

1. БАЗОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Необходимый размер подшипника определяется на основании воздействия внешних сил, а также требуемой долговечности и надежности подшипника при установке. Выбор типа и размера подшипника зависит от амплитуды, направления и типа нагрузки, воздействующей на подшипник, а также рабочей температуры, ограниченность пространства, сложность монтажа, требования к смазке, уплотнения и т.д. Все эти параметры влияют на выбор наиболее подходящего к данным условиям применения подшипника. Для применения в различных конкретных условиях могут по техническим параметрам подходить несколько типов подшипников.

С точки зрения внешней нагрузки, воздействующей на подшипник, и функции подшипника в определенных условиях применения, мы различаем два типа нагрузки подшипника качения:

- если кольца подшипника качения вращаются в противоположных направлениях и подшипник находится под внешней нагрузкой (что характерно для большинства подшипников), это называется **динамической нагрузкой подшипников**;
- если кольца подшипника качения не вращаются в противоположных направлениях или они двигаются очень медленно, подшипник выполняет качательное движение или внешняя нагрузка прилагается на период, меньший чем один оборот подшипника, это называется **статической нагрузкой подшипника**.

Для вычисления запаса надежности подшипника, в первом случае ключевым моментом является срок службы, ограниченный отказом подшипника в связи с усталостью материала или подшипника. Во втором случае существуют длительные деформации функциональных поверхностей в области контакта тел качения и дорожек качения.

1.1 ДИНАМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА

1.1.1 Базовая динамическая грузоподъемность

Базовая динамическая грузоподъемность это постоянная неизменяемая нагрузка, которую подшипник может теоретически выдерживать при номинальном сроке службы один миллион оборотов. Для радиальных подшипников радиальная динамическая грузоподъемность C_r равна постоянной радиальной нагрузке. Для упорных подшипников осевая динамическая грузоподъемность C_a равна действующей по центру постоянной осевой нагрузке.

Величины базовой динамической грузоподъемности C_r и C_a , которые зависят от размеров подшипника, количества тел качения, материала, из которого изготовлен подшипник, и конструкции подшипника, указаны для каждого подшипника в таблице размеров. Значения базовой динамической грузоподъемности приведены согласно стандарту ISO 281. Данные значения подтверждены испытательным оборудованием и результатами эксплуатации.

1.1.2 Долговечность

Долговечность подшипника качения определяется как количество оборотов, выполняемых одним кольцом против другого кольца до момента появления первых признаков усталости материала на кольцах или телах качения. Подшипники одного типа могут иметь различную долговечность, поэтому согласно стандарту STN ISO 281 базовая долговечность используется в качестве основы для вычисления долговечности, т.е. долговечности, которую могут достичь или превзойти при эксплуатации примерно 90% одинаковых подшипников.

Уравнение расчета долговечности

Номинальная долговечность подшипника математически вычисляется уравнением, которое подходит для всех типов подшипников.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad \text{или} \quad \frac{C}{P} = \left(L_{10} \right)^{\frac{1}{p}}$$

L_{10}	- номинальная долговечность	[10 ⁶ об.]
C	- базовая динамическая грузоподъемность (значения C_r , C_a указаны в таблицах размеров)	[кН]
P	- эквивалентная динамическая нагрузка (уравнения для вычисления P_r и P_a представлены в разделе 1.1.3 по каждой группе подшипников)	[кН]

p - экспонент: для шарикоподшипников $p = 3$
 для цилиндрических, игольчатых, сферических и конических роликоподшипников $p = 10 / 3$

В Таблице 1 показана зависимость долговечности L_{10} и соответствующего соотношения C/P .

Если частота вращения не изменяется, можно использовать следующее уравнение для вычисления номинальной долговечности в часах:

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}$$

L_{10h} - номинальная долговечность
 n - частота вращения

$[ч]$
 $[об/мин]$

Зависимость C/P от номинальной долговечности L_{10} и частоты вращения указана для шариковых подшипников в Таблице 2, для цилиндрических, игольчатых, сферических и конических роликоподшипников - в Таблице 3.

Соотношение C/P в зависимости от долговечности L_{10}							Таб. 1
Для шариковых подшипников				Для цилиндрических, игольчатых, сферических и конических роликоподшипников			
Долговечность	C/P	Долговечность	C/P	Долговечность	C/P	Долговечность	C/P
L_{10}		L_{10}		L_{10}		L_{10}	
10^6		10^6		10^6		10^6	
0,5	0,793	600	8,43	0,5	0,812	600	6,81
0,75	0,909	650	8,66	0,75	0,917	650	6,98
1	1	700	8,88	1	1	700	7,14
1,5	1,14	750	9,09	1,5	1,13	750	7,29
2	1,26	800	9,28	2	1,24	800	7,43
3	1,44	850	9,47	3	1,39	850	7,56
4	1,59	900	9,65	4	1,52	900	7,70
5	1,71	950	9,83	5	1,62	950	7,82
6	1,82	1000	10	6	1,71	1000	7,94
8	2	1100	10,3	8	1,87	1100	8,17
10	2,15	1200	10,6	10	2	1200	8,39
12	2,29	1300	10,9	12	2,11	1300	8,59
14	2,41	1400	11,2	14	2,21	1400	8,79
16	2,52	1500	11,4	16	2,30	1500	8,97
18	2,62	1600	11,7	18	2,38	1600	9,15
20	2,71	1700	11,9	20	2,46	1700	9,31
25	2,92	1800	12,2	25	2,63	1800	9,48
30	3,11	1900	12,4	30	2,77	1900	9,63
35	3,27	2000	12,6	35	2,91	2000	9,78
40	3,42	2200	13	40	3,02	2200	10,1
45	3,56	2400	13,4	45	3,13	2400	10,3
50	3,68	2600	13,8	50	3,23	2600	10,6
60	3,91	2800	14,1	60	3,42	2800	10,8
70	4,12	3000	14,4	70	3,58	3000	11
80	4,31	3500	15,2	80	3,72	3500	11,5
90	4,48	4000	15,9	90	3,86	4000	12
100	4,64	4500	16,5	100	3,98	4500	12,5
120	4,93	5000	17,1	120	4,20	5000	12,9
140	5,19	5500	17,7	140	4,40	5500	13,2

Соотношение C/P в зависимости от долговечности L ₁₀							Таб. 1
Для шариковых подшипников				Для цилиндрических, игольчатых, сферических и конических роликоподшипников			
Долговечность L ₁₀	C/P	Долговечность L ₁₀	C/P	Долговечность L ₁₀	C/P	Долговечность L ₁₀	C/P
10 ⁶		10 ⁶		10 ⁶		10 ⁶	
160	5,43	6000	18,2	160	4,58	6000	13,6
180	5,65	7000	19,1	180	4,75	7000	14,2
200	5,85	8000	20	200	4,90	8000	14,8
250	6,30	9000	20,8	250	5,24	9000	15,4
300	6,69	10000	21,5	300	5,54	10000	15,8
350	7,05	12500	23,2	350	5,80	12500	16,9
400	7,37	15000	24,7	400	6,03	15000	17,9
450	7,66	17500	26	450	6,25	17500	18,7
500	7,94	20000	27,1	500	6,45	20000	19,5
550	8,19	25000	29,2	550	6,64	25000	20,9

Соотношение C/P в зависимости от долговечности L ₁₀ и частоты вращения n для шарикоподшипников														Таб. 2
Долговечность L _{10h}	Частота вращения n [мин ⁻¹] (об/мин)													
	10	16	25	40	63	100	125	160	200	250	320	400	500	630
Ч														
100	-	-	-	-	-	-	-	-	1,06	1,15	1,24	1,34	1,45	1,56
500	-	-	-	1,06	1,24	1,45	1,56	1,68	1,82	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67
1 000	-	-	1,15	1,34	1,56	1,82	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36
1 250	-	1,06	1,24	1,45	1,68	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63
1 600	-	1,15	1,34	1,56	1,82	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91
2 000	1,06	1,24	1,45	1,68	1,96	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23
2 500	1,15	1,34	1,56	1,82	2,12	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	2,56
3 200	1,24	1,45	1,68	1,96	2,29	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93
4 000	1,34	1,56	1,82	2,12	2,47	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32
5 000	1,45	1,68	1,96	2,29	2,67	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75
6 300	1,56	1,82	2,12	2,47	2,88	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20
8 000	1,68	1,96	2,29	2,67	3,11	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	2,70
10 000	1,82	2,12	2,47	2,88	3,36	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23
12 500	1,96	2,29	2,67	3,11	3,63	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81
16 000	2,12	2,47	2,88	3,36	3,91	4,56	4,93	5,23	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43
20 000	2,29	2,67	3,11	3,63	4,23	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11
25 000	2,47	2,88	3,36	3,91	4,56	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83
32 000	2,67	3,11	3,63	4,23	4,93	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6
40 000	2,88	3,36	3,91	4,56	5,32	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5
50 000	3,11	3,63	4,23	4,93	5,75	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	3,83	10,6	11,5	12,4
63 000	3,36	3,91	4,56	5,32	6,20	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4
80 000	3,36	4,23	4,93	5,75	6,70	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5
100 000	3,91	4,56	5,32	6,20	7,23	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6
200 000	4,93	5,75	6,70	7,81	9,11	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6



Соотношение C/P в зависимости от долговечности L_{10h} и частоты вращения n для шарикоподшипников

Таб. 2

Долговечность	Частота вращения n [мин ⁻¹] (об/мин)													
	L_{10h}	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500
C														
100	1,68	1,82	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56
500	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,2	6,7	7,23	7,81
1 000	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83
1 250	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6
1 600	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5
2 000	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4
2 500	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4
3 200	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5
4 000	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6
5 000	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8
6 300	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2
8 000	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6
10 000	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2
12 500	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9
16 000	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7
20 000	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7
25 000	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8
32 000	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1
40 000	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-
50 000	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-
63 000	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-
80 000	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-	-
100 000	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-	-	-
200 000	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-	-	-	-	-	-

Соотношение C/P в зависимости от долговечности L_{10h} и частоты вращения n для цилиндрических, сферических и конических роликоподшипников														Таб. 3
Долговечность	Частота вращения n [мин ⁻¹] (об/мин)													
L_{10h}	10	16	25	40	63	100	125	160	200	250	320	400	500	630
ϵ														
100	-	-	-	-	-	-	-	-	1,05	1,1	1,21	1,30	1,39	1,49
500	-	-	-	1,05	1,21	1,39	1,49	1,60	1,71	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42
1 000	-	-	1,13	1,30	1,49	1,71	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97
1 250	-	1,05	1,21	1,39	1,60	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19
1 600	-	1,13	1,30	1,49	1,71	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42
2 000	1,05	1,21	1,39	1,60	1,83	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66
2 500	1,13	1,30	1,49	1,71	1,97	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92
3 200	1,21	1,39	1,60	1,83	2,11	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20
4 000	1,30	1,49	1,71	1,97	2,26	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50
5 000	1,39	1,60	1,83	2,11	2,42	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82
6 300	1,49	1,71	1,97	2,26	2,59	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17
8 000	1,60	1,83	2,11	2,42	2,78	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54
10 000	1,71	1,97	2,26	2,59	2,97	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94
12 500	1,83	2,11	2,42	2,78	3,19	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36
16 000	1,97	2,26	2,59	2,97	3,42	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81
20 000	2,11	2,42	2,78	3,19	3,66	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30
25 000	2,26	2,59	2,97	3,42	3,92	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82
32 000	2,42	2,78	3,19	3,66	4,20	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38
40 000	2,59	2,97	3,42	3,92	4,50	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98
50 000	2,78	3,19	3,66	4,20	4,82	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62
63 000	2,97	3,42	3,92	4,50	5,17	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3
80 000	3,19	3,66	4,20	4,82	5,54	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0
100 000	3,42	3,92	4,50	5,17	5,94	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8
200 000	4,20	4,82	5,54	6,36	7,30	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6

Соотношение C/P в зависимости от долговечности L_{10h} и частоты вращения n для цилиндрических, сферических и конических роликоподшипников														Таб. 3
Долговечность	Частота вращения n [мин ⁻¹] (об/мин)													
L_{10h}	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
ϵ														
100	1,60	1,71	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92
500	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,7	5,54	5,94	6,36
1 000	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82
1 250	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38
1 600	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98
2 000	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62
2 500	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3
3 200	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0
4 000	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8
5 000	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7
6 300	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6
8 000	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6
10 000	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6
12 500	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7
16 000	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9
20 000	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2
25 000	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6
32 000	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-
40 000	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-
50 000	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-
63 000	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-	-
80 000	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-	-	-
100 000	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-	-	-	-
200 000	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

При использовании подшипников в осях дорожных и железнодорожных транспортных средств номинальная долговечность можно выразить уравнением в объеме пройденных километров.

$$L_{10km} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \cdot \frac{\pi \cdot D}{1000}$$

L_{10km} - номинальная долговечность
 D - диаметр колеса

$[10^6 \text{ км}]$
 $[м]$

Значения базовой номинальной долговечности

В случаях когда долговечность для заданных условий применения не указана, можно воспользоваться значениями, приведенными в Таблицах 4 и 5.

Значения базовой номинальной долговечности в часах	Таб. 4
Тип оборудования, станка	Номинальная долговечность
	L_{10h}
	ч
Устройства и инструменты, используемые редко	1 000
Бытовая техника, небольшие вентиляторы	2 000 - 4 000
Оборудование с прерывистым режимом работы, ручной инструмент, подъемные устройства, сельскохозяйственные машины	4 000 - 8 000
Оборудование с прерывистым режимом работы, где требуется высокая степень надежности, вспомогательное оборудование электростанций, ленточные конвейеры, грузовой транспорт, подъемники (лифты)	8 000 - 15 000
Прокатные станы	6 000 - 12 000
Оборудование, работающее 8-16 часов - стационарные электромоторы, зубчатые передачи, шпиндели ткацкого оборудования, оборудование для обработки пластика, печатные станки, краны	15 000 - 30 000
Станки общего назначения	20 000 - 30 000
Оборудование с постоянным режимом работы - стационарные электрические станки, конвейерное оборудование, роликовые конвейеры, насосы, центрифуги, воздуходувки, компрессоры, молотковые дробилки, брикетировочные прессы, подъемники шахт, канатные шкивы	40 000 - 60 000
Оборудование с постоянным режимом работы с высокой степенью надежности - электростанции, оборудование, работающее в воде, бумагоделательные машины, судовые механизмы	100 000 - 200 000

Значения базовой номинальной долговечности в километрах	Таб. 5
Тип транспортного средства	Номинальная долговечность
	L_{10km}
	км

Колеса дорожных транспортных средств:

Мотоциклы	60 000
Автомобили	150 000 - 250 000
Грузовики, автобусы	400 000 - 500 000

Буксовые подшипники для железнодорожного транспорта:

Товарные вагоны в условиях постоянной максимальной нагрузки на ось	800 000
Трамвай	1 500 000
Пассажирский железнодорожный транспорт	3 000 000
Вагонетки с двигателем или узлы с двигателем	3 000 000 - 4 000 000
Локомотивы	3 000 000 - 5 000 000

Вычисление скорректированной долговечности

Скорректированная номинальная долговечность рассчитывается с учетом не только нагрузки, но и влияния на подшипник других факторов, например, особых свойств материала, физических, механических и химических свойств смазки, а также рабочей температуры.

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_{10}$$

L_{na}	- скорректированная долговечность для особых свойств материала и условий эксплуатации при надежности (100-n)%	[10 ⁶ об.]
a_1	- коэффициент, учитывающий надежность, отличную от 90%, см. Таблицу 6	
a_{23}	- коэффициент, учитывающий особые свойства материала, смазки, технологии производства и рабочие условия, см. Рис. 1	
L_{10}	- номинальная долговечность	[10 ⁶ об.]

Значения коэффициента a_1		Таб. 6
Надежность (%)	L_n	a_1
90	L_{10}	1,00
95	L_5	0,62
96	L_4	0,53
97	L_3	0,44
98	L_2	0,33
99	L_1	0,21

Значения коэффициента a_{23} можно найти, используя диаграмму на Рис. 1.

$$K = \frac{\nu}{\nu_1}$$

ν	- кинематическая вязкость смазки при рабочей температуре	[мм ² .с ⁻¹]
ν_1	- расчетная кинематическая вязкость, которая определяется в зависимости от частоты вращения и размеров подшипника	[мм ² .с ⁻¹]

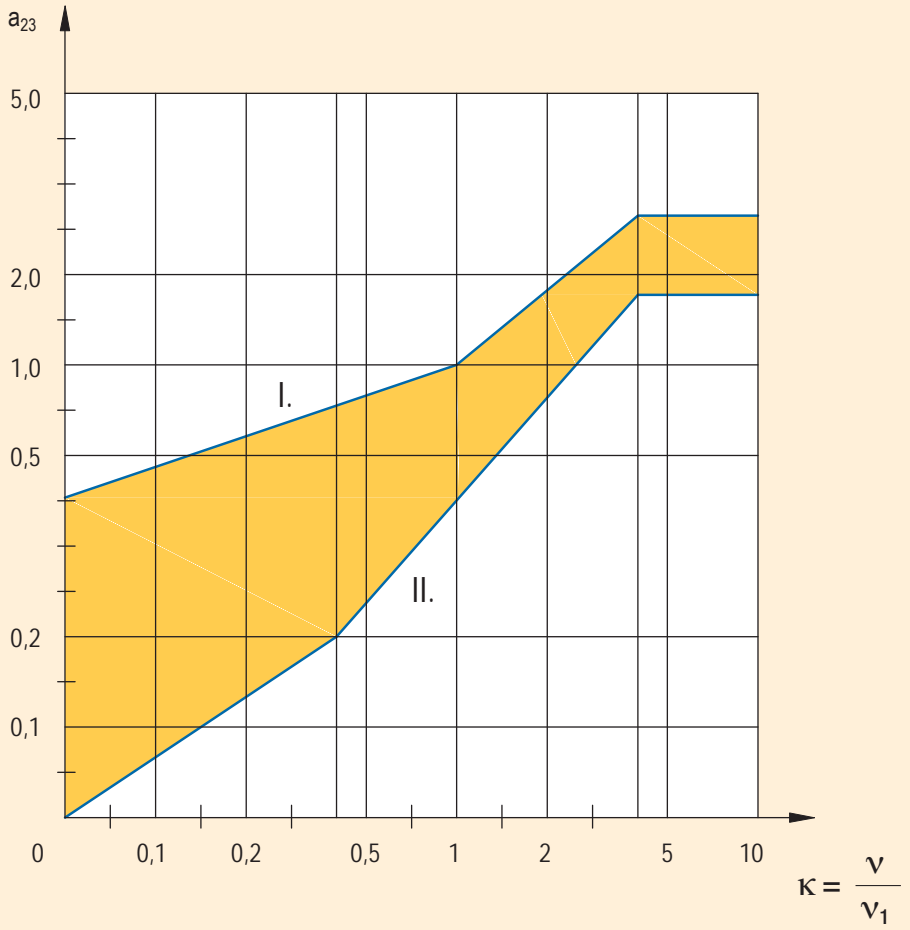
Величины ν и ν_1 определяются по диаграммам на Рис. 23 или 24.

На диаграмме, Рис.1, линия I действительная для радиальных шарикоподшипников, работающих в очень чистых условиях. В других случаях коэффициент a_{23} ниже, и зависит от чистоты окружающей среды, а тенденция уменьшения коэффициента зависит от конструкции подшипника в следующем порядке:

- радиально-упорные шарикоподшипники
- конические роликоподшипники
- цилиндрические роликоподшипники
- двухрядные самоустанавливающиеся шарикоподшипники
- сферические роликоподшипники

Линия II используется, если устанавливается коэффициент a_{23} для сферических роликоподшипников, работающих в очень грязных условиях.

Мы рекомендуем проконсультироваться у поставщика по данному вопросу.



1.1.3 Эквивалентная динамическая нагрузка

В различных условиях применения на подшипник действуют разные силы при разной частоте вращения и в течение разного периода времени. Таким образом, действующие силы необходимо перевести в постоянную нагрузку, при которой подшипник будет иметь такую же долговечность, какую он достигнет в условиях фактической нагрузки. Такая переведенная постоянная радиальная или осевая нагрузка и называется эквивалентной нагрузкой P , или P_r (радиальная) и P_a (осевая).

Комбинированная нагрузка

Постоянная нагрузка

Внешние силы, действующие на подшипник, не изменяются с точки зрения величины и времени.

Радиальные подшипники

Если радиальные подшипники подвергаются воздействию постоянных сил в радиальном и осевом направлениях одновременно, для вычисления радиальной эквивалентной динамической нагрузки можно использовать следующее уравнение:

$$P_r = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

P_r	- радиальная эквивалентная динамическая нагрузка	[кН]
F_r	- динамическая радиальная нагрузка подшипника	[кН]
F_a	- динамическая осевая нагрузка подшипника	[кН]
X	- коэффициент радиальной нагрузки	
Y	- коэффициент осевой нагрузки	

Коэффициенты X и Y зависят от соотношения F_a/F_r . Значения коэффициентов X и Y указаны в таблицах размеров или в главах с детальным описанием типов подшипников и вычислениями для них.

Упорные подшипники

Упорные подшипники могут выдерживать воздействие силы только в осевом направлении. Для вычисления осевой эквивалентной динамической нагрузки используется следующее уравнение:

$$P_a = F_a$$

P_a	- осевая эквивалентная динамическая нагрузка	[кН]
F_a	- динамическая осевая нагрузка подшипника	[кН]

Упорные сферические роликоподшипники могут также выдерживать некоторую динамическую нагрузку, но только при одновременном воздействии осевой нагрузки, тогда должно выполняться следующее условие: $F_r \leq 0,55 F_a$. Осевая эквивалентная динамическая нагрузка вычисляется по уравнению:

$$P_a = F_a + 1,2 \cdot F_r$$

Переменная нагрузка

Фактическая переменная нагрузка, продолжительность которой известна, для вычислений заменяется средней гипотетической нагрузкой. Данная гипотетическая нагрузка имеет такое же воздействие на подшипник, как и переменная нагрузка.

Изменение величины нагрузки при постоянной частоте вращения

Если на подшипник прилагается нагрузка в постоянном направлении, и ее величина изменяется со временем, а частота вращения постоянна (Рис. 2), мы можем вычислить среднюю гипотетическую нагрузку F_s по следующему уравнению:

$$F_s = \left(\sum_{i=1}^n F_i^3 \cdot \frac{q_i}{100} \right)^{\frac{1}{3}}$$

F_s - средняя гипотетическая постоянная нагрузка [кН]
 $F_i = F_1, \dots, F_n$ - постоянная частичная фактическая нагрузка [кН]
 $q_i = q_1, \dots, q_n$ - доля времени изменяющейся нагрузки [%]

При постоянной частоте вращения с линейным изменением нагрузки в постоянном направлении (см. Рис. 3) среднюю гипотетическую нагрузку можно вычислить по следующей формуле:

$$F_s = \frac{F_{\min} + 2 \cdot F_{\max}}{3}$$

Рис. 2

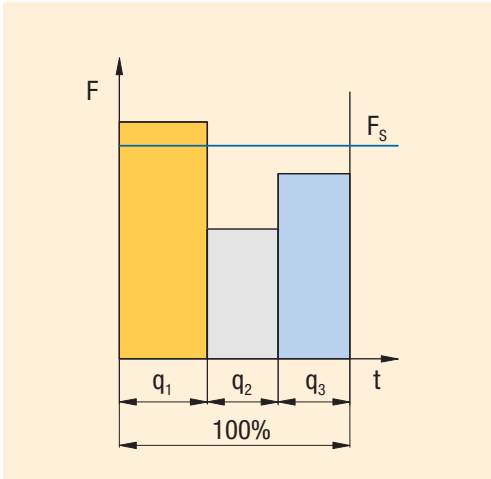
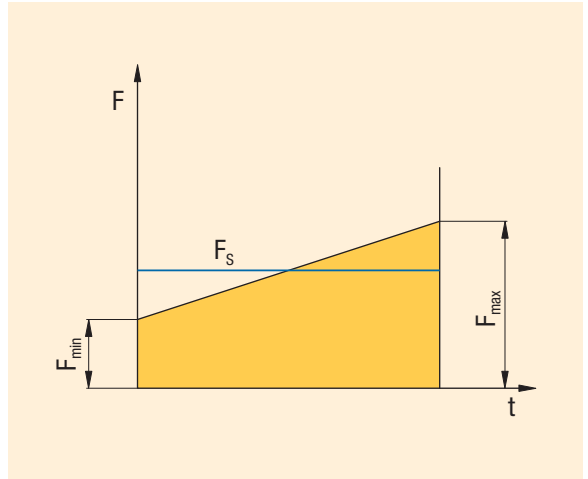


Рис. 3



Если фактическая нагрузка имеет синусный характер (см. Рис. 4), средняя гипотетическая нагрузка будет следующей:

$$F_s = 0,75 \cdot F_{\max}$$

Изменение величины нагрузки при изменяющейся частоте вращения

Если время от времени нагрузка на подшипник изменяется и при этом изменяется частота вращения, средняя гипотетическая нагрузка вычисляется по следующей формуле:

$$F_s = \left(\frac{\sum_{i=1}^n F_i^3 \cdot q_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^n q_i \cdot n_i} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$n_i = n_1, \dots, n_n$ - постоянная частота вращения за часть времени воздействия нагрузки F_1, \dots, F_n [мин⁻¹]
 $q_i = q_1, \dots, q_n$ - доля времени изменяющейся нагрузки и частоты вращения [%]

Если изменяется только частота вращения, средняя гипотетическая постоянная частота вращения рассчитывается следующим образом:

$$n_s = \frac{\sum_{i=1}^n q_i \cdot n_i}{100}$$

n_s = средняя частота вращения [мин⁻¹]

Рис. 4

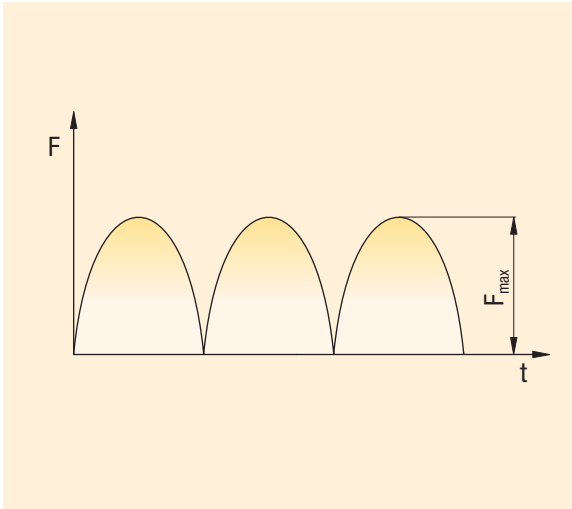
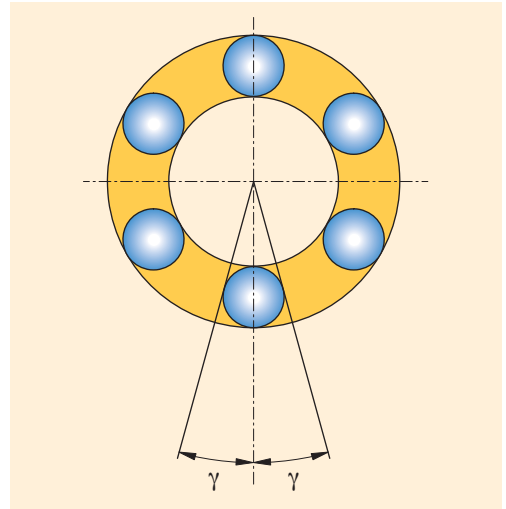


Рис. 5



При выполнении колебательных движений γ (см. Рис. 5) проще заменить колебательное движение гипотетическим вращением, если частота вращения равна частоте колебаний. Для радиальных подшипников средняя гипотетическая нагрузка вычисляется по формуле:

$$F_s = F_r \left(\frac{\gamma}{90} \right)^{\frac{1}{p}}$$

- F_s - средняя гипотетическая нагрузка [кН]
- F_r - фактическая радиальная нагрузка [кН]
- γ - амплитуда колебательного движения [°]
- p - показатель степени $p = 3$ для шариковых подшипников
 $p = 10/3$ для цилиндрических, игольчатых, сферических и конических роликоподшипников

1.1.4 Воздействие температуры

Представленный ассортимент продукции предполагается для применения в условиях при рабочей температуре до 120°C. Исключением являются двухрядные сферические роликоподшипники, которые могут работать при температуре до 180°C, а также однорядные шарикоподшипники с уплотнениями (RS, 2RS, 2RSR, RSR2, -2RSR2), которые применяются при температуре до 110°C, и уплотнениями RS2, -2RS2, RSR2, -2RSR2 - до 180°C.

Для применения в условиях, где рабочие температуры выше, изготавливаются специальные подшипники, которые могут сохранять свои физические и механические свойства, а также имеют размерную стабильность.

Значения базовой динамической нагрузки C_r или C_a , указанные в таблицах размеров в данном издании, необходимо умножить на коэффициент f_t , приведенный в Таблице 7

Значения коэффициента f_t	Таб. 7			
Рабочие температуры - до [°C]	150	200	250	300
Коэффициент f_t	0,95	0,9	0,75	0,6

1.2 СТАТИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА

1.2.1 Базовая статическая грузоподъемность

Радиальная базовая статическая C_{or} и осевая статическая грузоподъемность C_{oa} указаны для каждого подшипника в таблицах размеров данного издания. Значения C_{or} и C_{oa} определены согласно стандарту ISO 76.

Базовая статическая грузоподъемность - это нагрузка, при которой контактные напряжения в самом нагруженном месте контакта тел качения и дорожек качения достигают:

- 4600 МПа для двухрядных самоустанавливающихся шарикоподшипников;
- 4200 МПа для прочих шарикоподшипников;
- 4000 МПа для цилиндрических, игольчатых, сферических и конических роликоподшипников.

1.2.2 Эквивалентная статическая нагрузка

Эквивалентная статическая нагрузка - это расчетная величина, которая соответствует радиальной нагрузке P_{or} для радиальных подшипников и действующей по центру осевой нагрузке P_{oa} для упорных подшипников.

$$P_{or} = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a$$

$$P_{oa} = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a$$

P_{or}	- радиальная эквивалентная статическая нагрузка	[кН]
P_{oa}	- осевая эквивалентная статическая нагрузка	[кН]
F_r	- радиальная нагрузка	[кН]
F_a	- осевая нагрузка	[кН]
X_0	- коэффициент радиальной нагрузки	
Y_0	- коэффициент осевой нагрузки	

Запас статической грузоподъемности s_0			Таб. 8
Движение подшипника	Тип нагрузки, требования к ходу подшипника	s_0 для шариковых подшипников	s_0 для цилиндрических, игольчатых, конических, сферических роликовых подшипников
Вращение	Ярко выраженная ударная нагрузка, высокие требования к плавности вращения	2	4
	После статического нагружения подшипник вращается при небольшой нагрузке	1,5	3
	Нормальные требования к плавности вращения		
	Нормальные условия работы и нормальные требования к плавности вращения	1	1,5
	Плавная работа без ударных нагрузок	0,5	1
Колебание	Небольшой угол колебания с высокой частотой, неравномерная ударная нагрузка	2	3,5
	Большой угол колебаний с низкой частотой и приблизительно постоянной нагрузкой	1,5	2,5
Без вращения	Ярко выраженная ударная нагрузка	1,5 - 1	3 - 2
	Нормальная и небольшая нагрузка, отсутствие специальных требований к работе подшипника	1 - 0,4	2 - 0,8
	Сферические упорные роликоподшипники - любой тип движения и нагрузки	-	4

Коэффициенты X_0 и Y_0 указаны для подшипников в таблицах размеров настоящего издания. В таблицах также содержатся данные об эквивалентной статической нагрузке представленных подшипников.

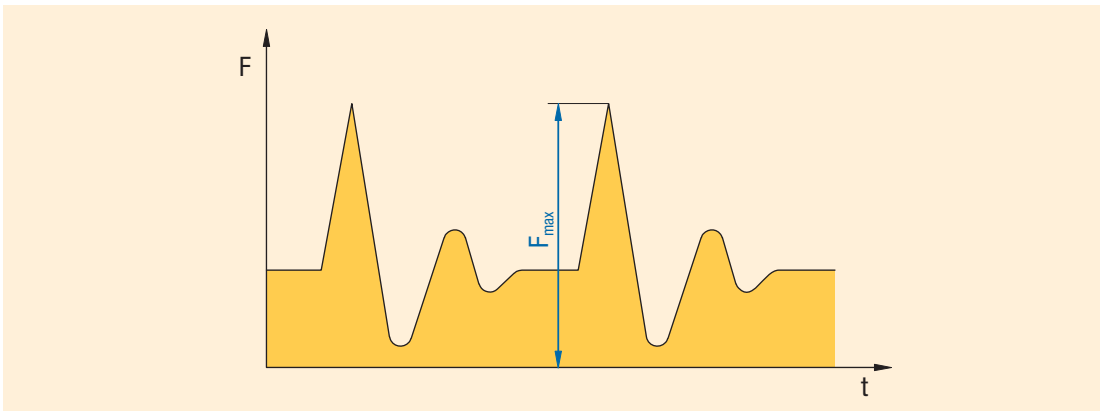
1.2.3 Запас статической грузоподъемности

На практике запас статической грузоподъемности определяется соотношением $C_{ор}/P_{ор}$ или $C_{оа}/P_{оа}$ и его можно сравнить с данными из таблицы 8, где указаны коэффициенты для различных условий эксплуатации.

$$S_0 = \frac{C_{ор}}{P_{ор}} \quad \text{или} \quad \frac{C_{оа}}{P_{оа}}$$

S_0	- запас статической грузоподъемности	
$C_{ор}$	- радиальная базовая статическая грузоподъемность	[кН]
$C_{оа}$	- осевая базовая статическая грузоподъемность	[кН]
$P_{ор}$	- радиальная эквивалентная статическая нагрузка или максимальная действующая ударная сила $F_{r \max}$ (Рис. 6) при ярко выраженной ударной нагрузке	[кН]
$P_{оа}$	- осевая эквивалентная статическая нагрузка или максимальная действующая ударная сила $F_{a \max}$ (Рис. 6) при ярко выраженной ударной нагрузке	[кН]

Рис. 6



1.3 ПРЕДЕЛЬНАЯ ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ

Скоростные характеристики зависят от типа подшипника, его класса точности, конструкции сепаратора, внутреннего зазора, условий работы, способа смазки и других факторов. Все эти факторы также влияют на тепловыделение. Предельная частота вращения прежде всего ограничивается рабочей температурой смазки. Предельная частота вращения указана в таблице размеров для каждого подшипника с нормальным классом допусков, как при смазке маслом, так и консистентной смазкой. Представленные значения подходят для нормальной нагрузки ($L_{10h} \geq 100\,000$ ч), нормальных условий эксплуатации и охлаждения.

Влияние большей нагрузки показано в основном для подшипников более крупных размеров со сроком службы $L_{10h} < 100\,000$ ч, где необходимо учитывать понижение предельной частоты вращения. Предельная частота вращения также снижается и для радиальных подшипников, которые постоянно нагружены при относительно большой осевой силе. Итоговая частота вращения зависит от соотношения осевой и радиальной нагрузки F_a/F_r . Если $F_a/F_r > 0,6$, рекомендуется, в основном это касается двухрядных самоустанавливающихся шарикоподшипников, сферических подшипников и однорядных конических роликоподшипников, проконсультироваться у поставщика относительно предельной частоты вращения. Указанную предельную частоту вращения можно увеличить для шарикоподшипников в три раза, для цилиндрических роликоподшипников - в два раза, для прочих подшипников, кроме сферических и конических роликоподшипников - в 1,5 раз, а для сферических подшипников - в 1,3 раза.

Такое увеличение требует:

- применение соответствующей смазки и СОЖ
- более высокого класса допусков и соответствующей точности сопрягающихся деталей
- радиальный зазор выше нормального
- сепаратор соответствующей конструкции и из соответствующего материала.

В любом случае необходимо проконсультироваться у технических специалистов поставщика.