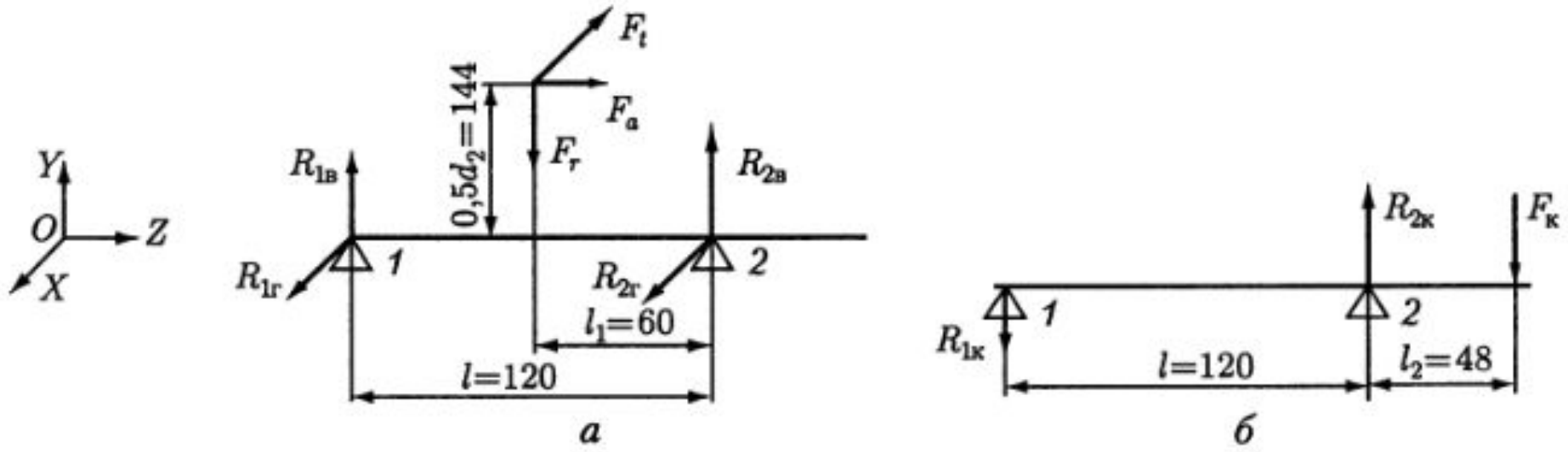
Калужский филиал
ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»

Практическое занятие

Расчет подшипников

Расчетная схема



Решение

– в плоскости YOZ

$$\Sigma M_1 = 0; \quad F_r(l - l_1) + F_a d_2/2 - R_{2в} l = 0;$$
$$R_{2в} = [F_r(l - l_1) + F_a d_2/2]/l = [3680(120 - 60) + 2400 \cdot 288/2]/120 = 4720 \text{ Н}.$$
$$\Sigma M_2 = 0; \quad R_{1в} l + F_a d_2/2 - F_r l_1 = 0;$$
$$R_{1в} = [F_r l_1 - F_a d_2/2]/l = [3680 \cdot 60 - 2400 \cdot 288/2]/120 = -1040 \text{ Н}.$$

– в плоскости XOZ

$$\Sigma M_1 = 0; \quad R_{2г} l - F_t(l - l_1) = 0; \quad R_{2г} = F_t(l - l_1)/l = 9600(120 - 60)/120 = 4800 \text{ Н}.$$
$$\Sigma M_2 = 0; \quad -R_{1г} l + F_t l_1 = 0; \quad R_{1г} = F_t l_1/l = 9600 \cdot 60/120 = 4800 \text{ Н}.$$

Суммарные реакции опор:

$$R_1 = \sqrt{R_{1г}^2 + R_{1в}^2} = \sqrt{4800^2 + (-1040)^2} = 4911 \text{ Н};$$
$$R_2 = \sqrt{R_{2г}^2 + R_{2в}^2} = \sqrt{4800^2 + 4720^2} = 6732 \text{ Н}.$$

Тип муфты	Формула для расчета $C_р$, Н/мм
Муфта с торообразной оболочкой вогнутого профиля (ГОСТ Р 50892–96)	$6\ T_н^{1/3}$
Муфта с торообразной оболочкой выпуклого профиля (ГОСТ Р 50892–96)	$13\ T_н^{1/3}$
Муфта с цилиндрическими пружинами сжатия	$90\ T_н^{1/3}$
Муфта с конусной резиновой шайбой	$130\ T_н^{1/3}$
Муфта с пакетами плоских пружин в осевом направлении	$140\ T_н^{1/3}$
Муфта со стальными стержнями в осевом направлении	$180\ T_н^{1/3}$
Муфта с резиновой звездочкой (ГОСТ 14084–93)	$220\ T_н^{1/3}$
Муфта втулочно-пальцевая (ГОСТ 21424–93)	$610\ T_н^{1/3}$

Примечание. $T_н$ — номинальный вращающий момент муфты по каталогу, Н · м.

Режим работы 0	I	II	III	IV	V
K_E 1,0	0,8	0,63	0,56	0,5	0,4

$$F_к = C_р\Delta = 2157 \cdot 0{,}25 = 539 \text{ Н}.$$

$$C_р = 180\,T_н^{1/3} = 180 \cdot 1720^{1/3} = 2157 \text{ Н/мм}.$$

$$\Sigma M_1 = 0; \quad F_к\left(l + l_2\right) - R_{2к} l = 0;$$

$$\Sigma M_2 = 0; \quad F_к l_2 - R_{1к} l = 0;$$

$$R_{2к} = F_к\left(l + l_2\right)/l = 539(120 + 48)/120 = 754{,}6 \text{ Н};$$

$$R_{1к} = F_к\, l_2/l = 539 \cdot 48/120 = 215{,}6 \text{ Н};$$

Реакции опор для расчета подшипников:

$$F_{r1\,max} = R_1 + R_{1к} = 4911 + 215{,}6 \approx 5127 \text{ Н};$$

$$F_{r2\,max} = R_2 + R_{2к} = 6732 + 754{,}6 \approx 7487 \text{ Н}.$$

Внешняя осевая сила, действующая на вал, $F_{A\,max} = F_a = 2400$ Н.

Для типового режима нагружения II $K_E = 0{,}63$.

Определяем эквивалентные нагрузки: $F_{r1} = F_{r1\,max} \cdot K_E = 3230$ Н;

$F_{r2} = F_{r2max} \cdot K_E = 4717$ Н; $F_A = F_{Amax} \cdot K_E = 1512$ Н.

Предварительно назначаем шариковые радиальные однорядные подшипники легкой серии 212.

Схема установки подшипников – враспор.

Обозначение	Размеры, мм					Грузоподъемность, кН		Обозначение	Размеры, мм					Грузоподъемность, кН	
	d	D	B	r	D_w	C_r	C_{0r}		d	D	B	r	D_w	C_r	C_{0r}
Легкая серия								*Средняя серия*							
204	20	47	14	1,5	7,938	12,7	6,2	304	20	52	15	2	9,525	15,9	7,8
205	25	52	15	1,5	7,938	14,0	6,95	305	25	62	17	2	11,509	22,5	11,4
206	30	62	16	1,5	9,525	19,5	10,0	306	30	72	19	2	12,303	28,1	14,6
207	35	72	17	2	11,112	25,5	13,7	307	35	80	21	2,5	14,288	33,2	18,0
208	40	80	18	2	12,700	32,0	17,8	308	40	90	23	2,5	15,081	41,0	22,4
209	45	85	19	2	12,700	33,2	18,6	309	45	100	25	2,5	17,462	52,7	30,0
210	50	90	20	2	12,700	35,1	19,8	310	50	110	27	3	19,050	61,8	36,0
211	55	100	21	2,5	14,288	43,6	25,0	311	55	120	29	3	20,638	71,5	41,5
212	60	110	22	2,5	15,875	52,0	31,0	312	60	130	31	3,5	22,225	81,9	48,0
213	65	120	23	2,5	16,669	56,0	34,0	313	65	140	33	3,5	23,812	92,3	56,0
214	70	125	24	2,5	17,462	61,8	37,5	314	70	150	35	3,5	25,400	104,0	63,0
215	75	130	25	2,5	17,462	66,3	41,0	315	75	160	37	3,5	26,988	112,0	72,5
216	80	140	26	3	19,050	70,2	45,0	316	80	170	39	3,5	28,575	124,0	80,0

Примечание. Пример обозначения подшипника 209: «*Подшипник 209 ГОСТ 8338–75*».

Для радиальных шарикоподшипников из условия равновесия вала следует, что $F_{a1} = 0, F_{a2} = F_A = 1512$ Н. Дальнейший расчет выполняем для наиболее нагруженного подшипника (опора 2).

$$\frac{D_ш \cdot \cos\alpha}{D_{рш}} = \frac{15{,}875 \cdot \cos 0°}{85} = 0{,}19; D_{рш} = \frac{D + d}{2} = 85 \text{ мм}$$

$D_w \cos \alpha / D_{pw}$	f_0	$D_w \cos \alpha / D_{pw}$	f_0	$D_w \cos \alpha / D_{pw}$	f_0
0,10	16,4	0,18	14,4	0,26	12,5
0,11	16,1	0,19	14,2	0,27	12,3
0,12	15,9	0,20	14,0	0,28	12,1
0,13	15,6	0,21	13,7	0,29	11,8
0,14	15,4	0,22	13,5	0,30	11,6
0,15	15,2	0,23	13,2	0,31	11,4
0,16	14,9	0,24	13,0	0,32	11,2
0,17	14,7	0,25	12,8	0,33	10,9

Примечание. Здесь D_w — диаметр шарика, α — угол контакта, D_{pw} — диаметр окружности расположения центров шариков.

Тип подшипника	α, °	Коэффициент осевого нагружения e	Подшипник однорядный		Подшипник двухрядный			
			$F_a/(VF_r) > e$		$F_a/(VF_r) \le e$		$F_a/(VF_r) > e$	
			X	Y	X	Y	X	Y
Радиальный	0	$0,28\left(f_0F_a/C_{0r}\right)^{0,23}$	0,56	$0,44/e$	1,0	0	0,56	$0,44/e$
Радиально-упорный	12	$0,41\left(f_0F_a/C_{0r}\right)^{0,17}$	0,45	$0,55/e$	1,0	$0,62/e$	0,74	$0,88/e$
	15	$0,46\left(f_0F_a/C_{0r}\right)^{0,11}$	0,44	$0,56/e$	1,0	$0,63/e$	0,72	$0,91/e$
	18	0,57	0,43	1,0	1,0	1,09	0,70	1,63
	25 26	0,68	0,41	0,87	1,0	0,92	0,67	1,41
	36	0,95	0,37	0,66	1,0	0,66	0,60	1,07
	40	1,14	0,35	0,57	1,0	0,55	0,57	0,93

Коэффициент осевого нагружения:

$$e = 0,28\left(\frac{f_0 F_a}{C_{0r}}\right)^{0,23} = 0,28\left(\frac{14,2 \cdot 1512}{31\,000}\right)^{0,23} = 0,257.$$

$$\frac{F_a}{V \cdot F_r} = \frac{1512}{1 \cdot 4717} = 0,321 > e = 0,257$$

Коэффициенты радиальной и осевой нагрузок:

$$X = 0,56;\ Y = \frac{0,44}{e} = 1,71$$

Характер нагрузки	$K_б$	Область применения
Спокойная нагрузка без толчков	1,0	Маломощные кинематические редукторы и приводы. Механизмы ручных кранов, блоков. Тали, кошки, ручные лебедки. Приводы управления
Легкие толчки; кратковременные перегрузки до 125 % номинальной 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. Легкие вентиляторы и воздуходувки
Умеренные толчки; вибрационная нагрузка; кратковременные перегрузки до 150 % номинальной нагрузки	1,3—1,5	Зубчатые передачи. *Редукторы всех типов.* Механизмы передвижения крановых тележек и поворота кранов. Буксы рельсового подвижного состава
То же, в условиях повышенной надежности	1,5—1,8	Механизмы изменения вылета стрелы кранов. Шпиндели шлифовальных станков. Электрошпиндели
Нагрузки со значительными толчками и вибрациями; кратковременные перегрузки до 200 % номинальной нагрузки	1,8—2,5	Зубчатые передачи. Дробилки и копры. Кривошипно-шатунные механизмы. Валки прокатных станов. Мощные вентиляторы
Нагрузка с сильными ударами; кратковременные перегрузки до 300 % номинальной нагрузки	2,5—3,0	Тяжелые ковочные машины. Лесопильные рамы. Рабочие роликовые конвейеры крупносортных станов, блюмингов и слябингов. Холодильное оборудование

$t_{раб}$, °C	≤ 100	125	150	175	200	225	250
K_T	1,0	1,05	1,10	1,15	1,25	1,35	1,4

Эквивалентная динамическая радиальная нагрузка

$$P_r = (V \cdot X \cdot F_r + Y \cdot F_a) \cdot К_Б \cdot К_Т$$

$$P_r = (1 \cdot 0,56 \cdot 4717 + 1,71 \cdot 1512) \cdot 1,4 \cdot 1 = 7318\,Н.$$

Значения коэффициента a_1

Вероятность безотказной работы P_t, %	90	95	96	97	98	99
Обозначение ресурса	L_{10a}	L_{5a}	L_{4a}	L_{3a}	L_{2a}	L_{1a}
Коэффициент надежности a_1	1	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

Значения коэффициента a_{23}

Для шарикоподшипников (кроме сферических) ..... 0,7…0,8
Для роликоподшипников конических ..... 0,6…0,7
Для роликоподшипников цилиндрических, шарикоподшипников сферических двухрядных ..... 0,5…0,6
Для роликовых радиальных двухрядных сферических подшипников ..... 0,3…0,4

Расчетный скорректированный ресурс подшипника:

$$L_{10ah} = a_1 \cdot a_{23} \cdot \left(\frac{C_r}{P_r}\right)^k \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n};$$

$$L_{10ah} = 1 \cdot 0,7 \cdot \left(\frac{52000}{7318}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 120} = 34882 \text{ часа.}$$

$$L_{10ah} > L'_{10ah} \; (34882 > 25000)$$

Проверка выполнения условия $P_{r\,max} \le 0,5C_r$.

Расчет проводят при наибольших значениях нагрузок.

$$e = 0,28\left(\frac{f_0 F_{A\,max}}{C_{0r}}\right)^{0,23} = 0,28\left(\frac{14,2 \cdot 2400}{31\,000}\right)^{0,23} = 0,286.$$

$$\frac{F_{A\,max}}{V \cdot F_{r\,max}} = \frac{2400}{1 \cdot 7487} = 0,321 > e = 0,286$$

Коэффициенты радиальной и осевой нагрузок:

$$X = 0,56;\ Y = \frac{0,44}{e} = 1,54$$

Эквивалентная динамическая радиальная нагрузка:

$$P_r = (1 \cdot 0,56 \cdot 7487 + 1,54 \cdot 2400) \cdot 1,4 \cdot 1 = 11044\,\text{Н}.$$

Условие $P_{r\,max} \le 0,5C_r$ выполняется:

$$11044\,\text{Н} < 0,5 \cdot 52000 = 26000\,\text{Н}$$