

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Севастопольский государственный университет»

РАСЧЕТ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Методические указания
к разделу курсового проекта по дисциплинам «Детали машин и основы
конструирования» и «Прикладная механика» для студентов технических
специальностей дневной и заочной форм обучения

Севастополь
2015

Расчет подшипников качения: Методические указания к разделу курсового проекта по дисциплинам «Детали машин и основы конструирования» и «Прикладная механика»/ Сост. В.И. Пахалюк. – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2015. – 32 с.

Целью методических указаний является оказание методической помощи студентам при проектировании подшипников качения с учетом рекомендаций ГОСТ 18854-94 и ГОСТ 18855-94. В методических указаниях приведен весь необходимый для расчетов справочный материал, не требующий использования дополнительных литературных источников.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Техническая механика и машиноведение» 29 июня 2015 г., протокол № 6.

Допущено учебно-методическим советом Политехнического института СевГУ в качестве методических указаний.

Рецензенты:

заведующий кафедрой «Технология машиностроения», профессор Братан С.М.
доцент кафедры «Автомобильный транспорт» Сопин П.К.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Расчеты подшипников качения.....	3
2. Примеры расчета подшипников.....	10
Библиографический список	18
Приложение А	19
Приложение Б.....	21
Приложение В	23
Приложение Г.....	25
Приложение Д.....	27

Введение

Настоящие методические рекомендации основаны на отечественных стандартах ГОСТ 18854-82 и ГОСТ 18855-82, данных справочника - каталога "Подшипники качения" под редакцией Нарышкина В.Н. и Коросташевского Р.В. 1984 года издания и разработках кафедры "Детали машин" МГТУ им. Баумана Н.Э. [1,2,3,5].

Рекомендации используются при выборе подшипников качения для узлов машин и оборудования общего назначения и дополнены примерами расчетов. В целях расширения возможности применения ЭВМ для табличных значений расчетных коэффициентов даны формулы для их вычисления. В приложениях представлены характеристики основных типов подшипников.

1. Расчеты подшипников качения

Современный расчет подшипников качения базируют только на двух критериях: расчет на статическую грузоподъемность по остаточным деформациям и расчет на ресурс (долговечность) по усталостному выкрашиванию. Расчеты по другим критериям не разработаны, так как эти критерии связаны с целым рядом случайных факторов, трудно поддающихся учёту.

При проектировании машин подшипники качения не конструируют и не рассчитывают, а подбирают из числа стандартных по условным формулам [1,2].

Если частота вращения вала $n \leq 1 \text{ мин}^{-1}$, то подшипник подбирается по статической грузоподъемности, если $n > 1 \text{ мин}^{-1}$, то подшипник подбирается по динамической грузоподъемности. Расчетом определяется долговечность подшипника в часах.

При $1 < n < 10 \text{ мин}^{-1}$ принимаем $n = 10 \text{ мин}^{-1}$ и расчет проводим по принятому n .

Эквивалентная динамическая нагрузка на подшипники шариковый и роликовый радиально - упорные определяется по зависимости

$$P_r = (XVF_r + YF_a) \cdot K_\delta \cdot K_T, \quad (1)$$

где F_r, F_a - радиальная и осевая нагрузки на опору (реакции), Н;

$V = 1$ - если внутреннее кольцо вращается;

$V = 1,2$ - если вращается наружное кольцо;

X, Y - коэффициенты приведения радиальной и осевой нагрузок, определяются по таблице 1 в зависимости от типа подшипника и соотношения величин радиальной и осевой нагрузок [4];

K_δ - коэффициент безопасности, зависит от типа машины и характера нагрузки, определяется по таблице 2 [3];

K_T - температурный коэффициент, определяется по формуле:

$$K_T = 0,66 + \frac{100}{(400 - t)} \quad (2)$$

Таблица 1 – Значения X и Y для подшипников

Радиальные однорядные подшипники

$\frac{F_a}{C_{or}}$	$\frac{F_a}{VF_r} < e$		$\frac{F_a}{VF_r} > e$		e
	X	Y	X	Y	
0,014	1	0	0,56	2,30	0,19
0,028				1,99	0,22
0,056				1,71	0,26
0,084				1,55	0,28
0,11				1,45	0,30
0,17				1,31	0,34
0,28				1,15	0,38
0,42				1,04	0,42
0,56				1,00	0,44

Самоустанавливающиеся радиально-сферические шарикоподшипники

Однорядные				Двухрядные				e
$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$		$\frac{F_a}{VF_r} > e$		$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$		$\frac{F_a}{VF_r} > e$		
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1	0,42ctg α	0,40	0,4ctg α	1	0,42ctg α	0,65	0,65ctg α	1,5tg α

Радиально-упорные конические и радиальные самоустанавливающиеся роликоподшипники

Однорядные				Двухрядные				e
$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$		$\frac{F_a}{VF_r} > e$		$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$		$\frac{F_a}{VF_r} > e$		
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1	0	0,4	0,4ctg α	1	0,45ctg α	0,67	0,67ctg α	1,5tg α

Радиально-упорные шарикоподшипники

α^0	$\frac{iF_a}{C_{or}}$	Однорядные				Двухрядные				e
		$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$		$\frac{F_a}{VF_r} > e$		$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$		$\frac{F_a}{VF_r} > e$		
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
12	0,014	1	0	0,45	1,81	1	2,08	0,74	2,94	0,30
	0,029				1,62		1,84		2,63	0,34
	0,057				1,46		1,60		2,37	0,37
	0,086				1,34		1,52		2,18	0,41
	0,11				1,22		1,39		1,98	0,45
	0,17				1,13		1,30		1,84	0,48
	0,29				1,04		1,20		1,69	0,52
	0,43				1,01		1,16		1,64	0,54
	0,57				1,00		1,16		1,62	0,54

Продолжение таблицы 1

15	0,015	1	0	0,44	1,47	1	1,65	0,72	2,39	0,38
	0,029				1,40		1,57		2,28	0,40
	0,058				1,30		1,46		2,11	0,43
	0,087				1,23		1,38		2,00	0,46
	0,12				1,19		1,34		1,93	0,47
	0,17				1,12		1,26		1,82	0,50
	0,29				1,02		1,14		1,66	0,55
	0,44				1,00		1,12		1,63	0,56
	0,58				1,00		1,12		1,63	0,56
18,19,20		1	0	0,43	1,00	1	1,09	0,70	1,63	0,57
24,25,26				0,41	0,87		0,92	0,67	1,44	0,68
30				0,39	0,76		0,78	0,63	1,24	0,80
35,36				0,37	0,66		0,66	0,60	1,07	0,95
40				0,35	0,57		0,55	0,57	0,93	1,14

Таблица 2 – Значение коэффициента безопасности K_b в зависимости от вида нагружения и области применения подшипников

Вид нагружения	K_b	Область применения
Спокойная нагрузка без толчков	1,0	Маломощные кинематические редукторы и приводы. Ролики ленточных конвейеров. Механизмы ручных кранов и блоков. Тали, кошки, ручные лебедки. Приводы управления.
Легкие толчки; кратковременные перегрузки: до 125% номинальной (расчетной) нагрузки	1,0-1,2	Прецизионные зубчатые передачи. Металлорежущие станки (кроме строгальных, долбежных и шлифовальных). Гироскопы. Механизмы подъема кранов. Электротали и монорельсовые тележки. Лебедки с механическим приводом. Электродвигатели средней и малой мощности. Легкие вентиляторы и воздуходувки.
Умеренные толчки; вибрационная нагрузка; кратковременные перегрузки: до 150% номинальной (расчетной) нагрузки	1,3-1,5	Зубчатые передачи. Редукторы всех типов. Буксы рельсового подвижного состава. Механизмы передвижения крановых тележек. Механизмы поворота кранов. Механизмы изменения вылета стрелы кранов. Шпиндели шлифовальных станков. Электрошпиндели.

Продолжение таблицы 2

То же, в условиях повышенной надежности	1,5-1,8	Центрифуги и сепараторы. Буксы и тяговые двигатели электровозов. Механизмы передвижения кранов. Ходовые колеса тележек и опоры механизмов поворота кранов и экскаваторов. Мощные электрические машины. Энергетическое оборудование. Ходовые колеса механизмов передвижения кранов и дорожных машин.
Нагрузки со значительными толчками и вибрациями; кратковременные нагрузки: до 200% номинальной (расчетной) нагрузки	1,8-2,5	Зубчатые колеса. Дробилки и копры. Кривошипно-шатунные механизмы. Валки и адьюстаж прокатных станов. Мощные вентиляторы и эксгаустеры
Нагрузки с сильными ударами и кратковременные перегрузки: до 300% номинальной (расчетной) нагрузки	2,5-3,0	Тяжелые ковочные машины. Лесопильные рамы. Холодильное оборудование. Рабочие роликовые конвейеры крупносортовых станов, блюмингов и слябингов.

Обычно подшипники предназначены для работы при температуре до 100°C. Для этих условий $K_T > 1$ применяется в основном для подшипников из сталей типа ШХ 15 с высоким отпускком (200°C и выше). Эти подшипники отличаются пониженной твердостью и маркируются специальным знаком в цельном обозначении Т, Т1, Т2, Т3 при отпуске соответственно 200°C, 225°C, 250°C, 300°C. Рекомендуется применять подшипники с температурой отпуска превышающей на 50...60°C рабочую температуру (t), измеряемую на рабочем кольце.

Скорректированный расчетный ресурс подшипника в млн. оборотов при вероятности безотказной работы (надежности) 90% или вероятности разрушений 10%

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^m, \quad (3)$$

где

$$C = \begin{cases} C_r - \text{базовая динамическая грузоподъемность} \\ \text{подшипника радиальная, Н;} \\ C_a - \text{то же - осевая (для упорного подшипника), Н;} \end{cases}$$

$$P = \begin{cases} P_r - \text{эквивалентная динамическая нагрузка радиальная, Н;} \\ P_a - \text{то же - осевая (для упорного подшипника), Н;} \end{cases}$$

$m = 3$ – для шариковых подшипников;

$m = 10/3$ – для роликовых подшипников.

По рекомендации ISO в ГОСТ 18855-94 были введены коэффициенты и скорректирована долговечность

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 \left(\frac{C_r}{P_r} \right)^m, \quad (4)$$

где a_1 – коэффициент, учитывающий повышенную надежность (см. таблицу 1):

$$a_1 = \left(\frac{\lg S}{\lg 0,9} \right)^{\frac{1}{K}} \text{ или } \left(\frac{\lg(100 - n)}{\lg 90} \right)^{\frac{1}{K}}, \quad (5)$$

где n – вероятность разрушения в %;

S – потребная надежность;

$K = 1,5$ – параметр формы кривой распределения Вейбулла (чисто экспериментальная величина).

Таблица 3 – Значения коэффициента a_1

Потребная надежность	0.9 (90%)	0.95 (95%)	0.96 (96%)	0.97 (97%)	0.98 (98%)	0.99 (99%)
L_{na}	L_{10a}	L_5a	L_4a	L_3a	L_2a	L_1a
a_1	1	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

В 1984 году в каталоге значения C_r и C_a повышены на 30% за счет идеальных условий испытаний. В реальных условиях эксплуатации возможны отклонения от этих условий и поэтому сейчас обязательно расчет нужно вести по скорректированному ресурсу с коэффициентами a_1, a_2, a_3 . Если пользуемся старым каталогом, то эти коэффициенты не вводятся.

Значения коэффициентов между собой связаны, поэтому шведская фирма SKF предложила объединить: $a_{23} = a_2 a_3$. Тогда

$$L_{na} = a_1 a_{23} \left(\frac{C_r}{P_r} \right)^m, \quad (6)$$

Коэффициент a_{23} меняет значения в зависимости от смазки и условий эксплуатации.

В каталоге [3] приводятся значения a_{23} при следующих условиях эксплуатации:

1 – обычные условия;

2 – условия, характеризующиеся наличием гидродинамической пленки масла ($\Lambda \geq 2,5$) и отсутствием повышенных перекосов в узле;

3 – то же, что и 2, но подшипники изготовлены из стали электрошлакового переплава (ЭШП) или вакуумной стали.

Таблица 4 – Значения коэффициента a_{23}

Тип подшипников	Значения коэффициента a_{23} для условий эксплуатации		
	1	2	3
Шарикоподшипники (кроме сферических)	0,7...0,8	1,0	1,2...1,4
Роликоподшипники с цилиндрическими роликами, шарикоподшипники сферические двухрядные	0,5...0,6	0,8	1,0...1,2
Роликоподшипники конические	0,6...0,7	0,9	1,1...1,3
Роликоподшипники сферические	0,3...0,6	0,6	0,8...1,0

Базовые динамические грузоподъемности C_r и C_a пересчитаны для нового каталога при условии третьего вида эксплуатации.

Скорректированный расчетный ресурс подшипников в часах

$$L_{nah} = \frac{10^6 L_{na}}{60n}, \quad (7)$$

Причем зависимость $L_{10a} = a_{23} \left(\frac{C_r}{P_r} \right)^m$ действительна, пока $P_r \leq 0,5C_r$ или $P_a \leq 0,5C_a$.

Эквивалентная нагрузка для роликового радиального подшипника (с короткими цилиндрическими роликами):

$$P_r = VF_r \cdot K_\delta \cdot K_T; \quad (8)$$

$$\text{для упорного подшипника } P_a = F_a \cdot K_\delta \cdot K_T. \quad (9)$$

Если $n \leq 1 \text{ мин}^{-1}$, то эквивалентная статическая радиальная нагрузка

$$P_{or} = X_o F_r + Y_o F_a \leq C_{or}, \quad (10)$$

где X_o , Y_o - коэффициенты приведения, определяемые по таблице 5 [4]. Если нагружение подшипника задано циклограммой нагрузок (та же, что и при расчете передач), то эквивалентная динамическая нагрузка при переменном режиме работы для шарико - и роликоподшипников

$$P_{\varepsilon r} = P_r \sqrt[3]{\left(\frac{P_{r1}}{P_r} \right)^3 \cdot \frac{L_{10ah1}}{L_{10ah}} + \left(\frac{P_{r2}}{P_r} \right)^3 \cdot \frac{L_{10ah2}}{L_{10ah}} + \dots + \left(\frac{P_{rn}}{P_r} \right)^3 \cdot \frac{L_{10ahn}}{L_{10ah}}}, \quad (11)$$

где

$\frac{L_{10ah1}}{L_{10ah}}$ - длина 1 - й ступени циклограммы нагрузок в относительных единицах ресурса;

$\frac{P_{r1}}{P_r}$ - высота 1 - й ступени циклограммы нагрузок в относительных единицах нагрузки.

Таблица 5 – Значения коэффициентов радиальной X_o и осевой Y_o нагрузок

Тип подшипника	Однорядные подшипники		Двухрядные подшипники	
	X_o	Y_o	X_o	Y_o
Шарикоподшипники радиальные	0,6	0,5	0,6	0,5
Шарикоподшипники радиально – упорные с α , град.:	0,5	0,43	1	0,86
18				
19				
20				
25				
26				
30				
35				
36				
40				
Шарикоподшипники самоустанавливающиеся	0,5	$0,22 \operatorname{ctg} \alpha$	1	$0,44 \operatorname{ctg} \alpha$
Роликоподшипники самоустанавливающиеся и конические	0,5	$0,22 \operatorname{ctg} \alpha$	1	$0,44 \operatorname{ctg} \alpha$

Примечание: Для пары одинаковых однорядных радиально-упорных подшипников, установленных узкими или широкими торцами колец к друг другу, следует принимать те же значения коэффициентов X_o и Y_o , что и для одного двухрядного. Для двух и более одинаковых однорядных радиально-упорных шарикоподшипников, установленных последовательно (по схеме «тандем»), следует принимать те же значения коэффициентов X_o , Y_o , что и для одного такого же подшипника.

Надежность выбранного подшипника в % определяется из формулы (5)

$$S = 0,9^{a_1^k} \cdot 100, \quad (12)$$

коэффициент a_1 – с использованием (6) и (7)

$$a_1 = \left(\frac{P_{\varepsilon r}}{C_r} \right) \cdot L_{10a} = \left(\frac{P_{\varepsilon r}}{C_r} \right)^m \cdot \frac{60n}{10^6 \cdot a_{23}} \cdot L_{10ah}, \quad (13)$$

L_{10ah} , L_{10a} – требуемая долговечность (ресурс) службы подшипника при 90% надежности в часах и млн. оборотов соответственно.

Рекомендуется при подборе подшипники с вероятностью безотказной работы $S < 0,9$ не принимать.

При расчете базовой динамической радиальной грузоподъемности узла, состоящего из сдвоенных радиальных или радиально-упорных однорядных подшипников, пара одинаковых подшипников рассматривается как один двухрядный. Суммарная базовая динамическая радиальная грузоподъемность комплекта из двух шарикоподшипников [5]

$$C_{r\text{ сум}} = C_r \cdot i^{0,7}, \quad (14)$$

для двух роликоподшипников

$$C_{r\text{ сум}} = C_r \cdot i^{7/9}, \quad (15)$$

где i – количество рядов тел качения.

2. Примеры расчета подшипников

Пример 1. Подобрать радиальный шарикоподшипник для вала редуктора диаметром $d = 30$ мм.

Дано: $F_r = 1500$ Н; $n = 1000$ мин⁻¹; потребный ресурс $L_{10ah} = 10000$ ч; рабочая температура $t \leq 95^\circ\text{C}$; $K_T = 1$; $V = 1$; $K_\sigma = 1,3$. Циклограмма нагрузки состоит из четырех ступеней, имеющих отношение радиальных нагрузок:

$$\frac{P_{r1}}{P_r} = 1,0; \quad \frac{P_{r2}}{P_r} = 0,5; \quad \frac{P_{r3}}{P_r} = 0,195; \quad \frac{P_{r4}}{P_r} = 0,005;$$

при соответствующем отношении ресурса:

$$\frac{L_{10ah1}}{L_{10ah}} = 0,1; \quad \frac{L_{10ah2}}{L_{10ah}} = 0,5; \quad \frac{L_{10ah3}}{L_{10ah}} = 0,1; \quad \frac{L_{10ah4}}{L_{10ah}} = 0,3.$$

Осевые нагрузки случайные (малые по величине), т.е. можно принять $F_a = 0$.

Расчет.1. Определяем эквивалентную нагрузку

$$P_r = (XVF_r + YF_a) \cdot K_\sigma \cdot K_T,$$

где $X = 1$, $Y = 0$, так как $F_a/(VF_r) = 0 < e$, см. табл.1, тогда

$$P_r = (1 \cdot 1 \cdot 15000) \cdot 1,3 \cdot 1 = 1950 \text{ Н.}$$

2. Эквивалентная динамическая нагрузка при переменном режиме работы

$$\begin{aligned} P_{эр} &= P_r \sqrt[3]{\left(\frac{P_{r1}}{P_r}\right)^3 \cdot \frac{L_{10ah1}}{L_{10ah}} + \left(\frac{P_{r2}}{P_r}\right)^3 \cdot \frac{L_{10ah2}}{L_{10ah}} + \left(\frac{P_{r3}}{P_r}\right)^3 \cdot \frac{L_{10ah3}}{L_{10ah}} + \left(\frac{P_{r4}}{P_r}\right)^3 \cdot \frac{L_{10ah4}}{L_{10ah}}} = \\ &= 1950 \sqrt[3]{1,0^3 \cdot 0,1 + 0,5^3 \cdot 0,5 + 0,195^3 \cdot 0,1 + 0,005^3 \cdot 0,3} = 1066 \text{ Н.} \end{aligned}$$

3. Определяем необходимый ресурс в миллионах оборотов

$$L_{10a} = \frac{60 \cdot n \cdot L_{10ah}}{10^6} = \frac{60 \cdot 1000 \cdot 10000}{10^6} = 600.$$

4. Определяем необходимую базовую динамическую радиальную грузоподъемность

$$C_r = \sqrt[3]{\frac{L_{10a}}{a_{23}}} \cdot P_{\text{эр}} = \sqrt[3]{\frac{600}{0,7...0,8}} \cdot 1066 = (9685...10126) \text{ Н} ,$$

где $a_{23} = 0,7...0,8$ для обычных условий эксплуатации (таблица 4).

5. Выбираем по каталогу шарикоподшипник особо легкой серии 106 по ГОСТ 8338-75 со следующими характеристиками $C_r = 13300 \text{ Н}$, $C_{or} = 6800 \text{ Н}$, $n_{\text{пред}} = 15000 \text{ мин}^{-1}$ при жидкой смазке, $d = 30 \text{ мм}$, $D = 55 \text{ мм}$, $B = 13 \text{ мм}$ [3 или приложение А]. Вероятность безотказной работы при заданном ресурсе определяется по формуле (12):

$$S = 0,9 a_1^k \cdot 100 = 0,9^{(0,441...0,386)^{1,5}} \cdot 100 = (97...97,5)\%,$$

$$a_1 = \left(\frac{P_{\text{эр}}}{C_r} \right)^m \cdot \frac{60 \cdot n}{10^6 a_{23}} \cdot L_{10a} = \left(\frac{1066}{13300} \right)^3 \cdot \frac{60 \cdot 1000}{10^6 \cdot (0,7...0,8)} \cdot 10000 = 0,441...0,386 .$$

Пример 2. Подобрать радиальный шарикоподшипник для вала диаметром $d = 60 \text{ мм}$.

Дано: $F_r = 7000 \text{ Н}$; $F_a = 2500 \text{ Н}$; $n = 600 \text{ мин}^{-1}$; потребный ресурс $L_{10ah} = 20000 \text{ ч}$; $K_T = 1$; $V = 1$; $K_\sigma = 1,3$.

Расчет. 1. Так как на подшипник действуют радиальная и осевая силы, расчет необходимо выполнять методом последовательных приближений. Выбираем предварительно подшипник легкой серии 212. Характеристики этого подшипника: $C_r = 52000 \text{ Н}$, $C_{or} = 31000 \text{ Н}$, $n_{\text{пред}} = 7000 \text{ мин}^{-1}$ при жидком смазочном материале [3 или приложение А]. Циклограмма нагрузки та же, что и в примере 1.

2. Определяем эквивалентную нагрузку

$$P_r = (XVF_r + YF_a) \cdot K_\sigma \cdot K_T .$$

По таблице 1 для соотношения $F_a / C_{or} = 2500/31000 = 0,086$ находим для типа подшипника 0000 $e = 0,287$ $F_a / (V \cdot F_r) = 2500/(1 \cdot 7000) = 0,357 > e$, следовательно

$$X = 0,56; Y = 1,53,$$

$$P_r = (0,56 \cdot 1 \cdot 7000 + 1,53 \cdot 2500) \cdot 1,3 \cdot 1 = 10069 \text{ Н} .$$

3. Эквивалентная динамическая нагрузка при переменном режиме работы (см. пример 1)

$$P_{\text{эр}} = P_r \sqrt[3]{\sum_{i=1}^K \left(\frac{P_{ri}}{P_r} \right)^3 \cdot \frac{L_{10ahi}}{L_{10ah}}} = 10069 \cdot 0,547 = 5507 \text{ Н} .$$

4. Определяем скорректированный расчетный ресурс принятого подшипника в миллионах оборотов

$$L_{10a} = a_{23} \left(\frac{C_r}{P_{\text{эр}}} \right)^3 = (0,7...0,8) \left(\frac{52000}{5507} \right)^3 = 589,3...673,5,$$

где $a_{23} = 0,7...0,8$ для обычных условий эксплуатации (таблица 2).

5. Определяем скорректированный ресурс принятого подшипника в часах

$$L_{10ah} = \frac{10^6}{60 \cdot n} L_{10a} = \frac{10^6}{60 \cdot 600} (589,3...673,5) = (16369...18708) \text{ ч},$$

что меньше необходимого.

6. Принимаем подшипник средней серии 312 со следующими характеристиками [3 или приложение А]: $C_r = 81900 \text{ Н}$, $C_{or} = 48000 \text{ Н}$, $n_{пред} = 6000 \text{ мин}^{-1}$ при жидком смазочном материале.

7. Определяем эквивалентную нагрузку. Для соотношения $F_a / C_{or} = 2500/48000 = 0,052$ находим линейной интерполяцией $e = 0.255$.

$$F_a / (V \cdot F_r) = 0,357 > e,$$

следовательно, $X = 0,56$, $Y = 1,77$;

$$P_r = (0,56 \cdot 1 \cdot 7000 + 1,73 \cdot 2500) \cdot 1,3 \cdot 1 = 10719 \text{ Н}.$$

8. Эквивалентная динамическая нагрузка при переменном режиме работы

$$P_{\text{эр}} = 10719 \cdot 0,547 = 5863 \text{ Н}.$$

9. Определяем скорректированный расчетный ресурс принятого подшипника в миллионах оборотов

$$L_{10a} = (0,7...0,8) \left(\frac{81900}{5863} \right)^3 = 1908,0...2180,6.$$

10. Определяем скорректированный расчетный ресурс принятого подшипника в часах

$$L_{10ah} = \frac{10^6}{60 \cdot 600} (1908,6...2180,6) = (53000...60572),$$

что более чем в 2 раза превышает необходимый ресурс.

Коэффициенты e и Y можно было также определить аналитически по таблице 6 для $\alpha = 0^\circ$, не используя таблицу 1.

Подшипник пригоден, его габариты: $d = 60 \text{ мм}$, $D = 130 \text{ мм}$, $B = 31 \text{ мм}$. При заданном ресурсе надежность подшипника определяется по формуле(12):

$$S = 0,9 a_1^k \cdot 100 = 0,9^{(0,377...0,33)^{1,5}} \cdot 100 = (97,5...98)\%,$$

$$a_1 = \left(\frac{P_{\text{эр}}}{C_r} \right)^m \cdot \frac{60 \cdot n}{10^6 \cdot a_{23}} \cdot [L_{10ah}] = \left(\frac{5863}{81900} \right)^3 \cdot \frac{60 \cdot 600}{10^6 (0,7...0,8)} \cdot 20000 = 0,377...0,33.$$

Пример3. Подобрать подшипники для вала червяка, нагруженного консольной силой F_k , суммарной радиальной силой в зацеплении $F_{r\Sigma} = \sqrt{F_{t1}^2 + F_{r1}^2}$ и осевой силой F_A .

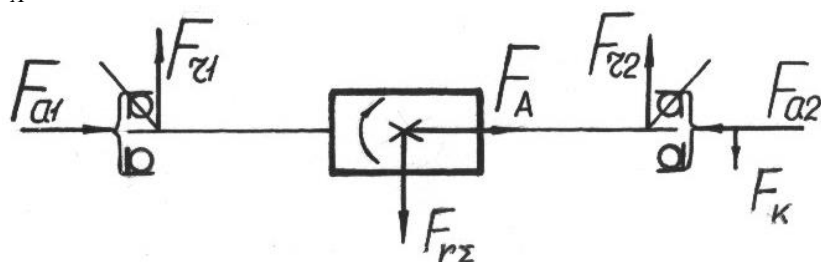


Рисунок 1– К подбору подшипников вала червяка

Дано: Диаметр вала $d = 35$ мм, система внешних сил $F_{r\Sigma}$, F_k и F_A вызывает радиальные реакции в опорах $F_{r1} = 1000$ Н, $F_{r2} = 1100$ Н, $n = 630$ мин⁻¹, $K_6 = 1,3$, $K_T = 1$, $V = 1$, необходимый ресурс $L_{10ah} = 10000$ часов. Циклограмма нагрузки та же, что и в примере 1.

Расчет. 1. Задаемся подшипником 36207: $d = 35$ мм, $D = 72$ мм, $B = 17$ мм, $C_r = 30800$ Н, $C_{or} = 17800$ Н, $n_{пред} = 12000$ мин⁻¹ при жидком смазочном материале, $\alpha = 12^\circ$ [3 или приложение Б].

2. Определяем минимальные осевые силы для 1-го и 2-го подшипников.

В радиально-упорных подшипниках за счет наклона к вертикали беговых дорожек тел качения под углом α и воздействия радиальных реакций F_r возникают дополнительные осевые реакции в опорах подшипников. Эти реакции являются минимальными силами, необходимыми для осевого удержания свободно установленного подшипника, зависят от величины F_r и определяются зависимостью $F_{amin} = e \cdot F_r$, где $e = 0,83 \cdot e$ для конических роликоподшипников, а для радиально-упорных шарикоподшипников e определяется по таблице 6.

При нахождении осевых реакций следует исходить из условия равновесия всех осевых сил, действующих на вал, и условия ограничения минимального уровня осевых нагрузок на радиально-упорные подшипники, которое обеспечивается правильной регулировкой подшипников при сборке узла вала.

Так, для заданной схемы составляются три уравнения:

$$\begin{aligned} F_A + F_{a1} - F_{a2} &= 0, \\ F_{a1} &\geq F_{amin1} = e \cdot F_{r1}, \\ F_{a2} &\geq F_{amin2} = e \cdot F_{r2}. \end{aligned}$$

Для нахождения решения в одной из опор осевая сила принимается равной минимальной $F_a = e \cdot F_r$. Задаем $F_{a1} = e \cdot F_{r1}$, тогда $F_{a2} = F_a + F_{a1} = F_A + e \cdot F_{a1}$. Если при этом $F_{a2} \geq e \cdot F_{r2}$, то следует принять $F_{a2} = e \cdot F_{r2}$ и тогда $F_{a1} = F_{a2} - F_A = e \cdot F_{r2} - F_A$, причем условие $F_{a1} \geq e \cdot F_{r1}$ будет обязательно выполнено.

Таблица 6 – Коэффициенты для расчета радиально-упорных шарикоподшипников (и радиальных при $\alpha = 0^\circ$)

α , град.	0	12	15
X	0,56	0,45	0,44
Y	$\frac{1-X}{e}$	$\frac{1-X}{e}$	$\frac{1-X}{e}$
e	$0,518 \left(\frac{F_a}{C_{or}} \right)^{0,24}$	$0,618 \left(\frac{F_a}{C_{or}} \right)^{0,163}$	$0,618 \left(\frac{F_a}{C_{or}} \right)^{0,12}$
e'	—	$0,563 \left(\frac{F_r}{C_{or}} \right)^{0,195}$	$0,579 \left(\frac{F_r}{C_{or}} \right)^{0,136}$

Для 1-й опоры заданной схемы по данным таблицы 6 или по рисунку 12.60 [4, с.363]

$$e' = 0,563 \left(\frac{F_{r1}}{C_{or}} \right)^{0,195} = 0,563 \left(\frac{1000}{285} \right)^{0,195} = 0,32,$$

$$F_{amin1} = e' F_{r1} = 0,363 \cdot 1000 = 320 \text{ Н.}$$

Для второй опоры

$$e' = 0,563 \left(\frac{F_{r2}}{C_{or}} \right)^{0,195} = 0,563 \left(\frac{1100}{285} \right)^{0,195} = 0,327,$$

$$F_{amin2} = e' F_{r2} = 0,327 \cdot 1100 = 360 \text{ Н.}$$

3. Определяем осевые реакции в опорах. Принимаем, что $F_{a1} = F_{amin1} = 320 \text{ Н}$, тогда $F_{a2} = F_{a1} + F_A = 320 + 4000 = 4320 \text{ Н}$, что больше F_{amin2} , следовательно осевые реакции в опорах найдены правильно.

4. Определяем эквивалентную нагрузку. Расчет ведем по более нагруженной опоре. По данным таблицы 6 или по таблице 1:

$$e = 0,618 \left(\frac{F_{a2}}{C_{or}} \right)^{0,163} = 0,618 \left(\frac{4320}{17800} \right)^{0,163} = 0,49,$$

$$F_{a2} / (V F_{r2}) = 4320 / (1 \cdot 1100) = 3,92 > e;$$

$$\text{следовательно, } X = 0,45, Y = \frac{1-X}{e} = \frac{1-0,45}{0,49} = 1,12;$$

эквивалентная нагрузка:

$$P_{r2} = (X V F_{r2} + Y F_{a2}) \cdot K_\theta \cdot K_T = (0,45 \cdot 1 \cdot 1100 + 1,12 \cdot 4320) \cdot 1,3 \cdot 1 = 6933 \text{ Н.}$$

5. Эквивалентная динамическая нагрузка при переменном режиме работы (см. пример 1)

$$P_{\text{э}r2} = P_{r2} \sqrt[3]{\sum_{i=1}^K \left(\frac{P_{ri}}{P_{r2}} \right)^3 \cdot \frac{L_{10ahi}}{L_{10ah}}} = 6933 \cdot 0,547 = 3792 \text{ Н.}$$

6. Определяем скорректированный ресурс подшипника в миллионах оборотов

$$L_{10a} = a_{23} \left(\frac{C_r}{P_{\text{э}r2}} \right)^3 = (0,7 \dots 0,8) \left(\frac{30800}{3792} \right)^3 = 375,1 \dots 428,7,$$

где $a_{23} = 0,7 \dots 0,8$ для обычных условий эксплуатации (таблица 4).

7. Определяем скорректированный расчетный ресурс подшипника в часах

$$L_{10ah} = \frac{10^6}{60 \cdot n} L_{10a} = \frac{10^6}{60 \cdot 630} (375,1 \dots 428,7) = (9923 \dots 11341).$$

Подшипник пригоден. Вероятность безотказной работы составляет по формуле (12):

$$S = 0,9^{a_1^k} \cdot 100 = 0,9^{(1,008 \dots 0,882)^{1,5}} \cdot 100 = (89,9 \dots 91,7)\%,$$

$$a_1 = \left(\frac{P_{\text{э}r}}{C_r} \right)^m \cdot \frac{60 \cdot n}{10^6 \cdot a_{23}} \cdot [L_{10ah}] = \left(\frac{3792}{30800} \right)^3 \cdot \frac{60 \cdot 630}{10^6 (0,7 \dots 0,8)} \cdot 10000 = 1,008 \dots 0,882.$$

Пример 4. Подобрать подшипник для вала конической шестерни по рисунку 2, нагруженного консольной силой F_k , суммарной радиальной силой в зацеплении $F_{r\Sigma} = \sqrt{F_{t1}^2 + F_{r1}^2}$ и осевой силой F_A .

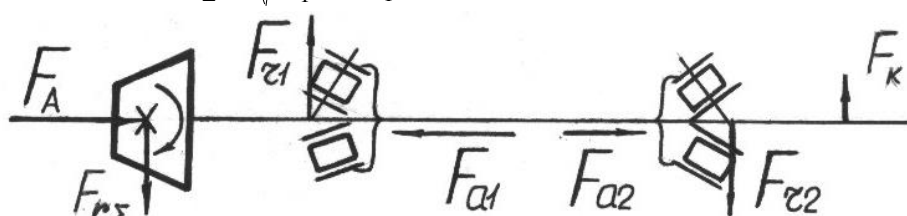


Рисунок 2 – К подбору подшипника вала конической шестерни

Дано: $d = 35$ мм, система внешних сил $F_{r\Sigma}$, F_k и F_A вызывают радиальные реакции в опорах $F_{r1} = 5400$ Н, $F_{r2} = 2000$ Н, $F_A = 500$ Н, $n = 1250$ мин⁻¹, потребный ресурс $L_{10ah} = 30000$ часов, $V = 1$, $K_\sigma = 1,3$, $K_T = 1$. Циклограмма нагрузки та же, что и в примере 1.

Расчет. 1. Примем подшипник 7507, у которого $d = 35$ мм, $D = 72$ мм, $T = 24,25$ мм, $B = 23$ мм, $c = 20$ мм, $C_r = 53000$ Н, $C_{or} = 4000$ Н, $e = 0,35$, $Y = 1,73$ при $F_a / (VF_r) > e$, $n_{пред} = 7000$ мин⁻¹ при жидком смазочном материале [3 или приложение Д].

2. Определяем минимальные осевые нагрузки для подшипников

$$e' = 0,83 \cdot e = 0,83 \cdot 0,35 = 0,29,$$

$$F_{amin1} = e' F_{r1} = 0,29 \cdot 5400 = 1566 \text{ Н,}$$

$$F_{amin2} = e' F_{r2} = 0,29 \cdot 2000 = 580 \text{ Н.}$$

3. Определяем осевые реакции в опорах. Принимаем, что $F_{a1} = F_{amin1} = 1566$ Н, тогда из условия равновесия $F_{a2} = F_{a1} - F_A = 1566 - 500 = 1066$ Н, что больше, чем F_{amin2} , следовательно, реакции найдены правильно (в противном случае см. пример 3).

4. Определяем эквивалентные нагрузки

- для 1-й опоры $\frac{F_{a1}}{VF_{r1}} = \frac{1566}{1 \cdot 5400} = 0,29 < e$, следовательно, $X = 1$, $Y = 0$.

Отсюда $P_{r1} = (XVF_{r1} + YF_{a1}) \cdot K_{\sigma} \cdot K_T = (1 \cdot 1 \cdot 5400 + 0 \cdot 500) \cdot 1,3 \cdot 1 = 7020$ Н;

- для 2-й опоры $\frac{F_{a2}}{VF_{r2}} = \frac{1066}{1 \cdot 2000} = 0,53 > e$, следовательно, $X = 0,4$, $Y = 1,73$ (таблица 1).

Отсюда $P_{r2} = (0,4 \cdot 1 \cdot 2000 + 1,73 \cdot 1066) \cdot 1,3 \cdot 1 = 3437$ Н.

5. Эквивалентная динамическая нагрузка при переменном режиме работы (см. пример 1) для 1-й более нагруженной опоры

$$P_{\text{эр1}} = P_{r1} \sqrt[3]{\sum_{i=1}^K \left(\frac{P_{ri}}{P_r} \right)^3} \cdot \frac{L_{10ahi}}{L_{10ah}} = 7020 \cdot 0,547 = 3840 \text{ Н.}$$

6. Определяем скорректированный расчетный ресурс принятого подшипника в миллионах оборотов

$$L_{10a} = a_{23} \left(\frac{C_r}{P_{\text{эр1}}} \right)^{\frac{10}{3}} = (0,6 \dots 0,7) \left(\frac{53000}{3840} \right)^{\frac{10}{3}} = 3784,1 \dots 4414,8,$$

принимаем $a_{23} = 0,6 \dots 0,7$ для обычных условий эксплуатации (таблица 2).

7. Определяем скорректированный расчетный ресурс подшипника в часах:

$$L_{10ah} = \frac{10^6}{60 \cdot n} L_{10a} = \frac{10^6}{60 \cdot 1250} (3784,1 \dots 4414,8) = (50454 \dots 58864).$$

Подшипник пригоден. При заданном ресурсе его надежность определяется по формуле (12):

$$S = 0,9^{a_1^k} \cdot 100 = 0,9^{(0,594 \dots 0,51)^{1,5}} \cdot 100 = (95,3 \dots 96,2)\%,$$

$$a_1 = \left(\frac{P_{\text{эр1}}}{C_r} \right)^m \cdot \frac{60 \cdot n}{10^6 \cdot a_{23}} \cdot [L_{10ah}] = \left(\frac{3840}{53000} \right)^{10/3} \cdot \frac{60 \cdot 1250}{10^6 (0,6 \dots 0,7)} \cdot 30000 = 0,594 \dots 0,51.$$

Пример 5. Определить скорректированный расчетный ресурс конических подшипников 27310 вала червяка, изображенного на рисунке 3, нагруженного консольной силой F_k , суммарной радиальной силой в зацеплении $F_{r\Sigma} = \sqrt{F_{t1}^2 + F_{r1}^2}$ и осевой силой F_A .

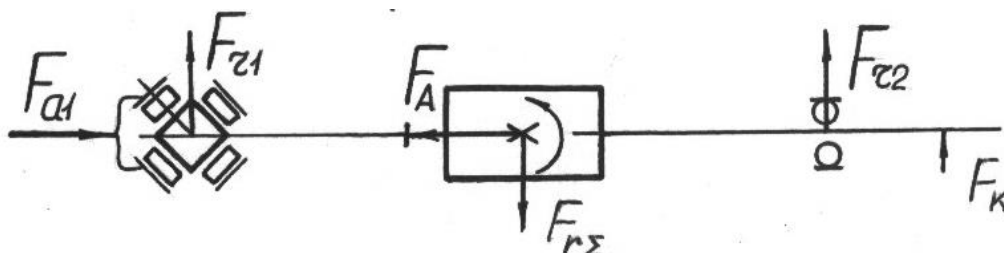


Рисунок 3 – К определению ресурса конических подшипников вала червяка

Дано: Система внешних сил $F_{r\Sigma}$, F_k и F_A вызывают радиальные реакции в опоре 1, $F_{r1} = 6860$ Н, $F_{a1} = F_a = 14000$ Н, $n = 950$ мин⁻¹, $V = 1$, $K_\delta = 1,3$, $K_T = 1$. Циклограмма нагрузки та же, что и в примере 1.

Расчет.1. Определяем характеристики подшипников 27310 по данным каталога [3 или приложение Д]: $C_r = 80000$ Н, $C_{or} = 53000$ Н, $e = 0,80$, $Y = 0,75$ при $F_a/(VF_r) > e$, $n_{пред} = 4300$ мин⁻¹ при жидком смазочном материале.

2. Рассматриваем два подшипника левой опоры как один двухрядный и определяем суммарную базовую динамическую грузоподъемность подшипников по формуле (15)

$$C_r = C_r \cdot i^{7/9} = 80000 \cdot 2^{7/9} = 137160 \text{ Н},$$

где $i = 2$ – количество рядов тел качения.

3. Определяем эквивалентную нагрузку для двухрядного подшипника левой опоры

$$\frac{F_{a1}}{VF_{r1}} = \frac{14000}{1 \cdot 6860} = 2,04 > e,$$

следовательно, по данным табл.1, $X = 0,67$, $Y = 0,67 \operatorname{ctg} \alpha = 0,67 \cdot \operatorname{ctg} 28,07 = 1,256$.

Угол α в каталоге не указан, но так как $e = 1,5 \operatorname{tg} \alpha$, то

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{e}{1,5} = \operatorname{arctg} \frac{0,80}{1,5} = 28,07^\circ.$$

$$P_{r1} = (XVF_{r1} + YF_{a1}) \cdot K_\delta \cdot K_T = (0,57 \cdot 1 \cdot 6860 + 1,256 \cdot 14000) \cdot 1,3 \cdot 1 = 28839 \text{ Н}.$$

4. Определяем эквивалентную динамическую нагрузку при переменном режиме работы (см. пример 1)

$$P_{\varepsilon r1} = P_{r1} \sqrt[3]{\sum_{i=1}^K \left(\frac{P_{ri}}{P_r} \right)^3} \cdot \frac{L_{10ahi}}{L_{10ah}} = 28839 \cdot 0,547 = 15775 \text{ Н}.$$

5. Определяем скорректированный расчетный ресурс подшипников в миллионах оборотов

$$L_{10a} = a_{23} \left(\frac{C_r}{P_{\text{эр1}}} \right)^{\frac{10}{3}} = (0,6...0,7) \left(\frac{137160}{15775} \right)^{\frac{10}{3}} = 811,0...946,2 ,$$

если $a_{23} = 0,6...0,7$ для обычных условий эксплуатации (таблица 2).

6. Определяем скорректированный расчетный ресурс подшипников в часах

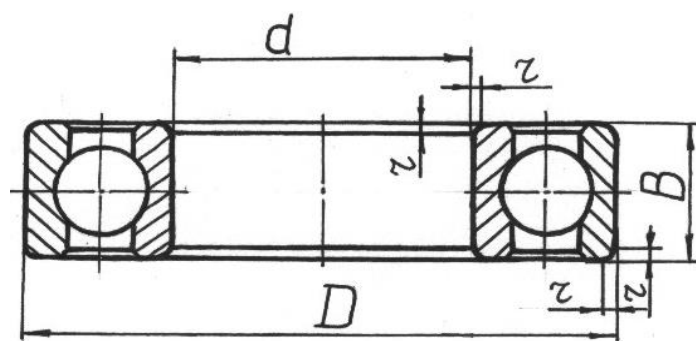
$$L_{10ah} = \frac{10^6}{60n} L_{10a} = \frac{10^6}{60 \cdot 950} (811,0...946,2) = 14228...16600 .$$

Сравнивая полученный ресурс с заданным ресурсом, производится оценка пригодности данного подшипника.

Библиографический список

1. ГОСТ 18854-94. Подшипники качения. Расчет статической грузоподъемности и эквивалентной статической нагрузки. Введ. 01.01.95. – М.: Изд. стандартов, 1994. – 29 с.
2. ГОСТ 18855-94. Подшипники качения. Расчет динамической грузоподъемности и долговечности. Введ. 01.01.95. – М.: Изд. стандартов, 1994. – 38 с.
3. Подшипники качения: Справочник-каталог / Под ред. А.Н. Нарышкина и Р.В. Коросташевского – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
4. Проектирование механических передач / С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцов и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 560с.
5. Выбор и расчеты подшипников качения: В.Н.Иванов, В.С.Барина. Методические указания к курсовому проектированию. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1988. –34 с.

Приложение А (справочное)



Шарикоподшипники
радиальные однорядные
(ГОСТ 8338-75)

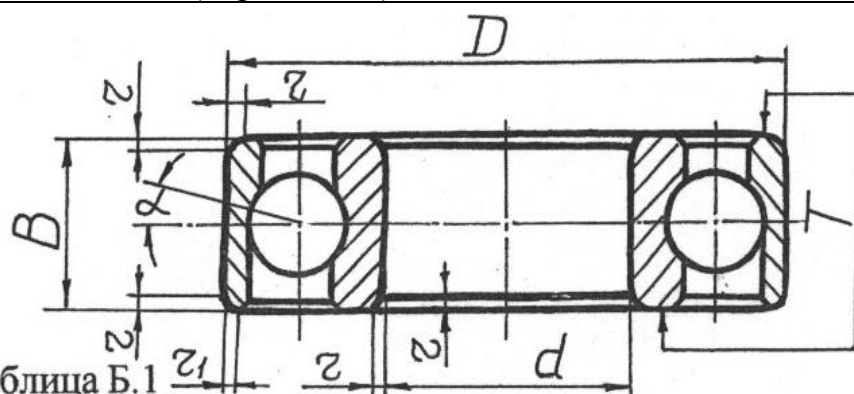
Таблица А.1

Условное обозначение подшипника	Серия	Размеры, мм				C_r , Н	C_{or} , Н	$n_{пред}$, мин ⁻¹ при смазочном материале	
		d	D	B	r			пластичном	жидком
104	Особо легкая нормальная	20	42	12	1	9360	4500	17000	20000
105		25	47	12	1	11200	5600	15000	18000
106		30	55	13	1,5	13300	6800	12000	15000
107		35	62	14	1,5	15900	8500	10000	13000
108		40	68	15	1,5	16800	9300	9500	12000
109		45	75	16	1,5	21200	12200	9000	11000
110		50	80	16	1,5	21600	13200	8500	10000
111		55	90	18	2	28100	17000	7500	9000
112		60	95	18	2	29600	18300	6700	8000
113		65	100	18	2	30700	19600	6300	7500
114		70	110	20	2	37700	24500	6000	7000
115		75	115	20	2	39700	26000	5600	6700
202	Легкая	15	35	11	1	7800	3550	19000	24000
203		17	40	12	1	9560	4500	17000	20000
204		20	47	14	1,5	12700	6200	15000	18000
205		25	52	15	1,5	14000	6950	12000	15000
206		30	62	16	1,5	19500	10000	10000	13000
207		35	72	17	2	25500	13700	9000	11000
208		40	80	18	2	32000	17800	8500	10000
209		45	85	19	2	33200	18600	7500	9000
210		50	90	20	2	35100	19800	7000	8500
211		55	100	21	2,5	43600	25000	6300	7500
212		60	110	22	2,5	52000	31000	6000	7000
213		65	120	23	2,5	56000	34000	5300	6300
214		70	125	24	2,5	61800	37500	5000	6000
215		75	130	25	2,5	66300	41000	4800	5600

Продолжение таблицы А.1

302	Средняя	15	42	13	1,5	11400	5400	17000	20000
303		17	47	14	1,5	13500	6650	16000	19000
304		20	52	15	2	15900	7800	13000	16000
305		25	62	17	2	22500	11400	11000	14000
306		30	72	19	2	28100	14600	9000	11000
307		35	80	21	2,5	33200	18000	8500	10000
308		40	90	23	2,5	41000	22400	7500	9000
309		45	100	25	2,5	52700	30000	6700	8000
310		50	110	27	3	61800	36000	6300	7500
311		55	120	29	3	71500	41500	5600	6700
312		60	130	31	3,5	81900	48000	5000	6000
313		65	140	33	3,5	92300	56000	4800	5600
314		70	150	35	3,5	104000	63000	4500	5300
315		75	160	37	3,5	112000	72500	4300	5000
316		80	170	39	3,5	124000	80000	3800	4500

Приложение Б (справочное)



Шарикоподшипники
радиально-упорные
однорядные
(ГОСТ 831-75)

Таблица Б.1

Условное обозначение подшипника	Серия	Размеры, мм					C_r , Н	C_{or} , Н	$n_{пред}$, мин ⁻¹ при смазочном материале	
		d	D	B	r	r_1			пластичном	жидком
36104	Особо легкая нормальная $\alpha = 12^\circ$	20	42	12	1	0,5	10600	5320	22000	30000
36105		25	47	12	1	0,5	11800	6290	19000	24000
36106		30	55	13	1,5	0,5	13300	8570	17000	22000
36107		35	62	14	1,5	0,5	15900	11300	16000	20000
36202	Легкая узкая $\alpha = 12^\circ$	15	35	11	1	0,3	8150	3830	24000	32000
36203		17	40	12	1	0,3	12000	6120	18000	24000
36204		20	47	14	1,5	0,5	15700	8310	16000	20000
36205		25	52	15	1,5	0,5	16700	9100	13000	17000
36206		30	62	16	1,5	0,5	22000	12000	11000	16000
36207		35	72	17	2	1	30800	17800	10000	12000
36208		40	80	18	2	1	38900	23200	9500	13000
36209		45	85	19	2	1	41200	25100	9000	12000
36210		50	90	20	2	1	43200	27000	8000	11000
36211		55	100	21	2,5	1,2	58400	34200	7000	9500
36212		60	110	22	2,5	1,2	61500	39300	6300	8500
36214		70	125	24	2,5	1,2	80200	54800	6000	8000
36302	Средняя узкая $\alpha = 12^\circ$	15	42	13	1,5	0,5	13600	6800	16000	20000
36303		17	47	14	1,5	0,5	17200	8700	13000	17000
36308		40	90	23	2,5	1,2	53900	32800	7000	9500
36318		90	190	43	4	2	189000	145000	2800	3600
46204	Легкая узкая $\alpha = 26^\circ$	20	47	14	1,5	0,5	14800	7640	15000	20000
46205		25	52	15	1,5	0,5	15700	8340	11000	15000
46206		30	62	16	1,5	0,5	21900	12000	10000	13000
46207		35	72	17	2	1	29000	16400	9000	11000
46208		40	80	18	2	1	36800	21300	8000	9000

Продолжение таблицы Б.1

46209	Легкая узкая $\alpha = 26^\circ$	45	85	19	2	1	38700	23100	7000	8500
46210		50	90	20	2	1	40600	24900	6300	8000
46211		55	100	21	2,5	1,2	50300	31500	6300	8000
46212		60	110	22	2,5	1,2	60800	38800	5600	7500
46213		65	120	23	2,5	1,2	69400	45900	5300	7000
46215		75	130	25	2,5	1,2	78400	53800	5000	6300
46216		80	140	26	3	1,5	87900	60000	4300	5600
46217		85	150	28	3	1,5	94400	65100	4000	5300
46218		90	160	30	3	1,5	111000	76200	3600	4800
46220		100	180	34	3,5	2	148000	107000	3200	4300
46222		110	200	38	3,5	2	174000	135000	2600	3600
46303	Средняя узкая $\alpha = 26^\circ$	17	47	14	1,5	0,5	16100	8000	13000	18000
46304		20	52	15	2	1	17800	9000	12000	16000
46305		25	62	17	2	1	26900	14600	9000	12000
46306		30	72	19	2	1	32600	18300	8000	10000
46307		35	80	21	2,5	1,2	42600	24700	7000	9500
46308		40	90	23	2,5	1,2	50800	30100	6300	8500
46309		45	100	25	2,5	1,2	61400	37000	5600	7500
46310		50	110	27	3	1,5	71800	44000	5000	6700
46312		60	130	31	3,5	2	100000	65300	4300	5600
46313		65	140	33	3,5	2	113000	75000	4000	5000
46314		70	150	35	3,5	2	127000	85300	3600	4800
46316		80	170	39	3,5	2	136000	99000	3200	4300
46318		90	190	43	4	2	165000	122000	2800	3800
46320		100	215	47	4	2	213000	177000	2400	3400
46330		150	320	65	5	2,5	357000	370000	1600	2200

Приложение В (справочное)

Шарикоподшипники радиальные сферические двухрядные (ГОСТ 5720-75)																		
Таблица В.1																		
Условное обозначение подшипника	Серия	Размеры, мм				C_r , Н	C_{or} , Н	$n_{пред}$, мин ⁻¹ при смазочном материале		Числовые значения коэффициентов								
		d	D	B	r			пластин- чном	жидко- м	e	$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$		$\frac{F_a}{VF_r} > e$		Y_o			
1204	Легкая узкая	20	47	14	1,5	9950	3180	15000	18000	0,27	0,1	X	Y	X	Y	2,42		
1205		25	52	15	1,5	12100	4000	13000	15000	0,27						2,31	3,57	2,44
1206		30	62	16	1,5	15600	5800	10000	13000	0,24						2,32	3,60	2,70
1207		35	72	17	2	15900	6600	9000	11000	0,23						2,58	3,99	2,87
1208		40	80	18	2	19000	8550	8500	10000	0,22						2,74	4,24	3,01
1209		45	85	19	2	21600	9600	7500	9000	0,21						2,87	4,44	3,11
1210		50	90	20	2	22900	10800	7000	8500	0,21						2,97	4,60	3,28
1211		55	100	21	2,5	26500	13300	6300	7500	0,20						3,13	4,85	3,39
1212		60	110	22	2,5	30200	15500	5600	6700	0,19						3,23	5,00	3,57
1213		65	120	23	2,5	31200	17200	5300	6300	0,17						3,41	5,27	3,88
1214	70	125	24	2,5	34500	18700	5000	6000	0,18	3,71	5,73	3,68						
1215	75	130	25	2,5	39000	21500	4800	5600	0,18	3,51	5,43	3,77						
										3,60		5,57						

Продолжение таблицы В.1

1304	Средняя узкая	20	52	15	2	12500	3660	12000	15000	0,29	0,1				2,17	0,65				3,35	2,27
1305		25	62	17	2	17800	6000	9500	13000	0,28					2,26					3,49	2,36
1306		30	72	19	2	21200	7700	9000	11000	0,26					2,46					3,80	2,58
1307		35	80	21	2,5	25100	9800	7500	9000	0,25					2,57					3,98	2,69
1308		40	90	23	2,5	29600	12200	6700	8000	0,24					2,61					4,05	2,74
1309		45	100	25	2,5	37700	13900	6300	7500	0,25					2,54					3,93	2,66
1310		50	110	27	3	43600	17500	5600	6700	0,24					2,69					4,14	2,80
1311		55	120	29	3	50700	22500	5000	6000	0,23					2,70					4,17	2,82
1312		60	130	31	3,5	57200	26500	4500	5300	0,23					2,80					4,33	2,93
1313		65	140	33	3,5	61800	29500	4300	5000	0,23					2,79					4,31	2,92
1314		70	150	35	3,5	74100	35500	4000	4800	0,22					2,81					4,35	2,95
1315		75	160	37	3,5	79300	38500	3800	4500	0,22					2,84					4,34	2,97
1316		80	170	39	3,5	88400	42000	3600	4300	0,22					2,92					4,52	3,06

Приложение Г (справочное)

Условное обозначение подшипника типов			Серия	Размеры, мм					C_r , Н	C_{or} , Н	$n_{пред}$, мин ⁻¹ при смазочном материале	
				d	D	B	r	r_1			Пласти чным	Жидко м
2000	32000	42000	Легкая узкая	20	47	14	1,5	1	14700	7350	15000	18000
2204	32204	42204		25	52	15	1,5	1	16800	8800	12000	15000
-	32205	42205		30	62	16	1,5	1	22400	12000	10000	13000
2206	32206	42206		35	72	17	2	1	31900	17600	9000	11000
2207	32207	42207		40	80	18	2	2	41800	24000	8500	10000
2208	32208	42208		45	85	19	2	2	44000	25500	7500	9000
2209	32209	42209		50	90	20	2	2	45700	275000	7000	8500
2210	32210	42210		55	100	21	2,5	2	56100	34000	6300	7500
2211	32211	42211		60	110	22	2,5	2,5	64400	43000	5600	6700
2212	32212	42212		65	120	23	2,5	2,5	76500	51000	5300	6300
2213	32213	42213		70	125	24	2,5	2,5	79200	51000	5000	6000
2214	32214	-		75	130	25	2,5	2,5	91300	63000	4800	5600
2215	32215	42215										

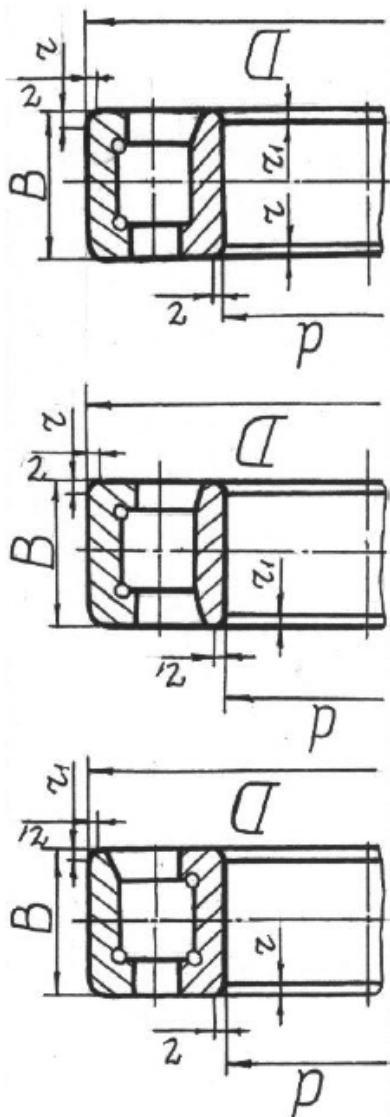


Таблица Г.1

Роликоподшипники радиальные
с короткими цилиндрическими
роликами (ГОСТ 8328-75)

Продолжение таблицы Г.1

2305	-	42305	Средняя узкая	25	52	17	2	2	28600	15000	9500	12000
2306	32306	42306		30	72	19	2	2	36900	20000	8500	10000
2307	-	42307		35	80	21	2,5	2	44600	27000	8000	9500
2308	32308	42308		40	90	23	2,5	2,5	56100	32500	6700	8000
2309	32309	42309		45	100	25	2,5	2,5	72100	41500	6300	7500
2310	32310	42310		50	110	27	3	3	88000	52000	5600	6700
2311	32311	42311		55	120	29	3	3	102000	67000	5000	6000
2312	32312	42312		60	130	31	3,5	3,5	123000	76500	4800	5600
2313	32313	42313		65	140	33	3,5	3,5	138000	85000	4500	5300
2314	32314	42314		70	150	35	3,5	3,5	151000	102000	4000	4800

Приложение Д (справочное)

Подшипники роликовые конические однорядные (ГОСТ 333-79)																	
Таблица Д.1																	
Условное обозначение подшипника	Серия	Размеры, мм							C _r , Н	C _{ор} , Н	Числовые значения коэффициентов			n _{пред} , мин ⁻¹ при смазочном материале			
		d	D	T	B	C	r	r ₁			e	Y	Y _o	Пласт ично М	Жидк ом		
2007106	Особо легкая широкая α = 11...15°	30	55	17	16	14	1,5	0,5	27000	19900	0,24	2,50	1,38	6700	9000		
2007107		35	62	18	17	15	1,5	0,5	32000	23000	0,27	2,12	1,22	6000	8000		
2007108		40	68	19	18	16	1,5	0,5	40000	28400	0,33	1,84	1,01	5300	7000		
2007109		45	75	20	19	16	1,5	0,5	44000	34900	0,30	1,99	1,10	4800	6300		
2007111		55	90	23	22	19	2	0,8	57000	45200	0,33	1,80	0,99	4000	5300		
2007113		65	100	23	22	19	2	0,8	61000	64500	0,38	1,59	0,88	3400	4500		
2007114		70	110	25	24	20	2	0,8	77000	71600	0,28	2,11	1,16	3200	4300		
2007115		75	115	25	24	20	2	0,8	78000	75000	0,30	1,99	1,10	3000	4000		
7205	Легкая узкая α = 12...18°	25	52	16,25	15	13	1,5	0,5	24000	17500	0,36	1,67	0,92	7500	10000		
7206		30	62	17,25	16	14	1,5	0,5	31000	22000	0,36	1,64	0,90	6300	8500		
7207		35	72	18,25	17	15	2	0,8	38500	26000	0,37	1,62	0,89	5300	7000		
7208		40	80	19,75	20	16	2	0,8	46500	32500	0,38	1,56	0,86	4800	6300		
7209		45	85	20,75	19	16	2	0,8	50000	33000	0,41	1,45	0,80	4500	6000		
7210		50	90	21,75	21	17	2,5	0,8	56000	40000	0,37	1,60	0,88	4300	5600		

Продолжение таблицы Д.1

7211		55	100	22,75	21	18	2,5	0,8	65000	46000	0,41	1,46	0,80	3800	5000
7212		60	110	23,75	23	19	2,5	0,8	78000	58000	0,35	1,71	0,94	3400	4500
7214		70	125	26,25	26	21	2,5	0,8	96000	82000	0,37	1,62	0,89	3000	4000
7215		75	130	27,25	26	22	2,5	0,8	107000	84000	0,39	1,55	0,85	2800	3800
7216		80	140	28,25	26	22	3	1	112000	95200	0,42	1,43	0,78	2400	3400
7506		30	62	21,25	20,5	17	1,5	0,5	36000	27000	0,36	1,64	0,90	6300	8500
7507		35	72	24,25	23	20	2	0,8	53000	40000	0,35	1,73	0,95	5300	7000
7508		40	80	24,75	23,5	20	2	0,8	56000	44000	0,38	1,57	0,87	4800	6300
7509		45	85	24,75	23,5	20	2	0,8	60000	46000	0,42	1,44	0,79	4500	6000
7510		50	90	24,75	25	20	2	0,8	62000	54000	0,42	1,43	0,78	4300	5600
7511		55	100	26,75	28	21	2,5	0,8	80000	61000	0,36	1,67	0,92	3800	5000
7512		60	110	29,75	31	24	2,5	0,8	94000	75000	0,39	1,53	0,84	3400	4500
7513		65	120	32,75	31	27	2,5	0,8	119000	98000	0,37	1,62	0,89	3000	4000
7514		70	125	33,25	31	27	2,5	0,8	125000	101000	0,39	1,55	0,85	2800	3800
7515		75	130	33,25	31	27	2,5	0,8	130000	108000	0,41	1,48	0,81	2600	3600
7305		25	62	18,25	17	15	2	0,8	33000	23200	0,36	1,61	0,92	6700	9000
7306		30	72	20,75	19	17	2	0,8	43000	29500	0,34	1,78	0,98	5600	7500
7307		35	80	22,75	21	18	2,5	0,8	54000	38000	0,32	1,38	1,03	5000	6700
7308		40	90	25,25	23	20	2,5	0,8	66000	47500	0,28	2,16	1,18	4500	6000
7309		45	100	27,25	26	22	2,5	0,8	83000	60000	0,28	2,16	1,19	4000	5300
7310		50	110	29,25	29	23	3	1	100000	75500	0,31	1,94	1,06	3600	4800
7311		55	120	31,50	31	25	3	1	107000	81500	0,33	1,80	0,99	3200	4300
7312		60	130	33,50	31	27	3,5	1,2	128000	96500	0,30	1,97	1,08	3000	4000
7313		65	140	36,00	33	28	3,5	1,2	146000	112000	0,30	1,97	1,08	2600	3600
7314		70	150	38,00	37	30	3,5	1,2	170000	137000	0,31	1,94	1,06	2400	3400
7315		75	160	40,00	37	31	3,5	1,2	180000	148000	0,33	1,83	1,01	2200	3200
7606		30	72	28,75	29	23	2	0,8	63000	51000	0,32	1,88	1,03	5300	7000
7607		35	80	32,75	31	27	2,5	0,8	76000	61000	0,30	2,03	1,11	4800	6300
7608		40	90	35,25	33	28,5	2,5	0,8	90000	67500	0,30	2,03	1,11	4000	5300

Продолжение таблицы Д.1

7609		45	100	38,25	36	31	2,5	0,8	114000	90500	0,29	2,06	1,13	3600	4800
7611		55	120	45,50	44,5	36,5	3	1	160000	140000	0,32	1,85	1,02	3000	4000
7612		60	130	48,50	47,5	39	3,5	1,2	186000	157000	0,30	1,97	1,08	2600	3600
7613		65	140	51,00	48	41	3,5	1,2	210000	168000	0,33	1,83	1,01	2400	3400
7614		70	150	54,00	51	43	3,5	1,2	240000	186000	0,35	1,71	0,94	2200	3200
7615		75	160	58,00	55	46,5	3,5	1,2	280000	235000	0,30	1,99	1,20	2000	3000
Роликоподшипники конические однорядные с большим углом конуса (ГОСТ 7260-81)															
27307	Средняя узкая $\alpha=20...30^\circ$	35	80	22,75	21	15	2,5	0,8	45000	29000	0,79	0,76	0,42	4500	5600
27308		40	90	25,25	23	17	2,5	0,8	56000	37000	0,79	0,75	0,42	4000	5000
27310		50	110	29,25	27	19	3	1	80000	53000	0,80	0,75	0,41	3200	43000
27311		55	120	31,50	29	21	3	1	92000	58000	0,81	0,79	0,50	2800	38000
27312		60	130	33,50	31	22	3,5	1,2	105000	61000	0,70	0,86	0,47	2600	36000
27313		65	140	36,00	33	23	3,5	1,2	120000	70000	0,75	0,80	0,44	2200	3200
27315		75	160	40,00	37	37	3,5	1,2	150000	93500	0,83	0,73	0,40	1800	2600

Заказ № 396 от « 26 » 10 2015 Тираж _____ экз.
Изд-во СевГУ