МЕХАНИКА
ТВЕРДОГО ТЕЛА
№ 3 • 1975

УДК 531.8

СТАТИКА РАДИАЛЬНОГО ШАРИКОВОГО ПОДШИПНИКА

В. А. КУРОЧКИН

(Миасс)

Рассматриваются вопросы статики идеального шарикового подшипника. Выводятся уравнения равновесия подшипника и уравнения совместности контактных деформаций элементов подшипника в функции обобщенного параметра, зависящего от нагрузки, радиального зазора, жесткости и количества шариков подшипника.

Решения уравнений получены на ЭЦВМ «Раздан-3» и представлены в виде таблиц, достаточных для инженерных расчетов приборных радиальных шариковых подшипников.

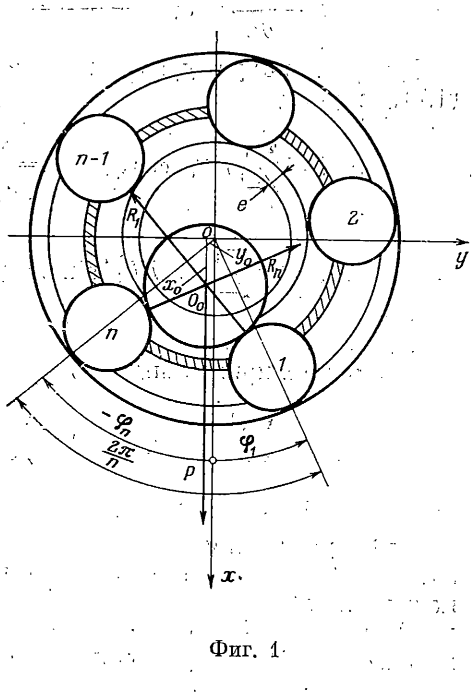
1. Рассматривается плоская геометрическая модель радиального шарикового подшипника (фиг. 1) с числом шариков n, равномерно распределенных сепаратором по беговой дорожке неподвижного кольца (на фиг. 1 — наружного). Условно допускается, что подшипник нагружен радиальной нагрузкой P без перекоса колец, форма шариков и колец — идеальная, шарики одинаковые, проскальзывание в точках контакта шариков с кольцами отсутствует.

В точку O (центр неподвижного кольца) помещается начало прямоугольной системы координат x, y, положение подвижного кольца в которой определяется координатами его центра x_0, y_0 и углом поворота φ_0.

Проекция расстояния между центрами колец OO_0 на направление i-го шарика, определяемое углом φ_i, будет

$$\Delta_i = x_0 \cos \varphi_i + y_0 \sin \varphi_i \tag{1.1}$$

$$\varphi_i = \varphi_1 + \frac{2\pi}{n}(i-1) \quad (i=1,2,\ldots,n) \tag{1.2}$$



Фиг. 1

причем угол φ_1 определяет как положение шарика, условно названного первым, так и угол поворота сепаратора, который связан с углом поворота подвижного кольца соотношением

$$\varphi_1 = w\varphi_0 \tag{1.3}$$

в котором $w=D/2(D+d)$ в случае, если подвижным является внутреннее кольцо, и $w=(D+2d)/2(D+d)$, если подвижным является наружное кольцо; D — диаметр внутреннего кольца, d — диаметр шарика.

Деформация шарика и колец в i-м контакте определяется разностью между проекцией межцентрового расстояния OO_0 на направление i-го шарика и радиальным зазором подшипника e и выражается непрерывной функцией

$$(1.4)\qquad \delta_i(x_0, y_0, \varphi_i) = \begin{cases} \Delta_i(x_0, y_0, \varphi_i) - e & \text{при} \quad \Delta_i - e \geqslant 0 \\ 0 & \text{при} \quad \Delta_i - e \leqslant 0 \end{cases}$$

Эта деформация сопровождается появлением упругой реакции R_i, согласно контактной теории Герца [1]

$$(1.5)\qquad R_i = K\delta_i^{3/2}$$

где K — постоянная, зависящая от радиусов кривизны контактирующих поверхностей и материала.

Потенциальную энергию деформированного состояния подшипника можно представить [2] как сумму потенциальных энергий деформаций элементов подшипника в точках контакта

$$(1.6)\qquad U(x_0, y_0, \varphi_i) = \sum_{i=1}^{n} U_i(x_0, y_0, \varphi_i)$$

В силу выражения (1.5)

$$(1.7)\qquad U_i = \int_0^{\delta_i} K\delta_i^{3/2} d\delta_i = \frac{2}{5} K\delta_i^{5/2}$$

Уравнения равновесия подшипника имеют вид

$$P - \frac{\partial U}{\partial x_0} = 0, \qquad -\frac{\partial U}{\partial y_0} = 0, \qquad M - \frac{\partial U}{\partial \varphi_1}\frac{\partial \varphi_1}{\partial \varphi_0} = 0$$

Дифференцируя уравнение (1.6) с учетом выражений (1.1)—(1.4) и (1.7), получим

$$P = \sum_{i=1}^{n} K\delta_i^{3/2} \cos\varphi_i, \qquad 0 = \sum_{i=1}^{n} K\delta_i^{3/2} \sin\varphi_i$$

$$M = w \sum_{i=1}^{n} -x_0 K\delta_i^{3/2} \sin\varphi_i + y_0 K\delta_i^{3/2} \cos\varphi_i$$

Уравнения равновесия сил с учетом (1.5) и уравнение моментов с учетом последних примут вид

$$(1.8)\qquad P = \sum_{i=1}^{n} R_i \cos\varphi_i, \qquad 0 = \sum_{i=1}^{n} R_i \sin\varphi_i$$

$$(1.9)\qquad M = wPy_0$$

Здесь уравнения (1.8) характеризуют равновесие подшипника в радиальной плоскости, а уравнение (1.9) определяет консервативный момент подшипника.

Решение уравнений (1.8) относительно реакций R_1 и R_n с учетом выражения (1.2) можно представить в виде

$$(1.10)\qquad r_1 = \frac{\sin(2\pi n^{-1} - \varphi_1)}{\sin 2\pi n^{-1}} - \sum_{i=2}^{n-1} r_i \frac{\sin 2\pi n^{-1} i}{\sin 2\pi n^{-1}}$$

$$r_n = \frac{\sin\varphi_1}{\sin 2\pi n^{-1}} + \sum_{i=2}^{n-1} r_i \frac{\sin 2\pi n^{-1}(i-1)}{\sin 2\pi n^{-1}}$$

Здесь реакции выражены в безразмерной форме

(1.11) $\qquad r_i = R_i/P$

Количество шариков, контактирующих с кольцами по углу поворота сепаратора φ_1 от 0 до $2\pi/n$, и распределение нагрузки между ними зависит от радиальной нагрузки и параметров подшипника [3, 4]. В случае последовательного контакта с кольцами одного, двух, одного шариков контактные реакции определяются уравнениями (1.10), причем подвижное кольцо на границах интервала $\varphi_1 \in [0, 2\pi/n]$ имеет положение неустойчивого равновесия. При контакте с кольцами более двух шариков для определения контактных реакций используются уравнения совместности деформаций, которые для любых трех последовательно контактирующих шариков $\nu-1, \nu, \nu+1$ выводятся из выражения (1.4) с учетом (1.1), (1.2), (1.5) и (1.11)

$$(1.12) \qquad r_\nu^{2/3} - \frac{1}{2\cos 2\pi n^{-1}} (r_{\nu-1}^{2/3} + r_{\nu+1}^{2/3}) = T$$

Здесь ν последовательно принимает $s-2$ значений: $1, n, 2, n-1, \ldots$, где s — количество шариков, контактирующих с кольцами, причем в силу 2π-периодичности количества шариков по углу поворота сепаратора, $r_0 = r_n$ и $r_{n+1} = r_1$, обобщенный параметр подшипника равен

$$(1.13) \qquad T = 2e\left(\frac{K}{P}\right)^{2/3}\left(\operatorname{ctg}^2\frac{\pi}{n} - 1\right)^{-1}$$

Угол выхода шариков из-под нагрузки ψ в функции параметра T определяется уравнениями (1.10) и (1.12) при условии касания колец наиболее удаленного по углу шарика, контактная реакция которого считается равной нулю. Из полученной системы уравнений при ψ, последовательно кратном π/n, определяются области значений параметра T, в которых последовательность контактирования шариков неизменна. На границах этих областей количество шариков, воспринимающих нагрузку, постоянно в интервале $\varphi_1 \in (0, 2\pi n^{-1})$. В частности при различных последовательностях контактирования шариков по углу поворота сепаратора φ_1 от 0 до $2\pi n^{-1}$ следующие варианты.

Один, два, один шарик — реакции определяются уравнениями

$$(1.14) \qquad r_1 = \frac{\sin(2\pi n^{-1} - \varphi_1)}{\sin 2\pi n^{-1}}, \qquad r_n = \frac{\sin \varphi_1}{\sin 2\pi n^{-1}}$$

Из уравнения $0 = [\sin(2\pi n^{-1} - \psi)]/\sin 2\pi n^{-1}$ следует

$$(1.15) \qquad \psi = 2\pi n^{-1} = \text{const} \qquad (1 \leqslant T \leqslant \infty)$$

Три, два, три шарика — реакции определяются из системы уравнений

$$(1.16) \qquad r_1 = \frac{\sin(2\pi n^{-1} - \varphi_1)}{\sin 2\pi n^{-1}} - 2r_2\cos 2\pi n^{-1}$$

$$r_n = \frac{\sin\varphi_1}{\sin 2\pi n^{-1}} + r_2, \qquad r_1^{2/3} - \frac{1}{2\cos 2\pi n^{-1}}(r_2^{2/3} + r_n^{2/3}) = T$$

Угол ψ определяется из уравнения

$$(1.17) \qquad \left[\frac{\sin(4\pi n^{-1} - \psi)}{\sin 2\pi n^{-1}}\right]^{2/3} - \frac{1}{2\cos 2\pi n^{-1}}\left[\frac{\sin(\psi - 2\pi n^{-1})}{\sin 2\pi n^{-1}}\right]^{2/3} = T$$

$$\left(\frac{1}{2\cos \pi n^{-1}}\right)^{2/3}\left(1 - \frac{1}{2\cos 2\pi n^{-1}}\right) \leqslant T \leqslant 1$$

Четыре, три, четыре шарика — реакции определяются из системы уравнений

$$
(1.18)\qquad r_1=\frac{\sin(2\pi n^{-1}-\varphi_1)}{\sin 2\pi n^{-1}}-2r_2\cos 2\pi n^{-1}+r_{n-1}
$$

$$
r_n=\frac{\sin\varphi_1}{\sin 2\pi n^{-1}}+r_2-2r_{n-1}\cos 2\pi n^{-1}
$$

$$
r_1^{2/3}-\frac{1}{2\cos 2\pi n^{-1}}(r_2^{2/3}+r_n^{2/3})=T,\qquad r_n^{2/3}-\frac{1}{2\cos 2\pi n^{-1}}(r_1^{2/3}+r_{n-1}^{2/3})=T
$$

Угол ψ определяется из системы уравнений

$$
(1.19)\qquad \left[\frac{\sin(\psi-2\pi n^{-1})}{\sin 2\pi n^{-1}}-2r_2\cos 2\pi n^{-1}\right]^{2/3}-
$$

$$
-\frac{1}{2\cos 2\pi n^{-1}}\left[\frac{\sin(4\pi n^{-1}-\psi)}{\sin 2\pi n^{-1}}+r_2\right]^{2/3}-\frac{1}{2\cos 2\pi n^{-1}}r_2^{2}=T
$$

$$
-\frac{1}{2\cos 2\pi n^{-1}}\left[\frac{\sin(\psi-2\pi n^{-1})}{\sin 2\pi n^{-1}}-2r_2\cos 2\pi n^{-1}\right]^{2/3}+
$$

$$
+\left[\frac{\sin(4\pi n^{-1}-\psi)}{\sin 2\pi n^{-1}}+r_2\right]^{2/3}=T
$$

$$
\frac{2\cos^2 2\pi n^{-1}-1}{\cos 2\pi n^{-1}(1+2\cos 2\pi n^{-1})}\left[2\cos 2\pi n^{-1}+\left(2\frac{1+\cos 2\pi n^{-1}}{1+2\cos 2\pi n^{-1}}\right)^{3/2}\right]^{-1}\leqslant
$$

$$
\leqslant T\leqslant\left(\frac{1}{2\cos\pi n^{-1}}\right)^{2/3}\left(1-\frac{1}{2\cos 2\pi n^{-1}}\right)
$$

Аналогично можно получить уравнения при других последовательностях контактирования шариков. Таким образом, контактные реакции любого количества шариков, воспринимающих нагрузку, угол выхода шариков из-под нагрузки и последовательность контактирования шариков являются функциями обобщенного параметра T (1.13) и определяются уравнениями (1.10) и (1.12).

2. Задачей статики радиального подшипника является нахождение величин x_0, y_0 и консервативного момента M в функции обобщенного параметра T и угла поворота сепаратора φ_1.

Компоненты относительного смещения колец OO_0 определяются из системы уравнений контактных деформаций с кольцами 1- и n-го шариков (1.4) и с учетом выражений (1.5), (1.11), (1.15) имеют вид

$$
(2.1)\qquad x_0=(P/K)^{2/3}F_0,\qquad y_0=-(P/K)^{2/3}F_0'
$$

$$
(2.2)\qquad F_0=\frac{1}{\sin 2\pi n^{-1}}\left[T\frac{\cos 2\pi n^{-1}}{\sin\pi n^{-1}}\cos(\pi n^{-1}-\varphi_1)+\right.
$$

$$
\left.+r_1^{2/3}\sin(2\pi n^{-1}-\varphi_1)+r_n^{2/3}\sin\varphi_1\right]
$$

$$
F_0'=\frac{1}{\sin 2\pi n^{-1}}\left[T\frac{\cos 2\pi n^{-1}}{\sin\pi n^{-1}}\sin(\pi n^{-1}-\varphi_1)-\right.
$$

$$
\left.-r_1^{2/3}\cos(2\pi n-\varphi_1)+r_n^{2/3}\cos\varphi_1\right]
$$

Очевидно, что величины x_0, y_0 — периодические по φ_1, угол φ_1 рассматривается как параметр, так как кинематическое положение элементов подшипника не меняется в результате поворота сепаратора на угол $2\pi n^{-1}m$, где m — целое. При этом F_0, F_0' — непрерывные функции φ_1 в интервале $0\leqslant\varphi_1\leqslant 2\pi n^{-1}$ при $T\leqslant 1$, а при $T>1$ функция F_0' имеет разрыв первого рода и F_0 имеет излом только на границах интервала вследствие неустойчивого положения равновесия подвижного кольца. Поэтому их можно разложить в ряды Фурье по φ_1

$$\Phi_0=\frac{\Phi_{00}}{2}+\sum_{j=1}^{\infty}\Phi_{0j}\cos jn\varphi_1+\Phi_{0j}'\sin jn\varphi_1 \tag{2.3}$$

$$\Phi_{00}=\frac{n}{\pi}\int_0^{2\pi n^{-1}}\Phi_0\,d\varphi_1,\qquad \Phi_{0j}=\frac{n}{\pi}\int_0^{2\pi n^{-1}}\Phi_0\cos jn\varphi_1\,d\varphi_1$$

$$\Phi_{0j}'=\frac{n}{\pi}\int_0^{2\pi n^{-1}}\Phi_0\sin jn\varphi_1\,d\varphi_1$$

Здесь Φ_0 принимает значения F_0 и F_0'.

После соответствующих преобразований выражений (2.3) с учетом (2.2) величины F_0, F_0' примут вид

$$F_0=\frac{1}{2}F_{00}+\sum_{j=1}^{\infty}F_{0j}\cos jn\varphi_1,\qquad F_0'=\sum_{j=1}^{\infty}F_{0j}'\sin jn\varphi_1$$

$$F_{0j}=2\frac{n}{\pi}\frac{1}{\sin 2\pi n^{-1}}\left\{T\frac{\cos 2\pi n^{-1}}{1-(jn)^2}+\int_0^{2\pi n^{-1}}[r_1^{2/3}\sin(2\pi n^{-1}-\varphi_1)+\right.$$

$$\left.+r_n^{2/3}\sin\varphi_1]\cos jn\varphi_1\,d\varphi_1\right\}\quad (j=0,1,2,\ldots)$$

$$F_{0j}'=2\frac{n}{\pi}\frac{1}{\sin 2\pi n^{-1}}\left\{T\frac{jn\cos 2\pi n^{-1}}{(jn)^2-1}-\right.$$

$$\left.-\int_0^{2\pi n^{-1}}[r_1^{2/3}\cos(2\pi n^{-1}-\varphi_1)-r_n^{2/3}\cos\varphi_1]\sin jn\varphi_1\,d\varphi_1\right\},\quad (j=1,2,3,\ldots)$$

Таким образом, функции x_0, y_0 и M и коэффициенты их разложения в ряд Фурье можно вычислить с помощью уравнений (1.10) и (1.12), выраженных в зависимости от T в форме (1.14) и (1.15), (1.16) и (1.17) или (1.18) и (1.19) и т. д.

В приборных радиальных шариковых подшипниках с числом шариков $5\div 8$ наибольший интерес представляют зависимость консервативного момента $M(T,\varphi_1)$ в функции φ_1 и амплитуды первых гармоник ряда Фурье M в функции T. В связи с этим проведено вычисление на ЭЦВМ величин $F_0'(T,\varphi_1)$ для $0\leqslant\varphi_1\leqslant\pi n^{-1}$, F_{0j}' ($j=1, 2, 3, 4, 5$) в зависимости от T для второй последовательности контактирования шариков.

Таблица 1

T	ψ	3°36′	7°12′	10°48′	14°24′	18°	21°36′	25°12′	28°48′	32°24′	$j=1$	2	3	4	5
1	72°	86	103	105	100	89	74	58	39	20	101	33	17	11	7
0.855	73°23′	43	65	71	70	64	54	43	29	15	70	18	7	4	1
0.710	75°48′	1	26	37	41	39	34	27	19	10	39	3	—2	—4	—4
0.565	78°49′	—12	—12	3	11	14	15	13	9	5	9	—8	—7	—4	—2
0.421	82°15′	—16	—30	—31	—18	—10	—5	—3	—1	0	—17	—14	—5	0	2
0.276	86°02′	—17	—34	—46	—48	—35	—25	—17	—11	—5	—38	—13	0	3	2
0.131	90°04′	—17	—33	—47	—58	—60	—45	—33	—21	—10	—53	—7	5	2	—2
—0.014	94°18′	—15	—30	—44	—55	—62	—63	—48	—31	—15	—59	3	4	—2	0
—0.159	98°43′	—13	—26	—37	—47	—55	—59	—58	—41	—20	—55	10	0	—1	2
—0,304	103°18′	—10	—20	—29	—37	—43	—47	—47	—42	—25	—45	11	—4	2	—1
—0,448	108°	—7	—14	—20	—25	—28	—30	—29	—25	—17	—28	6	—2	1	0

Таблица 2

T	ψ	3°	6°	9°	12°	15°	18°	21°	24°	27°	$j=1$	2	3	4	5
1	60°	86	102	102	95	84	70	54	37	18	96	33	17	11	7
0.900	61°21′	34	55	61	6	54	46	36	25	12	59	14	5	—1	0
0.800	63°37′	—13	8	19	24	24	22	18	12	64	21	—4	—7	—7	—6
0.700	66°20′	—23	—37	—22	—12	—6	—6	—2	0	0	—14	—17	—11	—5	—1
0.600	69°20′	—25	—48	—62	—47	—35	—26	—18	—12	—6	—44	—21	—6	2	4
0.500	72°33′	—25	—48	—68	—80	—65	—50	—36	—24	—12	—66	—15	4	5	0
0.400	75°54′	—23	—44	—64	—81	—90	—74	—54	—36	—18	—77	—2	9	0	—3
0.300	79°21′	—19	—38	—56	—71	—84	—89	—72	—48	—24	—81	8	4	—4	1
0.200	82°52′	—16	—31	—45	—58	—68	—76	—78	—60	—30	—72	17	—3	—1	2
0.100	86°25′	—11	—21	—32	—41	—49	—54	—57	—54	—36	—51	16	—6	4	—1
0	90°	—6	—12	—18	—23	—26	—29	—29	—26	—18	—26	7	—2	2	—1

Таблица 3

T	ψ	2°34′	5°08′	7°42	10°16′	12°51′	15°25′	18°00′	20°34′	23°08′	$j=1$	2	3	4	5
1	51°26′	91	108	108	101	89	74	57	38	19	102	35	18	11	8
0.913	52°42′	29	52	59	58	53	45	37	24	12	57	13	4	1	—1
0.827	54°45′	—22	—4	10	16	18	17	14	10	5	12	—9	—10	—9	—7
0.740	57°09′	—31	—54	—40	—26	—18	—12	—8	—4	—2	—29	—22	—12	—4	1
0.654	59°46′	—32	—62	—83	—69	—53	—40	—29	—19	—9	—62	—25	—5	3	4
0.567	62°31′	—30	—59	—85	—103	—89	—69	—50	—33	—16	—87	—18	5	5	0
0.480	65°23′	—27	—53	—78	—99	—113	—97	—72	—47	—23	—98	0	11	—1	—3
0.394	68°17′	—23	—45	—66	—85	—101	—110	—93	—62	—31	—100	14	5	—6	2
0.307	71°14′	—18	—35	—51	—67	—180	—90	—94	—76	—38	—85	22	—5	0	3
0.220	74°12′	—12	—24	—35	—45	—54	—61	—65	—64	—45	—58	20	—8	5	—2
0.134	77°09′	—6	—12	—17	—22	—26	—28	—29	—27	—20	—31	7	—4	2	—2

Таблица 4

T	ψ	2°15′	4°30′	6°45′	9°	11°15′	13°30′	15°45′	18°	20°15′	$j=1$	2	3	4	5
1	45°	100	117	117	109	96	80	62	42	21	111	38	20	12	9
0.919	46°10′	27	52	60	60	55	47	37	25	13	58	12	2	—1	—2
0.839	48°	—29	—13	3	11	14	14	12	89	5	6	—14	—14	12	—9
0.758	50°08′	—38	—68	—54	—38	—27	—19	—13	—8	—4	—40	—28	—15	—4	4
0.678	52°26′	—38	—74	—101	—87	—68	—52	—37	—24	—12	—77	—28	—4	5	5
0.597	54°51′	—36	—208	—101	—124	—109	—85	—62	—41	—20	—107	—20	9	8	—2
0.517	57°20′	—31	—62	—90	—116	—133	—117	—87	—57	—28	—118	—2	12	—2	—4
0.436	59°52′	—26	—51	—76	—98	—117	—119	—112	—74	—37	—117	18	5	—8	3
0.356	62°25′	—20	—39	—58	—75	—91	—103	—109	—90	—45	—93	29	—7	2	3
0.275	64°58′	—13	—26	—39	—50	—60	—68	—74	—73	—53	—63	24	—10	7	—3
0.195	67°30′	—6	—12	—17	-23	—27	—30	—30	—28	—21	—26	—8	—3	2	—1

Для первой последовательности контактирования шариков величины F_0' и F_{0j}' имеют вид

$$F_0'(T, \varphi_1) = F_0'(T=1, \varphi_1) + (T-1)\frac{\operatorname{ctg} 2\pi n^{-1}}{\sin \pi n^{-1}} \sin(\pi n^{-1} - \varphi_1);$$

$$F_{0j}'(T) = F_{0j}'(T=1) + 2\frac{n}{\pi}(T-1)\frac{jn \operatorname{ctg} 2\pi n^{-1}}{(jn)^2 - 1} \tag{2.4}$$

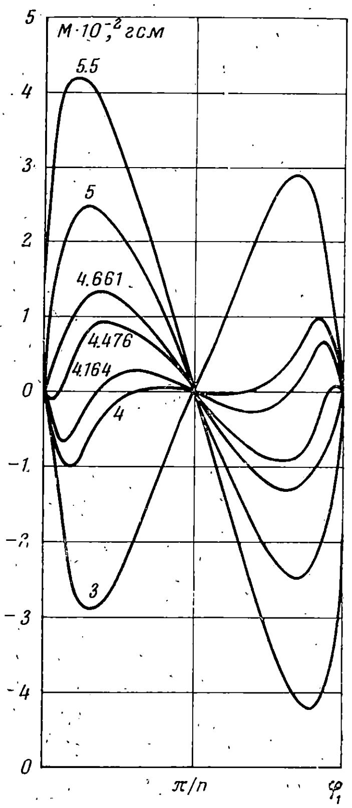
В табл. 1—4 представлены результаты вычислений для числа шариков n от пяти до восьми соответственно значений $F_0'(T, \varphi_1) \times 10^3$ (на границах интервала $\varphi_1 \in [0, \pi n^{-1}]$ $F_0' = 0$) и $F_{0j}'(T) \times 10^3$ $(j = 1, 2, 3, 4, 5)$.

Пример 1. Шарикоподшипник A640018 с параметрами: $n=7$, $D=10.731$ *мм*, $d=3.969$ *мм*, $K=0.45$ *кг/мк*$^{3/2}$, $P=2.5$ *кг*.

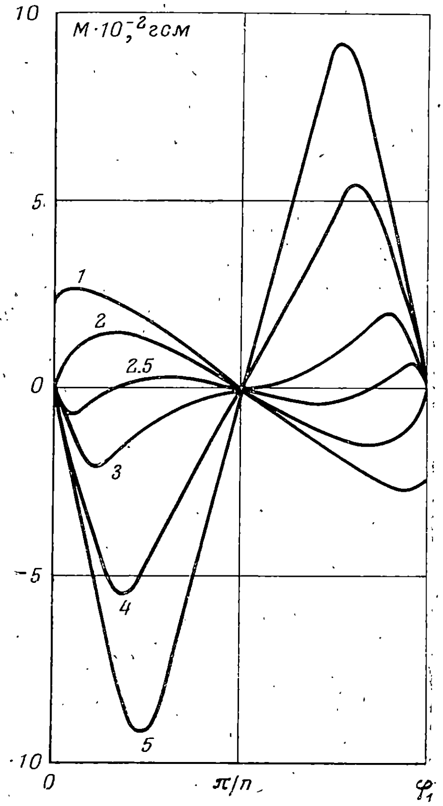
1. Найти зависимость консервативного момента в функции угла поворота сепаратора φ_1 от 0 до $2\pi n^{-1}$ при радиальных зазорах 3 *мк*, 4 *мк*, 5 *мк*, 5.5 *мк*.

Вычисляются значения обобщенного параметра по формуле (1.13) $T|_{e=3}=0.578$, $T|_{e=4}=0.771$, $T|_{e=5}=0.963$, $T|_{e=5.5}=1.059$.

Из табл. 3 интерполированием находятся значения F_0' в функции угла φ_1 для вычисленных значений T, причем для $T=1.059$ используется уравнение (2.4).



Фиг. 2



Фиг. 3

Величина момента определяется из уравнения (1.9) с учетом (2.1) и (2.2). Зависимости моментов (фиг. 2) можно сравнить с графиками в [4], результаты совпадают.

2. Выбрать радиальный зазор из условия обращения в нуль: а) первой гармоники консервативного момента, б) второй, в) третьей.

Построить зависимость момента от φ_1. Из табл. 3 $F_{01}'=0$, $T=0.802$; $F_{02}'=0$, $T=0.862$; $F_{03}'=0$, $T=0.888$. По формуле (1.13) определяется e соответственно 4.164 *мк*, 4.476 *мк*, 4.611 *мк*. Зависимости консервативного момента представлены на фиг. 2.

Пример 2. Трехколечный шарикоподшипник С390095 с параметрами по внутреннему ряду шариков: $n=7$, $D=6.619$ *мм*, $d=2.381$ *мм*, $K=0.49$ *кг/мк*$^{3/2}$, $e=4$ *мк*.

На фиг. 3 показана зависимость консервативного момента, действующего на внутреннее кольцо при медленном вращении промежуточного, в функции угла поворота сепаратора при различных значениях нагрузки. Из графиков очевидна, с одной стороны, сугубо нелинейная зависимость консервативного момента от нагрузки, с другой стороны, возможность выбора параметров подшипника с целью минимизации консервативного момента.

Поступила 21 V 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. *Новиков Л. З.* Статика радиально-упорного шарикового подшипника с осевым натягом. Изв. АН СССР. ОТН. Механика и машиностроение, 1963, № 5.
2. *Журавлев В. Ф.* Задача о равновесии неидеального шарикового подшипника. Изв. АН СССР. МТТ, 1970, № 4.
3. *Родионов Е. М.* О моменте сопротивления вращению приборного радиального шарикоподшипника. Тр. Моск. авиац.-техн. ин-та. М., Оборонгиз, 1957.
4. *Филатов В. В.* О влиянии ошибок изготовления шариковых подшипников карданова подвеса на уход гироскопических приборов. Изв. АН СССР. МТТ, 1972, № 1.