплуатации передаточного механизма редукторного типа, которые подвержены анализу в соответствии с ТЗ, могут быть

использованы подшипники различных типов. При выборе конкретного типоразмера подшипника качения играют роль большое число факторов, таких как: мощность, частоты вращения, характер нагрузок и т.д. К примеру, серия подшипника качения может быть определена по численному значению передаваемой опорным узлом мощности. Так при  $P < 10$  кВт желательно применение подшипников легкой серии; при  $P = 10 \div 16$  кВт – подшипники средней серии; при  $P > 16$  кВт применяются подшипники качения тяжелой серии. Численные значения вращающих моментов – на быстроходных валах  $T_e \leq 25$  Н·м, а на тихоходных валах  $T_e \geq 250$  Н·м.

В случае, если в ТЗ в качестве исходных данных фигурируют  $T_e$  и  $P$ , то скорость вращения находят из простого соотношения  $\omega = P/T_e$ . Для быстроходных валов желательно применение подшипников качения с малым углом контакта  $\alpha < 18^\circ$ . Для тяжелонагруженных тихоходных валов угол контакта  $\alpha \geq 18^\circ$ .

Помимо отмеченного, в исходных данных должен быть и требуемый срок службы, который в зависимости от условий эксплуатации меняется в широком временном диапазоне от  $3 \cdot 10^3$  до  $100 \cdot 10^3$  часов.

В рассматриваемых случаях подбор требуемого типоразмера с позиции расчёта должен осуществляться по динамической грузоподъёмности подшипника качения. Данный параметр ( $C$ ) является табулированным и его численное значение берётся из каталога для конкретного подшипника качения. Критерий (условие) записывается в виде следующего неравенства

$$C_{\text{расч}} = F_{\text{экв}} (600 \omega L_h / 10^6)^m \leq C,$$

где  $C_{\text{расч}}$  – расчетная динамическая грузоподъёмность, Н;

$\omega$  – угловая скорость вращения,  $\text{с}^{-1}$ ;

$L_h$  – требуемый срок службы, час;

$m$  – показатель степени, который для шарикоподшипников  $m=3$ ,

а для роликоподшипников  $m=10/3$ .

Оптимальной является ситуация, при которой  $C_{\text{расч}} = C$ , отсюда

$$F_{\text{экв}} = \frac{C}{(600 \omega L_h / 10^6)^m}.$$

Полученное численное значение эквивалентной (приведённой) нагрузки является для рассматриваемого типоразмера подшипника качения предельным, превышение которого не позволяет гарантировать предупреждение очагов усталостного разрушения на контактирующих поверхностях в пределах требуемого срока службы. Попытки обеспечить работоспособное состояние подшипника качения в пределах неограниченного срока службы приводят к чрезмерно значительному

возрастанию габаритных размеров подшипникового узла в целом, что с практических соображений является не приемлемым.

$F_{\text{экв}}$  является сосредоточенной силой, а это значит, что для её полного описания помимо модуля этой величины требуется знать её точку приложения и направление. Точку приложения можно также определить, зная геометрические размеры подобранного подшипника качения, расчётным путем. Линию действия закреплённого вектора  $\vec{F}_{\text{экв}}$  можно определить только после составления расчётной схемы вала, что однако не является предметом рассмотрения в данном МУ.

Обобщая всё написанное выше, можно рекомендовать разработку подшипникового узла осуществлять в следующей последовательности:

- 1) прорабатывается общая компоновка опорного узла;
- 2) определяют схему установки, типоразмер и класс точности подшипника; диаметр шипа вала ( $d_{\text{ш}}$ ), с которым образует неподвижную посадку внутреннее кольцо подшипника, определяют из условия прочности на кручение, задаваясь  $[\tau_k] = 20 \dots 25$  МПа по формуле  $d_{\text{ш}} \geq \sqrt[3]{16T_e / \pi [\tau_k]}$ ;
- 3) назначают посадки на отверстие внутреннего кольца и поверхность наружного кольца подшипника;
- 4) определяют способ крепления подшипника на посадочных местах;
- 5) выбирают вариант смазывания, тип смазки и конструкцию смазочных устройств (критериальным параметром является  $d_m n$ );
- 6) составляют эскиз конструкции подшипникового узла и в случае необходимости оценивают  $F_{\text{экв}}$ .

При курсовом проектировании в качестве разрабатываемых конструкций рекомендуется создание типовых конструкций передаточных механизмов редукторного типа, где опоры валов представлены стандартными подшипниками качения: тип, серия, грузоподъёмность, параметры нагружения ( $X$ ,  $Y$ ,  $e$ ) представлены в таблицах каталога. Правильный подбор подшипника качения по этим параметрам во многом определяет рациональность конструкции подшипникового узла в целом. Поэтому всегда важен правильный подбор подшипника качения по его табличным данным.

Индивидуальные задания (см. [1])

Параметр	Фигура № п/п				
	1	2	3	4	5
$T_e$ , Н·м	250	25	$(15 \div 25) \cdot 10$	$(25 \div 35) \cdot 10$	$(5 \div 12) \cdot 10$
$P$ , кВт	3,0 ÷ 9,0	10 ÷ 15	3 ÷ 9	10 ÷ 15	7 ÷ 13
$L_h$ , час	$(20 \div 30) \cdot 10^3$	$(3 \div 10) \cdot 10^3$	$(10 \div 30) \cdot 10^3$	$(3 \div 7) \cdot 10^3$	10 ÷ 15

Параметр	Фигура № п/п				
	6	7	8	9	10
$T_e$ , Н·м	$(12 \div 25) \cdot 10$	$(25 \div 30) \cdot 10$	$(30 \div 40) \cdot 10$	$(3 \div 10) \cdot 10$	$(10 \div 15) \cdot 10$
$P$ , кВт	10 ÷ 16	2 ÷ 9	2,5 ÷ 9,5	2 ÷ 5	10 ÷ 16
$L_h$ , час	$(3 \div 10) \cdot 10^3$	$(50 \div 100) \cdot 10^3$	$(25 \div 50) \cdot 10^3$	$(20 \div 30) \cdot 10^3$	$(10 \div 20) \cdot 10^3$

Параметр	Фигура № п/п				
	11	12	13	14	15
$T_e$ , Н·м	$(15 \div 25) \cdot 10$	$(10 \div 20) \cdot 10$	$(15 \div 20) \cdot 10$	25 ÷ 100	10 ÷ 15
$P$ , кВт	5 ÷ 10	10 ÷ 15	3 ÷ 7	5 ÷ 10	3 ÷ 7
$L_h$ , час	$(3 \div 10) \cdot 10^3$	$(10 \div 20) \cdot 10^3$	$(10 \div 20) \cdot 10^3$	$(30 \div 50) \cdot 10^3$	$(10 \div 20) \cdot 10^3$

Параметр	Фигура № п/п				
	16	17	18	19	20
$T_e$ , Н·м	25 ÷ 50	$(25 \div 35) \cdot 10$	$(20 \div 30) \cdot 10$	$(20 \div 25) \cdot 10$	15 ÷ 25
$P$ , кВт	5 ÷ 12	10 ÷ 16	10 ÷ 16	10 ÷ 16	3 ÷ 8
$L_h$ , час	$(20 \div 30) \cdot 10^3$	$(20 \div 30) \cdot 10^3$	$(15 \div 18) \cdot 10^3$	$(20 \div 25) \cdot 10^3$	$(30 \div 40) \cdot 10^3$

**ПРИМЕЧАНИЕ:**

1. Численные значения параметров  $T_e$ ,  $P$ ,  $L_h$  при выдаче заданий конкретизирует преподаватель.
2. Углами контакта радиально–упорного подшипника студент задается при выполнении задания, в соответствии с изложенными рекомендациями.
3. Анализу подвергается подшипниковый узел со стороны сквозной крышки, кроме фиг. 16 (со стороны глухой крышки).

В заключение подчеркнём, что выполнение задания завершается прорисовкой эскиза конструкции подшипникового узла и нахождением  $F_{экр}$  (численное значение, точка приложения).

Шарикоподшипники радиальные однорядные по ГОСТ 8338—75 и нестандартные

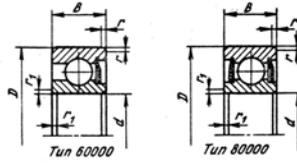


табл. 1

Размеры, мм

Условные обозначения подшипников	d	D	B	r	Шарики		Ориентировочные расчетные параметры				Масса, кг	d <sub>2</sub> нанм.	D <sub>2</sub> нанм.	α, не менее
					Диаметр D <sub>ш</sub>	Количество Z	Грузоподъемность, Н		σ <sub>пред</sub> мин <sup>-1</sup> , при смазочном материале					
							C	C <sub>0</sub>	пластичном	жидком				
<i>Сверхлегкая серия диаметров 8, серия ширины 1</i>														
1000084*	4	9	2,5	0,2	1,30	9	540	186	45 000	53 000	0,0007	5	7,8	1,8
1000088*	8	16	4	0,4	2,00	10	1 330	510	36 000	43 000	0,0034	9,8	14	1,8
1000801*	12	21	5	0,5	2,00	12	1 430	700	30 000	36 000	0,007	14	19	2,0
1000802*	15	24	5	0,5	2,38	12	1 560	830	26 000	32 000	0,008	17	22	2,0
1000805*	25	37	7	0,5	3,17	16	3 120	1 980	17 000	20 000	0,02	27	35	2,0
1000807	35	47	7	0,5	3,17	21	4 030	3 000	13 000	16 000	0,03	37	45	2,0
1000812*	60	78	10	0,5	5,00	24	8 710	7 350	7 500	9 000	0,12	62	76	3,0
<i>Сверхлегкая серия диаметров 9, серия ширины 1</i>														
1000091*	1	4	1,6	0,2	0,68	6	125	34	45 000	53 000	0,0001	1,8	3,2	1,8
1000092*	2	6	2,3	0,2	1	7	280	86	45 000	53 000	0,0004	3,2	4,8	1,8
1000093*	3	8	3	0,2	1,59	6	560	186	43 000	50 000	0,0007	4,2	7	1,8
1000094*	4	11	4	0,3	2,38	7	950	340	40 000	48 000	0,002	5,2	9,8	1,8
1000095	5	13	4	0,4	2,38	8	1 080	390	38 000	45 000	0,0025	6,6	11,5	1,8
1000096	6	15	5	0,4	2,38	8	1 470	555	38 000	45 000	0,004	7,8	13	1,8
1000097	7	17	5	0,5	3	7	2 020	770	36 000	43 000	0,005	9	15	1,8
1000098	8	19	6	0,5	3	8	2 240	885	34 000	40 000	0,008	9,8	17	1,8
1000099	9	20	6	0,5	3,5	7	2 680	1 050	32 000	38 000	0,008	11	18	1,8
1000900	10	22	6	0,5	3,97	7	3 340	1 350	30 000	36 000	0,009	12	20	1,8
1000901	12	24	6	0,5	3,97	7	3 390	1 350	28 000	34 000	0,01	14	22	2,0
1000902*	15	28	7	0,5	3,18	12	3 480	1 480	22 000	28 000	0,017	17	26	2,0
1000903	17	30	7	0,5	3,5	11	3 640	1 650	20 000	26 000	0,018	19	28	2,0
1000904	20	37	9	0,5	5,5	10	6 550	3 040	18 000	22 000	0,035	22	35	2,0
1000905	25	42	9	0,5	5,5	12	7 320	3 680	15 000	18 000	0,042	27	40	2,0
1000906	30	47	9	0,5	5,5	13	7 590	4 000	13 000	16 000	0,049	32	45	2,0
1000907	35	55	10	1,0	5,95	13	10 400	5 650	11 000	14 000	0,086	39	51	2,0
1000908	40	62	12	1,0	6,35	14	12 200	6 900	10 000	13 000	0,11	44	58	2,0
1000909	45	68	12	1,0	7,14	13	14 300	8 150	9 000	11 000	0,15	49	64	2,0
1000911	55	80	13	1,5	6,35	18	16 000	10 000	7 500	9 500	0,19	60	75	3,0
1000912	60	85	13	1,5	7,14	19	16 400	10 600	6 300	8 000	0,26	65	80	3,0
<i>Обособленная серия диаметров 1, серия ширины 7</i>														
7000101	12	28	7	0,5	4,76	8	5 070	2 240	26 000	32 000	0,018	14	26	2,0
7000102	15	32	8	0,5	4,76	8	5 590	2 500	22 000	28 000	0,025	17	30	2,0
7000103	17	35	8	0,5	5,16	9	6 050	2 800	19 000	24 000	0,036	19	33	2,0
7000105	25	47	8	0,5	5,56	11	7 610	4 000	14 000	17 000	0,06	29	43	2,0
7000106	30	55	9	0,5	5,56	14	11 200	5 850	12 000	15 000	0,10	32	53	2,0
7000107	35	62	9	0,5	5,56	15	12 400	6 950	10 000	13 000	0,11	37	60	2,0
7000108	40	68	9	0,5	6,35	16	13 300	7 800	9 500	12 000	0,13	42	66	2,0
7000109	45	75	10	1,0	6,35	17	15 600	9 300	9 000	11 000	0,17	49	71	2,0
7000110	50	80	10	1,0	6,35	18	16 300	10 000	8 500	10 000	0,18	54	76	2,0
7000111	55	90	11	1,0	7,14	17	17 000	11 700	7 500	9 000	0,28	59	86	3,0
7000112	60	95	11	1,0	7,14	18	18 600	12 500	6 700	8 000	0,29	64	91	3,0

Продолжение табл. 1

Условные обозначения подшипников	d	D	B	r	Шарики		Ориентировочные расчетные параметры				Масса, кг	d <sub>2</sub> мин.	D <sub>2</sub> макс.	α, не менее
					Диаметр D <sub>ш</sub>	Количество Z	Грузоподъемность, Н		n <sub>пред</sub> мин <sup>-1</sup> , при смазочном материале					
							C	C <sub>0</sub>	пластичном	жидком				
<i>Особолегкая серия диаметров 1, серия ширин 7</i>														
7000101	12	28	7	0,5	4,76	8	5 070	2 240	26 000	32 000	0,018	14	26	2,0
7000102	15	32	8	0,5	4,76	8	5 590	2 500	22 000	28 000	0,025	17	30	2,0
7000103	17	35	8	0,5	5,16	9	6 050	2 800	19 000	24 000	0,036	19	33	2,0
7000105	25	47	8	0,5	5,56	11	7 610	4 000	14 000	17 000	0,06	29	43	2,0
7000106	30	55	9	0,5	5,56	14	11 200	5 850	12 000	15 000	0,10	32	53	2,0
7000107	35	62	9	0,5	5,56	15	12 400	6 950	10 000	13 000	0,11	37	60	2,0
7000108	40	68	9	0,5	6,35	16	13 300	7 800	9 500	12 000	0,13	42	66	2,0
7000109	45	75	10	1,0	6,35	17	15 600	9 300	9 000	11 000	0,17	49	71	2,0
7000110	50	80	10	1,0	6,35	18	16 300	10 000	8 500	10 000	0,18	54	76	2,0
7000111	55	90	11	1,0	7,14	17	17 000	11 700	7 500	9 000	0,28	59	86	3,0
7000112	60	95	11	1,0	7,14	18	18 600	12 500	6 700	8 000	0,29	64	91	3,0
7000113	65	100	11	1,0	7,14	19	19 000	13 000	6 300	7 500	0,34	69	96	3,0
7000114	70	110	13	1,0	7,94	18	22 200	15 300	6 000	7 000	0,45	74	106	3,0
7000144	220	340	37	3,5	25,4	19	174 000	153 000	1 800	2 200	13,5	232	328	4,0
<i>Особолегкая серия диаметров 1, серия ширин 0</i>														
17	7	19	6	0,5	3,97	6	2 200	1 160	34 000	40 000	0,007	9	17	1,8
18	8	22	7	0,5	3,97	7	3 250	1 340	32 000	38 000	0,012	10	20	1,8
100	10	26	8	0,5	4,76	7	4 620	1 960	30 000	36 000	0,019	12	24	1,8
101	12	28	8	0,5	4,76	8	5 070	2 240	26 000	32 000	0,022	14	26	2,0
104	20	42	12	1,0	6,35	9	9 360	4 500	17 000	20 000	0,07	24	38,8	2,0
105	25	47	12	1,0	6,35	10	11 200	5 600	15 000	18 000	0,08	29	43,8	2,0
106	30	55	13	1,5	7,14	11	13 300	6 800	12 000	15 000	0,12	35	50	2,0
107	35	62	14	1,5	7,94	11	15 900	8 500	10 000	13 000	0,16	40	57	2,0
108	40	68	15	1,5	7,94	12	16 800	9 300	9 500	12 000	0,19	45	63	2,0
109	45	75	16	1,5	8,73	13	21 200	12 200	9 000	11 000	0,24	50	70	2,0
110	50	80	16	1,5	8,73	12	21 600	13 200	8 500	10 000	0,25	55	75	2,0
111	55	90	18	2,0	10,32	13	28 100	17 000	7 500	9 000	0,39	62	84	3,0
<i>Легкая серия диаметров 2, серия ширин 0</i>														
23	3	10	4	0,3	1,59	7	490	217	40 000	48 000	0,0016	4,2	8,5	1,8
24	4	13	5	0,4	2,38	6	900	415	38 000	45 000	0,003	5,5	11,2	1,8
25	5	16	5	0,5	3,18	6	1 480	740	36 000	43 000	0,005	6,5	14	1,8
26	6	19	6	0,5	3,97	6	2 170	1 160	32 000	38 000	0,008	8,2	17	1,8
27	7	22	7	0,5	3,97	7	3 250	1 350	30 000	36 000	0,013	9,2	19,5	1,8
29	9	26	8	1,0	4,76	7	4 620	1 960	26 000	32 000	0,019	12	22,5	1,8
200	10	30	9	1,0	5,95	6	5 900	2 650	24 000	30 000	0,03	14	26	1,8
201	12	32	10	1,0	5,56	7	6 890	3 100	22 000	28 000	0,037	16	28	2,0
202	15	35	11	1,0	5,95	8	7 800	3 550	19 000	24 000	0,045	19	31	2,0
203	17	40	12	1,0	7,14	7	9 560	4 500	17 000	20 000	0,06	21	36	2,0
204	20	47	14	1,5	7,94	8	12 700	6 200	15 000	18 000	0,10	25	42	2,0
205	25	52	15	1,5	7,94	9	14 000	6 950	12 000	15 000	0,12	30	47	2,0
206	30	62	16	1,5	9,53	9	19 500	10 000	10 000	13 000	0,20	35	57	2,0
207	35	72	17	2,0	11,11	9	25 500	13 700	9 000	11 000	0,29	42	65	2,0
208	40	80	18	2,0	12,7	9	32 000	17 800	8 500	10 000	0,36	46,5	73	2,0
209	45	85	19	2,0	12,7	9	36 400	18 600	7 500	9 000	0,41	52	78	2,0
210	50	90	20	2,0	12,7	10	35 100	19 800	7 000	8 500	0,47	57	83	2,0
211	55	100	21	2,5	14,29	10	43 600	25 000	6 300	7 500	0,60	64	91	3,0
212	60	110	22	2,5	15,88	10	52 000	31 000	6 000	7 000	0,80	68	101	3,0
<i>Средняя серия диаметров 3, серия ширин 0</i>														
302	15	42	13	1,5	7,94	7	11 400	5 400	17 000	20 000	0,08	20,0	36,2	2,0
303	17	47	14	1,5	9,53	6	13 500	6 650	16 000	19 000	0,11	22	41,2	2,0
304	20	52	15	2,0	9,53	7	15 900	7 800	13 000	16 000	0,14	26,5	45	2,0
305	25	62	17	2,0	11,51	7	22 500	11 400	11 000	14 000	0,23	31,5	55	2,0
306	30	72	19	2,0	12,3	8	28 100	14 600	9 000	11 000	0,34	36,5	65	2,0
307	35	80	21	2,5	14,29	7	33 200	18 000	8 500	10 000	0,44	43	71	2,0
308	40	90	23	2,5	15,08	8	41 000	22 400	7 500	9 000	0,63	48	81	2,0
309	45	100	25	2,5	17,46	8	52 700	30 000	6 700	8 000	0,83	53	91	2,0
310	50	110	27	3,0	19,05	8	61 800	36 000	6 300	7 500	1,08	60	99	2,0
311	55	120	29	3,0	20,64	8	71 500	41 500	5 600	6 700	1,35	64,4	111	3,0

Радиально-упорные однорядные шарикоподшипники по ГОСТ 831—75 со скосом на одном из колец

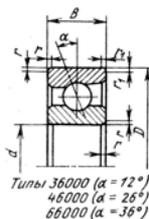


табл. 2

Условные обозначения подшипников типов		d	D	B	r	r <sub>1</sub>	Шарики		Ориентировочные параметры								Масса, кг
							D <sub>ш</sub>	Z	Грузоподъемность, Н				n <sub>пред</sub> , мин <sup>-1</sup> , при смазочном материале				
								C	C <sub>0</sub>	пластичном		жидком					
								для подшипников типа									
								36000	46000	36000	46000	36000	46000	36000	46000		
<i>Особолегкая серия</i>																	
36100	—	10	26	8	0,5	0,3	4,76	9	5 030	—	2180	—	34 000	—	46 000	—	0,030
36101	—	12	28	8	0,5	0,3	4,76	9	5 450	—	2450	—	34 000	—	46 000	—	0,021
36102	—	15	32	9	0,5	0,3	4,76	11	6 290	—	2990	—	30 000	—	40 000	—	0,033
36103	—	17	35	10	0,5	0,3	5,16	11	7 280	—	3510	—	28 000	—	36 000	—	0,04
36104	—	20	42	12	1,0	0,3	6,35	11	10 600	—	5320	—	22 000	—	30 000	—	0,068
36106	46106	30	55	13	1,5	0,5	7,14	18	15 300	14 500	8570	7 880	17 000	11 000	22 000	14 000	0,18
—	46108	40	68	15	1,5	0,5	7,94	16	—	18 900	—	11 100	—	10 000	—	13 000	0,22
—	46109	45	75	16	1,5	0,5	8,31	16	—	22 500	—	13 400	—	9 000	—	12 000	0,28
—	46111	55	90	18	1,5	0,5	10,3	18	—	32 600	—	21 100	—	7 500	—	10 000	0,38
—	46112	60	95	18	2,0	1,0	11,11	18	—	37 400	—	24 500	—	7 000	—	9 500	0,48
<i>Легкая серия</i>																	
36201	—	12	32	10	1,0	0,3	5,5	9	7 150	—	3 340	—	24 000	—	32 000	—	0,04
36202	46202	15	35	11	1,0	0,3	5,95	10	8 150	8 250	3 830	3 650	24 000	18 000	32 000	22 000	0,045
36203	46203	17	40	12	1,0	0,3	7,1	10	12 000	11 500	6 120	5 640	18 000	16 000	24 000	20 000	0,06
36204	46204	20	47	14	1,5	0,5	7,94	11	15 700	14 800	8 310	7 640	16 000	15 000	20 000	20 000	0,10
36205	46205	25	52	15	1,5	0,5	7,94	12	16 700	15 700	9 100	8 340	13 000	11 000	17 000	15 000	0,12
36206	46206	30	62	16	1,5	0,5	9,53	12	22 000	21 900	12 000	12 000	11 000	10 000	16 000	13 000	0,19
36207	46207	35	72	17	2,0	1,0	11,11	12	30 800	29 000	17 800	16 400	10 000	9 000	12 000	11 000	0,27
36208	46208	40	80	18	2,0	1,0	12,7	12	38 900	36 800	23 200	21 300	9 500	8 000	13 000	9 000	0,37
36209	46209	45	85	19	2,0	1,0	12,7	13	41 200	38 700	25 100	23 100	9 000	7 000	12 000	8 500	0,42
36210	46210	50	90	20	2,0	1,0	12,70	14	43 200	40 600	27 000	24 900	8 000	6 300	11 000	8 000	0,47
36211	46211	55	100	21	2,5	1,2	14,29	14	58 400	50 300	34 200	31 500	7 000	6 300	9 500	8 000	0,58
36212	46212	60	110	22	2,5	1,2	15,88	14	61 500	60 800	39 300	38 800	6 300	5 600	8 500	7 500	0,77

Продолжение табл. 2

Условные обозначения подшипников типов		d	D	B	r	r <sub>1</sub>	Шарики		Ориентировочные расчетные параметры								Масса, кг
							D <sub>ш</sub>	Z	Грузоподъемность, Н				n <sub>пред</sub> , мин <sup>-1</sup> , при смазочном материале				
								C	C <sub>0</sub>	пластичном		жидком					
								для подшипников типа									
								46000	66000	46000	66000	46000	66000	46000	66000		
<i>Средняя серия</i>																	
46303*	—	17	47	14	1,5	0,5	9,53	8	16 100	—	8 000	—	13 000	—	18 000	—	0,11
46304*	—	20	52	15	2,0	1,0	9,53	9	17 800	—	9 000	—	12 000	—	16 000	—	0,17
46305	—	25	62	17	2,0	1,0	11,51	10	26 900	—	14 600	—	9 000	—	12 000	—	0,23
46306	—	30	72	19	2,0	1,0	12,30	11	32 600	—	18 300	—	8 000	—	10 000	—	0,35
46307	—	35	80	21	2,5	1,2	14,29	11	42 600	—	24 700	—	7 000	—	9 500	—	0,44
46308	—	40	90	23	2,5	1,2	15,08	12	50 800	—	30 100	—	6 300	—	8 500	—	0,63
46309	66309	45	100	25	2,5	1,2	17,46	11	61 400	60 800	37 000	36 400	5 600	5600	7 500	7500	0,83
46310	—	50	110	27	3,0	1,5	19,09	11	71 800	—	44 000	—	5 000	—	6 700	—	1,08
46312	66312	60	130	31	3,5	2,0	22,23	12	100 000	93 700	65 300	58 800	4 300	4300	5 600	5600	1,71

Роликоподшипники радиальные с короткими цилиндрическими роликами однорядные по ГОСТ 8328—75 и нестандартные

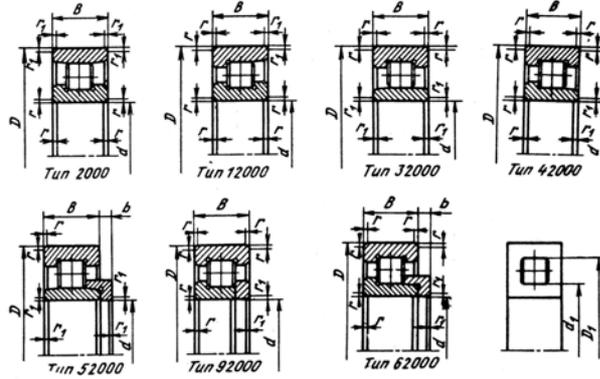


табл. 3

Условные обозначения подшипников типов		Ролики										Ориентировочные расчетные параметры				Масса, кг
2000	32000	d	D	B	r	r <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>W</sub>	I	Z	Грузоподъемность, Н		n <sub>пред</sub> , мин <sup>-1</sup> , при смазочном материале		
												C	C <sub>0</sub>	пластичном	жидком	
<i>Сверхлегкая серия</i>																
1002912	—	60	85	13	1,5	1,0	—	79	6,5	6,5	24	25 300	16 500	6300	8000	0,248
<i>Особолегкая серия</i>																
2104	—	20	42	12	1,0	0,8	—	36,5	5,5	5,5	12	8 800	4 700	10 000	20 000	0,08
—	32106	30	55	13	1,5	0,8	36,5	—	6	6	14	17 900	7 850	12 000	15 000	0,137
—	32109	45	75	16	1,5	1,0	52,0	—	8	10	18	31 400	17 600	9 000	11 000	0,307
2110	32110	50	80	16	1,5	1,0	57,5	72,5	7,5	7,5	18	30 800	17 600	8 500	10 000	0,333
2111	32111	55	90	18	2	1,5	63,5	81,5	9	9	18	34 700	23 600	7 500	9 000	0,40
2113	32113	65	100	18	2,0	1,5	—	91,5	9	9	20	38 000	26 500	6 300	7 500	0,55
<i>Легкая серия</i>																
—	32202	15	35	11	1,0	0,5	20	—	5	5	10	8 970	4 250	19 000	24 000	0,05
—	32203	17	40	12	1,0	0,5	22,9	—	5,5	5,5	10	10 800	5 200	17 000	20 000	0,07
2204	32204	20	47	14	1,5	1,0	27	40	6,5	6,5	11	14 700	7 350	15 000	18 000	0,13
—	32205	25	52	15	1,5	1,0	32	—	6,5	6,5	13	16 800	8 800	12 000	15 000	0,15
2206	32206	30	62	16	1,5	1,0	38,5	53,5	7,5	7,5	13	22 400	12 000	10 000	13 000	0,24
2207	32207	35	72	17	2,0	1,0	43,8	61,8	9	9	13	31 900	17 600	9 000	11 000	0,35
2208	32208	40	80	18	2,0	2,0	50	70	10	10	14	41 800	24 000	8 500	10 000	0,40
2209	32209	45	85	19	2,0	2,0	55	75	10	10	15	44 000	25 500	7 500	9 000	0,49
2210	32210	50	90	20	2,0	2,0	60,4	80,4	10	10	17	45 700	27 500	7 000	8 500	0,57
2211	32211	55	100	21	2,5	2,0	66,5	88,5	11	11	17	56 100	34 000	6 300	7 500	0,76
2212	32212	60	110	22	2,5	2,5	73,5	97,5	12	12	18	64 400	43 000	5 600	6 700	0,95
<i>Легкая широкая серия</i>																
2505	—	25	52	18	1,5	1,0	—	45	6,5	9	13	22 900	12 900	11 000	14 000	0,19
—	32507	35	72	23	2,0	1,0	43,8	—	9	14	13	47 300	29 000	8 500	10 000	0,48
—	32508	40	80	23	2,0	2,0	50	—	10	14	14	56 100	35 000	7 500	9 000	0,55
—	32512	60	110	28	2,5	2,5	73,5	—	12	18	18	93 500	68 000	5 300	6 300	1,14

Продолжение табл. 3

Условные обозначения подшипников типов							Ролики							Ориентировочные расчетные параметры				Масса, кг			
2000	12000	32000	42000	62000	92000	$d$	$D$	$B$	$b$	$r$	$r_1$	$d_1$	$D_1$	$D_W$	$l$	$Z$	Грузоподъемность, Н		$n_{пред}$ , мин <sup>-1</sup> при смазочном материале		
																	$C$		$C_0$	пластичном	жидком
<i>Средняя серия</i>																					
—	12302	32302	—	—	—	15	42	13	1,5	1,5	1,0	22	35	6,5	6,5	10	13 700	7 720	13 000	16 000	0,11
2305	12305	—	42305	—	92305	25	62	17	—	2	2	35	53	9	9	11	28 600	15 000	9 500	12 000	0,3
2306	—	32306	42306	—	—	30	72	19	—	2	2	40,5	60,5	10	10	12	36 900	20 000	8 500	10 000	0,4
2307	12307	—	42307	—	—	35	80	21	—	2,5	2	46,2	68,2	11	11	12	44 600	27 000	8 000	9 500	0,55
2308	12308	32308	42308	—	—	40	90	23	—	2,5	2,5	53,5	77,5	12	12	12	56 100	32 500	6 700	8 000	0,77
2309	12309	32309	42309	—	—	45	100	25	—	2,5	2,5	58,5	86,5	14	14	12	72 100	41 500	6 300	7 500	1,0
2310	12310	32310	42310	62310	—	50	110	27	8	3	3	65	95	15	15	12	88 000	52 000	5 600	6 700	1,35
2311	12311	32311	42311	—	—	55	120	29	—	3	3	70,5	104,5	17	17	12	102 000	67 000	5 000	6 000	1,7
2312	12312	32312	42312	—	92312	60	130	31	—	3,5	3,5	77	113	18	18	13	123 000	76 500	4 800	5 600	2,1
2313	—	32313	42313	62313	—	65	140	33	10	3,5	3,5	83,5	121,5	19	19	13	138 000	85 000	4 500	5 300	2,6

Продолжение табл. 3

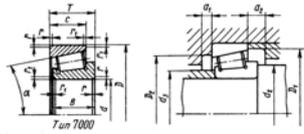
Условные обозначения подшипников типов							Ролики										
2000	12000	32000	42000	52000	62000	92000	$d$	$D$	$B$	$b$	$r$	$r_1$	$d_1$	$D_1$	$D_W$	$l$	$Z$
—	12605	32605	—	—	—	—	25	62	24	—	2,0	2,0	35	—	9	14	11
—	—	—	42606	—	—	—	30	72	27	—	2,0	2,0	42	—	10	14	12
—	—	32607	42607	—	—	—	35	80	31	—	2,5	2,0	46,2	—	11	15	12
—	—	32608	—	—	—	—	40	90	33	—	2,5	2,5	53,5	—	12	18	12
2609	12609	—	—	—	—	92609	45	100	36	—	2,5	2,5	—	86,5	15	20	12
—	—	32610	—	—	—	—	50	110	40	—	3,0	3,0	65	—	15	25	12
2611	—	—	—	—	—	—	55	120	43	—	3,0	3,0	—	104,5	17	24	12
2612	—	32612	42612	—	62612	—	60	130	46	9	3,5	3,5	77	113	18	26	13

Продолжение табл. 3

Условные обозначения подшипников типов							Ориентировочные расчетные параметры				Масса, кг
2000	12000	32000	42000	52000	62000	92000	Грузоподъемность, Н		$n_{пред}$ , мин <sup>-1</sup> при смазочном материале		
							$C$	$C_0$	пластичном	жидком	
<i>Средняя широкая серия</i>											
—	12605	32605	—	—	—	—	41 800	24 500	9000	11 000	0,407
—	—	—	42606	—	—	—	50 100	29 000	8000	9 500	0,708
—	—	32607	42607	—	—	—	58 300	38 000	7000	8 500	0,84
—	—	32608	—	—	—	—	80 900	51 000	6300	7 500	1,09
2609	12609	—	—	—	—	92609	96 800	67 000	5600	6 700	1,38
—	—	32610	—	—	—	—	121 000	80 000	5000	6 000	2,0
2611	—	—	—	—	—	—	138 000	98 000	4800	5 600	2,15
2612	—	32612	42612	—	62612	—	168 000	114 000	4300	5 000	3,16

Радиально-упорные конические однорядные роликоподшипники

табл. 4



Тип 7000

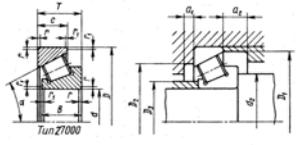
Условные обозначения подшипников	d	D	B	c	T	r	r <sub>1</sub>	α, ...	Ролики			Ориентир		Основные расчетные параметры													
									D <sub>ш</sub>	I	Z	Грузоподъемность, Н		П <sub>ред</sub> мин <sup>-1</sup> при смазочном материале		ε	γ	Y <sub>0</sub>	Масса, кг	D <sub>1</sub> мм	d <sub>2</sub> мм	R <sub>1</sub> мм	R <sub>2</sub> мм	R <sub>3</sub> мм	R <sub>4</sub> мм	R <sub>5</sub> мм	R <sub>6</sub> мм
												C	C <sub>0</sub>	мм/мин	мм/мин												
<b>Особая серия диаметров 1</b>																											
2007106	30	55	16	14	17	1,5	0,5	9	5,31	10,3	19	27 000	19 900	6700	9000	0,24	2,50	1,38	0,169	52	36	49	35	3	4,5		
2007107	35	62	17	15	18	1,5	0,5	10	5,31	10,3	22	32 000	23 000	6000	8000	0,27	2,21	1,22	0,224	59	41	56	40	4	4,5		
2007108	40	68	18	16	19	1,5	0,5	12	7,0	11	19	40 000	28 400	5300	7000	0,33	1,84	1,01	0,270	65,5	56	62	45	4	4,5		
2007109	45	75	19	16	20	1,5	0,5	11	7,5	12,5	19	44 000	34 900	4800	6300	0,30	2,00	1,1	0,333	72	51	69	50	4	4,5		
2007111	55	90	22	19	23	2,0	0,8	13	8,1	12,5	21	57 000	45 200	4000	5300	0,33	1,80	0,99	0,541	86	62	83	61	4	5,5		
2007113	65	100	22	19	23	2,0	0,8	14	8,1	13,8	24	61 000	44 500	3400	4500	0,38	1,59	0,87	0,620	96,5	72	92	71	4	5,5		
<b>Легкая серия диаметров 2</b>																											
7202	15	35	11	9	11,75	1,0	0,31	17	3,9	6,4	14	10 500	6100	10000	14000	0,451	1,33	0,73	0,054	32	20	—	19	—	3		
7203	17	40	12	11	13,25	1,5	0,5	12	5,7	7	12	14 000	9000	9000	13000	0,31	1,91	1,05	0,074	37	23	—	22,5	—	3		
7204	20	47	14	12	15,25	1,5	0,5	14	6,7	8,5	12	21 000	13 900	8000	11000	0,36	1,67	0,92	0,12	43,5	26	41	26	3	3		
7205	25	52	15	13	16,25	1,5	0,5	14	6,7	8,5	14	24 000	17 500	7500	10000	0,35	1,67	0,92	0,150	48,5	31	46	31	3	3		
7206	30	62	16	14	17,25	1,5	0,5	14	8,0	10,2	14	31 000	22 900	6300	8500	0,36	1,65	0,91	0,233	58,5	36	55	37	3	3		
7207	35	72	17	15	18,25	2,0	0,8	14	9,2	10,5	14	38 500	26 900	5300	7000	0,37	1,62	0,89	0,327	68,5	42	65	43	4	3		
7208	40	80	20	16	19,75	2,0	0,8	14	9,9	12,2	16	45 500	32 500	4800	6300	0,38	1,56	0,86	0,446	75,5	47	72	48	4	3,5		
7209	45	85	19	16	20,75	2,0	0,8	15	9,9	12,2	16	50 000	33 900	4500	6000	0,41	1,45	0,80	0,485	81,5	52	78	53	4	4,5		
7210	50	90	21	17	21,75	2,0	0,8	14	11,7	14,8	14	55 000	40 900	4300	4600	0,37	1,6	0,88	0,539	86,5	57	82	57	4	4,5		
7211	55	100	21	18	22,75	2,5	0,8	15	11,7	14,8	16	65 000	46 000	3800	5000	0,41	1,46	0,80	0,709	95	64	90	63	5	4,5		
7212	60	110	23	19	23,75	2,5	0,8	15	13,1	14,2	16	78 000	58 000	3400	4500	0,35	1,71	0,94	0,895	105,5	69	100	69	5	4,5		
<b>Легкая широкая серия диаметров 5</b>																											
7506	30	62	20,5	17	21,25	1,5	0,5	14	7,9	13,0	14	36 000	27 000	6300	8500	0,37	1,65	0,90	0,29	58,5	36	55	37	3	4		
7507	35	72	23,0	20	24,25	2,0	0,8	13	9,7	14,7	14	53 000	40 000	5500	7000	0,35	1,73	0,95	0,449	68,5	42	65	43	4	5		
7508	40	80	23,5	19	24,75	2,0	0,8	14	9,7	14,7	16	56 000	44 000	4800	6300	0,38	1,58	0,87	0,576	75,5	47	72	48	4	5,5		
7509	45	85	23,5	19	24,75	2,0	0,8	16	9,7	14,7	16	60 000	46 000	4500	6000	0,42	1,44	0,80	0,618	81,5	52	78	53	4	5,5		
7510	50	90	23,5	20	24,75	2,0	0,8	16	9,9	15,7	19	62 000	54 000	4300	5600	0,42	1,43	0,78	0,64	86,5	57	82	57	4	5,5		
7511	55	100	25,0	21	26,75	2,5	0,8	16	11,5	17,4	16	80 000	61 000	3800	5000	0,36	1,67	0,92	0,828	95	64	90	63	5	5,5		
7512	60	110	28,0	24	29,75	2,5	0,8	15	11,6	18,5	18	94 000	75 000	3400	4500	0,39	1,53	0,84	1,19	105,5	69	100	69	5	5,5		
7513	65	120	31,0	27	32,75	2,5	0,8	14	13,4	22,0	17	119 000	98 000	3000	4000	0,37	1,62	0,89	1,57	115	74	110	75	6	5,5		
<b>Средняя серия диаметров 3</b>																											
7304	20	52	16	13	16,25	2,0	0,8	11	8,0	10,2	11	26 000	17 000	8000	11000	0,30	2,03	1,11	0,17	48,5	27	45	27	3	3		
7305	25	62	17	15	18,25	2,0	0,8	14	9,5	10,0	13	33 000	23 000	6700	9000	0,36	1,66	0,92	0,253	58,5	32	55	33	3	3		
7306	30	72	19	17	20,75	2,0	0,8	14	9,9	12,7	13	43 000	29 500	5600	7500	0,34	1,78	0,98	0,458	68	37	65	38	3	4,5		
7307	35	80	21	18	22,75	2,5	0,8	12	11,7	14,8	12	54 000	38 000	5000	6700	0,32	1,88	1,03	0,496	76	44	71	43	5	4,5		
7308	40	90	23	20	25,25	2,5	0,8	11	13,1	14,2	12	66 000	47 500	4500	6000	0,28	2,16	1,19	0,703	86	49	80	50	5	5		
7309	45	100	26	22	27,25	2,5	0,8	11	14,3	16,0	13	83 000	60 000	4000	5300	0,29	2,09	1,15	1,01	95	54	90	55	5	5		
7310	50	110	29	23	29,25	3,0	1,0	12	16,7	19,4	12	100 000	75 500	3600	4800	0,31	1,94	1,06	1,33	105	60	100	61	5	6		
7311	55	120	29	25	31,5	3,0	1,0	13	16,7	19,4	13	107 000	81 500	3200	4300	0,33	1,80	0,99	1,64	114	65	110	67	5	6,5		
7312	60	130	31	27	33,5	3,5	1,2	12	17,5	20,0	14	128 000	96 500	3000	4000	0,30	1,97	1,08	2,00	124	72	118	72	5	7,5		
7313	65	140	33	28	36,0	3,5	1,2	12	18,7	21,0	14	146 000	112 000	2600	3600	0,30	1,97	1,08	2,54	132	77	128	78	6	8		

Продолжение табл. 4

Условные обозначения подшипников	d	D	B	e	T	r	r <sub>1</sub>	α, ...°	Ролики			Ориентир		Основные расчетные параметры											
									D <sub>ш</sub>	I	Z	Грузоподъемность, Н		μ пред. мин <sup>-1</sup> , при смазочном материале			Масса, кг	D <sub>1</sub> мм	b <sub>2</sub> мм	D <sub>2</sub> мм	b <sub>3</sub> мм	e <sub>1</sub> мм	e <sub>2</sub> мм		
												C	C <sub>0</sub>	маслеником	жидком	ε								γ	γ <sub>0</sub>
									Средняя широкая серия												диаметры b				
7604	20	52	21.0	18,5	22,25	2,0	0,8	11	7,9	13	12	31 500	2 000	7500	10000	0,30	2,01	1,11	0,236	48,5	27	45	27	3	4
7605	25	62	24,0	21,0	25,25	2,0	0,8	11	8,9	16,7	12	47 500	36 000	6000	8000	0,27	2,19	1,20	0,366	58,5	32	55	33	4	5
7606	30	72	29,0	23,0	28,75	2,0	0,8	12	10,2	20,4	12	63 000	51 000	5300	7000	0,32	1,88	1,03	0,574	68	37	65	38	5	5,5
7607	35	80	31,0	27,0	32,75	2,5	0,8	11	10,5	22	13	76 000	61 500	4800	6300	0,30	2,03	1,11	0,798	76	44	71	43	5	7,5
7608	40	90	33,0	28,5	35,25	2,5	0,8	11	12	23,4	13	90 000	67 500	4000	5300	0,30	2,03	1,11	1,040	86	49	80	50	5	8
7609	45	100	36,0	31,0	38,25	2,5	0,8	11	13,7	24,4	13	114 000	90 500	3600	4800	0,29	2,06	1,13	1,34	95	54	90	55	5	8
7610	50	110	40,0	34,0	42,25	3,0	1,0	11	14,8	28	13	122 000	108 000	3000	4000	0,30	2,03	1,11	1,81	105	60	100	61	5	9
7611	55	120	44,5	36,5	45,5	3,0	1,0	12	14,8	28	15	160 000	140 000	3000	4000	0,32	1,85	1,02	2,43	114	65	110	67	5	10,5
7612	60	130	47,5	39,0	48,5	3,5	1,2	12	17,0	33	14	186 000	157 000	2600	3600	0,30	1,97	1,08	3,00	124	72	118	72	6	11,5
7613	65	140	48,0	41,0	51,0	3,5	1,2	12	17,0	33	15	210 000	168 000	2400	3400	0,33	1,83	1,01	3,63	132	77	128	78	6	12

Радиально-упорные конические однорядные роликоподшипники с большим углом конусности

табл. 5



Условные обозначения подшипников	d	D	B	c	T		r	r <sub>a</sub>	α...°	Ролики			Ориентировочные расчетные параметры													
					наибольшее	наименьшее				D <sub>гр</sub>	I	Z	Грузоподъемность, Н		Пред. мин <sup>-1</sup> при смазочном материале		ε	У	У <sub>e</sub>	Масса, кг	D <sub>1</sub> мм	d <sub>2</sub> мм	D <sub>2</sub> мм	d <sub>3</sub> мм	d <sub>1</sub> мм	d <sub>2</sub> мм
													C	C <sub>0</sub>	пластичном	жидком										
					Средняя серия																					
27306	30	72	19	14	21,0	20,5	2,0	0,8	26	9,6	11,0	13	35 000	20 600	5000	6300	0,72	0,833	0,46	0,392	68	37	65	38	3	6,5
27307	35	80	21	15	23,0	22,5	2,5	0,8	28	10,0	13,1	14	45 000	29 000	4500	5600	0,79	0,76	0,42	0,52	76	44	71	43	5	7,5
27308	40	90	23	17	25,5	25,0	2,5	0,8	28	11,1	14,6	14	56 000	37 000	4000	5000	0,79	0,76	0,42	0,766	86	49	80	50	5	8
27310	50	110	27	19	29,5	29,0	3,0	1,0	28	13,7	17,2	14	80 000	53 000	3200	4300	0,80	0,75	0,41	1,24	105	60	100	61	5	10
27311	55	120	29	21	32,0	31,0	3,0	1,0	29	16,0	18,5	15	92 000	58 000	2800	3800	0,81	0,74	0,50	1,58	114	65	110	67	5	10,5
27312	60	130	31	22	34,0	33,0	3,5	1,2	25	16,0	16,9	16	105 000	61 000	2600	3600	0,7	0,86	0,47	1,91	124	72	118	72	5	11,5
27313	65	140	33	23	36,5	35,5	3,5	1,2	27	15,9	18,5	16	120 000	70 000	2200	3200	0,78	0,80	0,44	2,4	132	77	128	78	6	13

## ЛИТЕРАТУРА

1. Э.Л.Вольф, Ан И–Кан. Валы в сборе: Анализ типовых конструкций. Часть 1: МУ и инд. задания для САР. – Томск: изд–во ТПУ, 2007.– 32 с.
2. В.А.Осипов, А.В.Мурин, Б.А.Сериков, А.С.Соляник. Электромеханические приводы: МУ и ТЗ для курс. проект. по ПМ. – Томск: изд–во ТПУ, 2002.– 36 с.
3. Г.Б.Иосилевич, П.А.Лебедев, В.С.Стреляев. Прикладная механика: Учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 1985, с.443–460.
4. О.П.Леликов. Основы расчёта и проектирования деталей и узлов машин: Конспект ЛК по курсу «Детали машин». 2–е изд. исправл. – М.: Машиностроение, 2004, с.343 – 380.
5. Курсовое проектирование деталей машин. Под ред. В.Н.Кудрявцева: Учеб. пособие. – Л.: Машиностроение, 1984, с. 183 – 193, 324 – 339.
6. П.И.Орлов. Основы конструирования: Справочно–методическое пособие. Кн. 2. 3–е изд. исправл. – М.: Машиностроение, 1988, с. 405 – 476.
7. В.Р.Воронов. Основы допусков и посадок: МУ к курс. проект. – Томск: изд–во ТПУ, 2009.– 44 с.

## УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

ВОЛЬФ ЭРНСТ ЛЕОНИДОВИЧ  
АН И–КАН

**ВАЛЫ В СБОРЕ: ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ  
ОПОРНЫХ УЗЛОВ. Часть 2**

Методические указания к выполнению заданий по самостоятельной аудиторной работе со студентами немашиностроительных специальностей по курсу «Прикладная механика»

Научный редактор  
доктор технических наук,  
профессор

Ан И–Кан

Компьютерный набор

Е.Н.Крутова

Подписано к печати 2009. Формат 60x84/16. Бумага «Классика».

Печать Херох. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. .  
Заказ . Тираж 100 экз.



Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Томского политехнического университета  
сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO  
9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.