

2. Determinarea dimensiunii rulmentului

Dimensiunea unui rulment se determină în funcție de sarcina din lagărul în care se montează, de durabilitatea în funcționare și de siguranța impusă în exploatare.

Sarcina de bază

Sarcina dinamică de bază C se folosește la determinarea dimensiunii rulmenților care se rotesc sub sarcină. Aceasta reprezintă sarcina admisibilă pentru care rulmentul are o durabilitate de un milion de rotații și este calculată în conformitate cu SR ISO 281, corespunzând cu normele internaționale ISO 281. Este dată în tabelele cu rulmenți.

Ținând seama de sarcina dinamică de bază a rulmentului, se calculează timpul de funcționare până la obosirea materialului (aparitia exfolierii), determinându-se astfel durabilitatea calculată.

Sarcina statică de bază C_0 se ia în calcul când rulmentul are turație redusă, oscilații reduse sau când staționează.

Sarcina statică de bază este definită, potrivit standardului ISO 76, respectiv SR ISO 76, drept sarcina care acționează asupra rulmentului staționar, ce corespunde unei presiuni de contact calculate în centrul petei de contact dintre cel mai încărcat corp de rostogolire și calea de rulare, în valoare de:

- 4600 MPa, pentru rulmenții radial-oscilanți cu bile,
- 4200 MPa, pentru ceilalți rulmenți cu bile,
- 4000 MPa, pentru rulmenții cu role.

Aceasta produce o deformare permanentă a căilor de rulare și a corpurilor de rostogolire, de aproximativ 0,0001 din diametrul corpului de rostogolire, sarcina fiind pur radială, pentru rulmenții radiali, și pur axială, pentru rulmenții axiali.

Durabilitatea rulmenților

Durabilitatea unui rulment este numărul de rotații sau de

ore pe care le poate efectua, înainte de apariția primelor semne de oboseală a materialului pe căile de rulare ale inelelor sau pe corpurile de rostogolire.

Pentru a ține cont în calcul numai de oboseala materialului pe suprafețele active ale rulmentului trebuie respectate următoarele condiții:

1. Forțele și turațiile care stau la baza calculului rulmentului trebuie să corespundă condițiilor reale de funcționare.
2. Să se asigure o ungere corespunzătoare pe întreaga perioadă de funcționare.
3. Dacă încărcarea rulmentului este mică, ieșirea sa din uz nu se va mai datora materialului, ci uzurii.
4. Practica în exploatare a arătat că scoaterea din uz a unui număr însemnat de rulmenți se datorește altor cauze decât oboseala materialului, ca: alegerea nepotrivită a rulmentului în nod, exploatarea necorespunzătoare, ungerea necorespunzătoare, pătrunderea de corpuri străine în rulment etc.

Durabilitatea nominală

Durabilitatea nominală pentru un rulment individual sau pentru o grupă de rulmenți, aparent identici și funcționând în aceleași condiții, este durabilitatea asociată a unei fiabilități de 90%.

Durabilitatea medie a unui grup de rulmenți este de cca 5 ori mai mare decât cea nominală.

Durabilitatea nominală se notează cu L_{10} , în milioane de rotații, sau cu L_{10h} , în ore.

L_{10} se calculează cu formula:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p, \text{ unde:}$$

L_{10}
 C
 P

- durabilitatea nominală, milioane rotații,
- sarcina de bază, kN,
- sarcina dinamică echivalentă, kN,

- p - exponent al formulei durabilității, având următoarele valori:
 p=3 - pentru rulmenții cu bile,
 p=10/3 - pentru rulmenții cu role.

Sarcina dinamică echivalentă, respectiv sarcina radială și sarcina axială care acționează simultan pe rulmenții radiali și radial-axiali cu bile și cu role, se calculează cu formulele:

$$P = F_r, \text{ kN} \quad - \text{ pentru sarcină pur radială,}$$

$$P = X F_r + Y F_a, \text{ kN} \quad - \text{ pentru sarcină combinată,}$$

Pentru rulmenții axiali cu bile se calculează cu formulele:

$$P = F_a, \text{ kN} \quad - \text{ pentru sarcină pur axială,}$$

$$P = X F_r + Y F_a, \text{ kN} \quad - \text{ pentru sarcină combinată,}$$

unde:

F_r - componenta radială a încărcării, kN,

F_a - componenta axială a încărcării, kN.

În partea din față a tabelelor cu rulmenți, la unele grupe, sunt date detalii pentru determinarea sarcinilor echivalente, iar în tabele valoarea coeficienților X și Y.

La o turație constantă se poate calcula durabilitatea rulmentului în ore, după relația:

$$L_{10h} = \frac{1\,000\,000}{60 n} (C/P)^p \text{ sau } L_{10h} = \frac{16\,666}{n} (C/P)^p,$$

unde:

n = turația, rot./min.

Valorile durabilității nominale L_{10} , în milioane rotații, în funcție de raportul C/P, sunt date în tabelul 2.1.

Valorile durabilității nominale în ore L_{10h} , în funcție de raportul C/P și mărirea turației, sunt date în tabelul 2.2, pentru rulmenții cu bile, și în tabelul 2.3, pentru rulmenții cu role.

Pentru determinarea mării rulmentului este necesar să se stabilească durabilitatea nominală, corespunzătoare scopului utilizării.

Ea depinde de tipul mașinii, durata de funcționare și cerințele privind siguranța în funcționare.

În tabelul 2.4 sunt date valorile orientative pentru durabilitatea diferitelor mașini și utilaje de uz general, iar în funcție de aceasta, din nomograma de la pag. 22, se poate determina durabilitatea nominală L_{10h} a rulmenților.

Raportul C/P în funcție de durabilitatea L_{10} (milioane rotații)

Tabelul 2.1

L_{10}	C/P		L_{10}	C/P	
	Rulm. cu bile	Rulm. cu role		Rulm. cu bile	Rulm. cu role
0,5	0,793	0,812	600	8,43	8,81
0,75	0,909	0,917	650	8,66	8,98
1	1	1	700	8,88	7,14
1,5	1,14	1,13	750	9,09	7,29
2	1,26	1,24	800	9,28	7,43
3	1,44	1,39	850	9,47	7,56
4	1,59	1,52	900	9,65	7,7
5	1,71	1,62	950	9,83	7,82
6	1,82	1,71	1 000	10	7,94
8	2	1,87	1 100	10,3	8,17
10	2,15	2	1 200	10,6	8,39
12	2,29	2,11	1 300	10,9	8,59
14	2,41	2,21	1 400	11,2	8,79
16	2,52	2,3	1 500	11,4	8,97
18	2,62	2,38	1 600	11,7	9,15
20	2,71	2,46	1 700	11,9	9,31
25	2,92	2,63	1 800	12,2	9,48
30	3,11	2,77	1 900	12,4	9,63
35	3,27	2,91	2 000	12,6	9,78
40	3,42	3,02	2 200	13	10,1
45	3,56	3,13	2 400	13,4	10,3
50	3,68	3,23	2 600	13,8	10,6
60	3,91	3,42	2 800	14,1	10,8
70	4,12	3,58	3 000	14,4	11
80	4,31	3,72	3 200	14,7	11,3
90	4,48	3,86	3 400	15	11,5
100	4,64	3,98	3 600	15,3	11,7
120	4,93	4,2	3 800	15,6	11,9
140	5,19	4,4	4 000	15,9	12
160	5,43	4,58	4 500	16,5	12,5
180	5,65	4,75	5 000	17,1	12,9
200	5,85	4,9	5 500	17,7	13,2
220	6,04	5,04	6 000	18,2	13,6
240	6,21	5,18	6 500	18,7	13,9
260	6,38	5,3	7 000	19,1	14,2
280	6,54	5,42	7 500	19,6	14,5
300	6,69	5,54	8 000	20	14,8
320	6,84	5,64	8 500	20,4	15,1
340	6,98	5,75	9 000	20,8	15,4
360	7,11	5,85	9 500	21,2	15,6
380	7,24	5,94	10 000	21,5	15,8
400	7,37	6,03	12 000	22,9	16,7
420	7,49	6,12	14 000	24,1	17,5
440	7,61	6,21	16 000	25,2	18,2
460	7,72	6,29	18 000	26,2	18,9
480	7,83	6,37	20 000	27,1	19,5
500	7,94	6,45	25 000	29,2	20,9
550	8,19	6,64	30 000	31,1	22

Rulmenți cu bile - raportul C/P pentru diferite durabilități L_{10h} (ore de funcționare) la diferite turații n (rot/min)

Tabelul 2.2

L _{10h}	C/P pentru n = 50	100	150	200	250	300	400	500	750	1 000	1 500
100	0,67	0,84	0,97	1,06	1,14	1,22	1,34	1,44	1,65	1,82	2,08
500	1,14	1,44	1,65	1,82	1,96	2,08	2,29	2,47	2,82	3,11	3,56
1 000	1,44	1,82	2,08	2,29	2,47	2,62	2,88	3,11	3,56	3,91	4,48
1 250	1,55	1,96	2,24	2,47	2,66	2,82	3,11	3,35	3,83	4,22	4,83
1 600	1,69	2,13	2,43	2,68	2,88	3,07	3,37	3,63	4,16	4,58	5,24
2 000	1,82	2,29	2,62	2,88	3,11	3,30	3,63	3,91	4,48	4,93	5,65
2 500	1,96	2,47	2,82	3,11	3,35	3,56	3,91	4,22	4,83	5,31	6,08
3 200	2,13	2,68	3,07	3,37	3,63	3,86	4,25	4,58	5,24	5,77	6,80
4 000	2,29	2,88	3,30	3,63	3,91	4,16	4,58	4,93	5,65	6,21	7,11
5 000	2,47	3,11	3,56	3,91	4,22	4,48	4,93	5,31	6,08	6,69	7,66
6 300	2,66	3,36	3,84	4,23	4,55	4,84	5,33	5,74	6,57	7,23	8,28
8 000	2,88	3,63	4,16	4,58	4,93	5,24	5,77	6,21	7,11	7,83	8,96
10 000	3,11	3,91	4,48	4,93	5,31	5,65	6,21	6,69	7,66	8,43	9,65
12 500	3,35	4,22	4,83	5,31	5,72	6,08	6,69	7,21	8,25	9,09	10,4
16 000	3,63	4,58	5,24	5,77	6,21	6,60	7,27	7,83	8,96	9,86	11,3
20 000	3,91	4,93	5,65	6,21	6,69	7,11	7,83	8,43	9,65	10,6	12,2
25 000	4,22	5,31	6,08	6,69	7,21	7,66	8,43	9,09	10,4	11,4	13,1
32 000	4,58	5,77	6,60	7,27	7,83	8,32	9,16	9,86	11,3	12,4	14,2
40 000	4,93	6,21	7,11	7,83	8,43	8,96	9,86	10,6	12,2	13,4	15,3
50 000	5,31	6,69	7,66	8,43	9,09	9,65	10,6	11,4	13,1	14,4	16,5
63 000	5,74	7,23	8,28	9,11	9,81	10,4	11,5	12,4	14,2	15,6	17,8
80 000	6,21	7,83	8,96	9,86	10,6	11,3	12,4	13,4	15,3	16,9	19,3
100 000	6,69	8,43	9,65	10,6	11,4	12,2	13,4	14,4	16,5	18,2	20,8
200 000	8,43	10,6	12,2	13,4	14,4	15,3	16,9	18,2	20,8	22,9	26,2

L _{10h}	C/P pentru n = 2000	2 500	3 000	4 000	5 000	6 000	8 000	10 000	15 000	20 000	30 000
100	2,29	2,47	2,62	2,88	3,11	3,30	3,63	3,91	4,48	4,93	5,65
500	3,91	4,22	4,48	4,93	5,31	5,65	6,21	6,69	7,66	8,43	9,65
1 000	4,93	5,31	5,65	6,21	6,69	7,11	7,83	8,43	9,85	10,6	12,2
1 250	5,31	5,72	6,08	6,69	7,21	7,66	8,43	9,09	10,4	11,4	13,1
1 600	5,77	6,21	6,60	7,27	7,83	8,32	9,16	9,86	11,3	12,4	14,2
2 000	6,21	6,69	7,11	7,83	8,43	8,96	9,86	10,6	12,2	13,4	15,3
2 500	6,69	7,21	7,66	8,43	9,09	9,65	10,6	11,4	13,1	14,4	16,5
3 200	7,27	7,83	8,32	9,16	9,86	10,5	11,5	12,4	14,2	15,7	17,9
4 000	7,83	8,43	8,96	9,86	10,6	11,3	12,4	13,4	15,3	16,9	19,3
5 000	8,43	9,09	9,65	10,6	11,4	12,2	13,4	14,4	16,5	18,2	20,8
6 300	9,11	9,81	10,4	11,5	12,4	13,1	14,5	15,6	17,8	19,6	22,5
8 000	9,86	10,6	11,3	12,4	13,4	14,2	15,7	16,9	19,3	21,3	24,3
10 000	10,6	11,4	12,2	13,4	14,4	15,3	16,9	18,2	20,8	22,9	26,2
12 500	11,4	12,3	13,1	14,4	15,5	16,5	18,2	19,6	22,4	24,7	28,2
16 000	12,4	13,4	14,2	15,7	16,9	17,9	19,7	21,3	24,3	26,8	30,7
20 000	13,4	14,4	15,3	16,9	18,2	19,3	21,3	22,9	26,2	28,8	33,0
25 000	14,4	15,5	16,5	18,2	19,6	20,8	22,9	24,7	28,2	31,1	35,6
32 000	15,7	16,9	17,9	19,7	21,3	22,6	24,9	26,8	30,7	33,7	38,6
40 000	16,9	18,2	19,3	21,3	22,9	24,3	26,8	28,8	33,0	36,3	41,6
50 000	18,2	19,6	20,8	22,9	24,7	26,1	28,8	31,1	35,6	39,1	44,8
63 000	19,6	21,1	22,5	24,7	26,6	28,3	31,2	33,6	38,4	42,3	48,4
80 000	21,3	22,9	24,3	26,8	28,8	30,7	33,7	36,3	41,6	45,8	52,4
100 000	22,9	24,7	26,2	28,8	31,1	33,0	36,3	39,1	44,8	49,3	56,5
200 000	28,8	31,1	33,0	36,3	39,1	41,6	45,8	49,3	56,5	62,1	71,1

Rulmenți cu role - raportul C/P pentru diferite durabilități L_{10h} (ore de funcționare) la diferite turații n (rot/min)

Tabelul 2.3

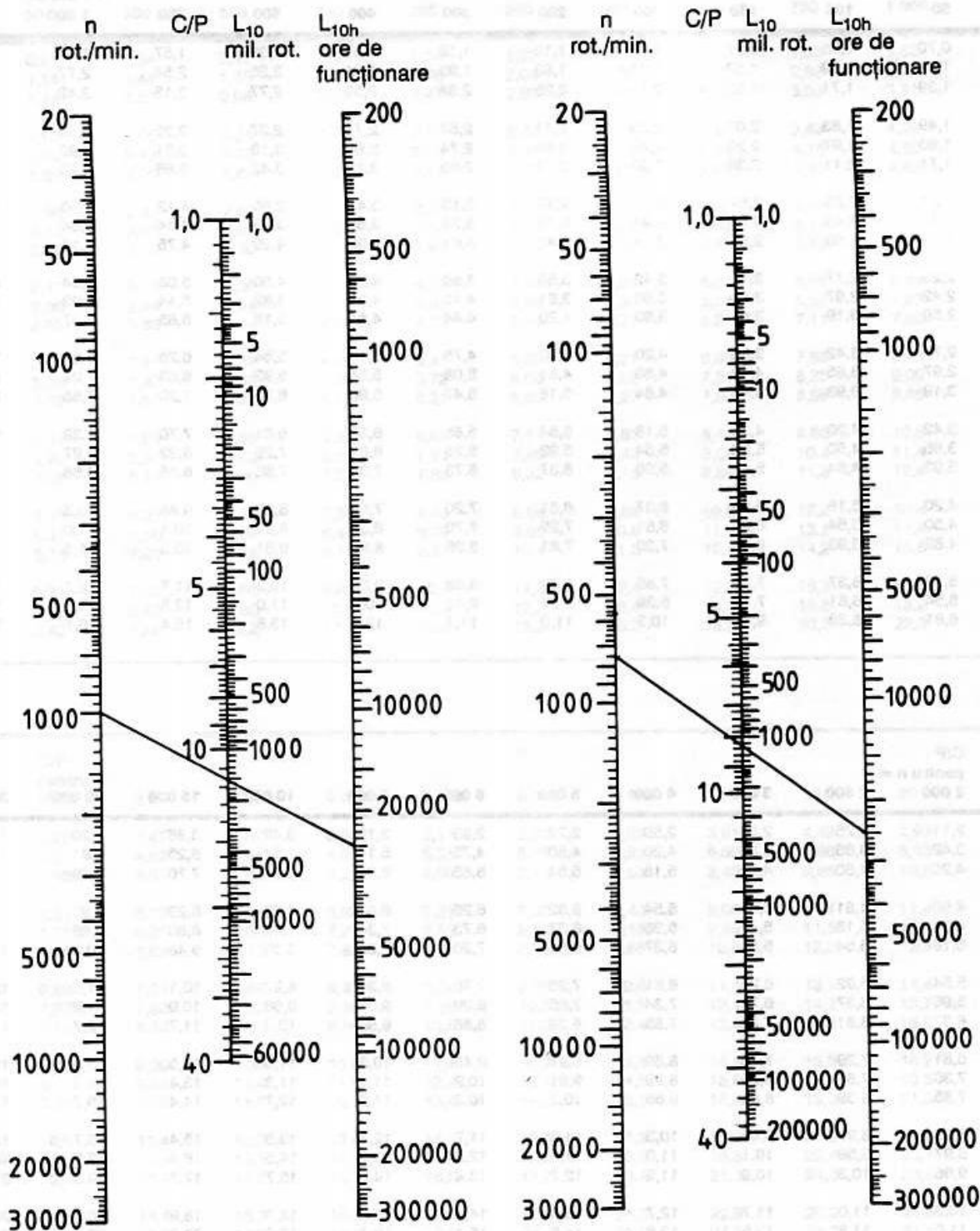
L_{10h}	C/P pentru $n =$ 50	100	150	200	250	300	400	500	750	1 000	1 500
100	0,70	0,86	0,97	1,06	1,13	1,19	1,30	1,39	1,57	1,71	1,93
500	1,13	1,39	1,57	1,71	1,83	1,93	2,11	2,25	2,54	2,77	3,13
1 000	1,39	1,71	1,93	2,11	2,25	2,38	2,59	2,77	3,13	3,42	3,86
1 250	1,49	1,83	2,07	2,25	2,41	2,54	2,77	2,97	3,35	3,65	4,12
1 600	1,60	1,97	2,23	2,43	2,59	2,74	2,99	3,19	3,61	3,93	4,44
2 000	1,71	2,11	2,38	2,59	2,77	2,93	3,19	3,42	3,86	4,20	4,75
2 500	1,83	2,25	2,54	2,77	2,97	3,13	3,42	3,65	4,12	4,50	5,08
3 200	1,97	2,43	2,74	2,99	3,19	3,37	3,68	3,93	4,44	4,84	5,47
4 000	2,11	2,59	2,93	3,19	3,42	3,61	3,93	4,20	4,75	5,18	5,85
5 000	2,25	2,77	3,13	3,42	3,65	3,86	4,20	4,50	5,08	5,54	6,25
6 300	2,42	2,97	3,36	3,66	3,91	4,13	4,51	4,82	5,44	5,93	6,70
8 000	2,59	3,19	3,61	3,93	4,20	4,44	4,84	5,18	5,85	6,37	7,20
10 000	2,77	3,42	3,86	4,20	4,50	4,75	5,18	5,54	6,25	6,81	7,70
12 500	2,97	3,65	4,12	4,50	4,81	5,08	5,54	5,92	6,68	7,29	8,23
16 000	3,19	3,93	4,44	4,84	5,18	5,47	5,96	6,37	7,20	7,85	8,86
20 000	3,42	4,20	4,75	5,18	5,54	5,85	6,37	6,81	7,70	8,39	9,48
25 000	3,65	4,50	5,08	5,54	5,92	6,25	6,81	7,29	8,23	8,97	10,1
32 000	3,93	4,84	5,47	5,96	6,37	6,73	7,34	7,85	8,86	9,66	10,9
40 000	4,20	5,18	5,85	6,37	6,81	7,20	7,85	8,39	9,48	10,3	11,7
50 000	4,50	5,54	6,25	6,81	7,29	7,70	8,39	8,97	10,1	11,0	12,5
63 000	4,82	5,93	6,70	7,30	7,81	8,25	8,99	9,61	10,9	11,8	13,4
80 000	5,18	6,37	7,20	7,85	8,39	8,86	9,66	10,3	11,7	12,7	14,4
100 000	5,54	6,81	7,70	8,39	8,97	9,48	10,3	11,0	12,5	13,6	15,4
200 000	6,81	8,39	9,48	10,3	11,0	11,7	12,7	13,6	15,4	16,7	18,9

L_{10h}	C/P pentru $n =$ 2 000	2 500	3 000	4 000	5 000	6 000	8 000	10 000	15 000	20 000	30 000
100	2,11	2,25	2,38	2,59	2,77	2,93	3,19	3,42	3,86	4,20	4,75
500	3,42	3,65	3,86	4,20	4,50	4,75	5,18	5,54	6,25	6,81	7,70
1 000	4,20	4,50	4,75	5,18	5,54	5,85	6,37	6,81	7,70	8,39	9,48
1 250	4,50	4,81	5,08	5,54	5,92	6,25	6,81	7,29	8,23	8,97	10,1
1 600	4,84	5,18	5,47	5,96	6,37	6,73	7,34	7,85	8,86	9,66	10,9
2 000	5,18	5,54	5,85	6,37	6,81	7,20	7,85	8,39	9,48	10,3	11,7
2 500	5,54	5,92	6,25	6,81	7,29	7,70	8,39	8,97	10,1	11,0	12,5
3 200	5,96	6,37	6,73	7,34	7,85	8,29	9,03	9,66	10,9	11,9	13,4
4 000	6,37	6,81	7,20	7,85	8,39	8,86	9,66	10,3	11,7	12,7	14,4
5 000	6,81	7,29	7,70	8,39	8,97	9,48	10,3	11,0	12,5	13,6	15,4
6 300	7,30	7,81	8,25	8,99	9,61	10,2	11,1	11,8	13,4	14,6	16,5
8 000	7,85	8,39	8,86	9,66	10,3	10,9	11,9	12,7	14,4	15,7	17,7
10 000	8,39	8,97	9,48	10,3	11,0	11,7	12,7	13,6	15,4	16,7	18,9
12 500	8,97	9,59	10,1	11,0	11,8	12,5	13,6	14,5	16,4	17,9	20,2
16 000	9,66	10,3	10,9	11,9	12,7	13,4	14,6	15,7	17,7	19,3	21,8
20 000	10,3	11,0	11,7	12,7	13,6	14,4	15,7	16,7	18,9	20,6	23,3
25 000	11,0	11,8	12,5	13,6	14,5	15,4	16,7	17,9	20,2	22,0	24,9
32 000	11,9	12,7	13,4	14,6	15,7	16,5	18,0	19,3	21,8	23,7	26,8
40 000	12,7	13,6	14,4	15,7	16,7	17,7	19,3	20,6	23,3	25,4	28,7
50 000	13,6	14,5	15,4	16,7	17,9	18,9	20,6	22,0	24,9	27,1	30,6
63 000	14,6	15,6	16,5	17,9	19,2	20,3	22,1	23,6	26,7	29,1	32,8
80 000	15,7	16,7	17,7	19,3	20,6	21,8	23,7	25,4	28,7	31,2	35,3
100 000	16,7	17,9	18,9	20,6	22,0	23,3	25,4	27,1	30,6	33,4	37,7
200 000	20,6	22,0	23,3	25,4	27,1	28,7	31,2	33,4	37,7	41,1	46,4

Nomogramă pentru stabilirea durabilității nominale

Rulmenți cu bile

Rulmenți cu role



Exemple:

1. Se cere stabilirea mărimii unui rulment radial cu bile pe un rând, la care se impun următoarele condiții:

- Durabilitatea $L_{10h} = 25\ 000$ ore,
- Turația $n = 1\ 000$ rot/min,
- Sarcina de încărcare pe rulment $F_r = 5$ kN.

Rezultă din diagramă:

$$C_r/P_r = 11,6, C_r = 11,6, P_r = 11,6 \times 5 = 58 \text{ kN.}$$

Din catalog, pagina 150, corespunde rulmentul 6310, care are următoarele caracteristici tehnice: $C_r = 61,8$ kN, $n = 7\ 000$ rot/min.

2. Care este durabilitatea rulmentului NU 210E care funcționează încărcat cu o sarcină radială de 8 kN și la o turație de $n = 750$ rot/min?

Din catalog, pagina 260: NU 210E are: $C_r = 63,7$ kN, $n = 8\ 800$ rot/min.

Din diagramă, la o turație de 750 rot/min și un $C_r/P_r = 64,4/8 = 8,05$, se obține o durabilitate de $L_{10h} = 25\ 000$ ore de funcționare.

Durabilități recomandate pentru mașini de uz general

Tabelul 2.4

Utilizare	Durabilitatea recomandată L _{10h} (ore)
Aparatură de uz casnic, medicală, instrumente, mașini agricole.	300...3 000
Mașini cu funcționare de scurtă durată sau intermitentă: scule electrice, macarale, dispozitive de ridicat pentru ateliere, mașini de construcții.	3 000...8 000
Mașini cu funcționare intermitentă sau de scurtă durată și cu mare siguranță în exploatare: ascensoare	8 000...12 000
Mașini ce funcționează 8 ore pe zi, dar nu la întreaga capacitate: mașini de uz general, motoare electrice industriale, mori rotative, reductoare de uz general.	10 000...25 000
Mașini ce funcționează 8 ore pe zi la întreaga capacitate: mașini-unelte, mașini pentru prelucrarea lemnului, macarale mari, mașini tipografice, ventilatoare, separatoare, centrifuge.	20 000...30 000
Mașini ce funcționează 24 de ore pe zi: reductoare pentru laminoare, mașini electrice mijlocii, compresoare, pompe, mașini textile, ascensoare de mină.	40 000...50 000
Mașini hidraulice, cuptoare rotative, cabestane, echipament naval (elice pentru nave maritime).	50 000...100 000
Mașini ce funcționează 24 de ore pe zi cu fiabilitate ridicată: mașini electrice mari, pompe și ventilatoare de mină, centrale electrice, mașini pentru industria celulozei, stații de pompare.	100 000...

La autovehicule și materialul rulant, durabilitatea rulmenților de la roți se exprimă în funcție de diametrul roții și kilometri-parcurs, după următoarea formulă:

$$L_{10} = \frac{1\,000}{\pi D} L_{10s}, \text{ respectiv: } L_{10s} = \frac{\pi D}{1\,000} L_{10}$$

unde:

- L₁₀ - durabilitatea nominală, milioane rotații,
- L_{10s} - durabilitatea, milioane kilometri-parcurs,
- D - diametrul roții, m.

Valorile orientative pentru alegerea durabilității în kilometri-parcurs pentru autovehicule și cutii de unsoare pentru material rulant de cale ferată se dau în tabelul 2.5.

Valori pentru durabilitatea L_{10s}

Tabelul 2.5

Felul autovehiculului	L _{10s} /10 ⁶ km
Lăgărele roților pentru autovehicule:	
- autoturisme	0,3
- autocamioane, autobuze	0,6
Cutii de unsoare pentru material rulant de cale ferată:	
- vagoane de marfă (conf.UIC)	0,8
- trafic suburban, tramvaie	1,5
- vagoane de călători pentru distanțe mari	3
- automotoare	3-4
- locomotive Diesel și electrice	3-5

Durabilitatea rulmenților care au mișcări oscilatorii, în loc de rotații, de la o poziție de centru cu un unghi γ , conform fig. 1, se determină cu relația:

$$L_{10osc} = \frac{180}{2\gamma} L_{10}$$

unde:

Oscilația completă = 4γ de la pct. 0 la pct. 4

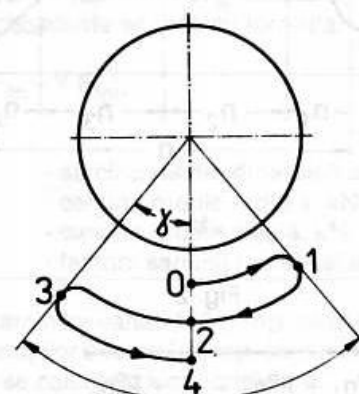


Fig. 1

- L_{10osc} - durabilitatea, milioane cicluri,
- γ - amplitudinea oscilației (unghi de la centru până la deplasarea maximă), grade.

Nu se iau în calcul mișcările oscilatorii cu unghiul foarte mic.

Sarcina dinamică și turațiile variabile

În multe cazuri de exploatare sarcina și turația sunt variabile, situație în care se impune calcularea unei sarcini dinamice medii.

Caracterul variabil al sarcinii aplicate pe rulment poate lua diferite forme. Astfel, avem sarcini și turații variabile, ca în fig. 2.a și 2.b.

Calcularea sarcinii medii, dinamice, în acest caz, se face

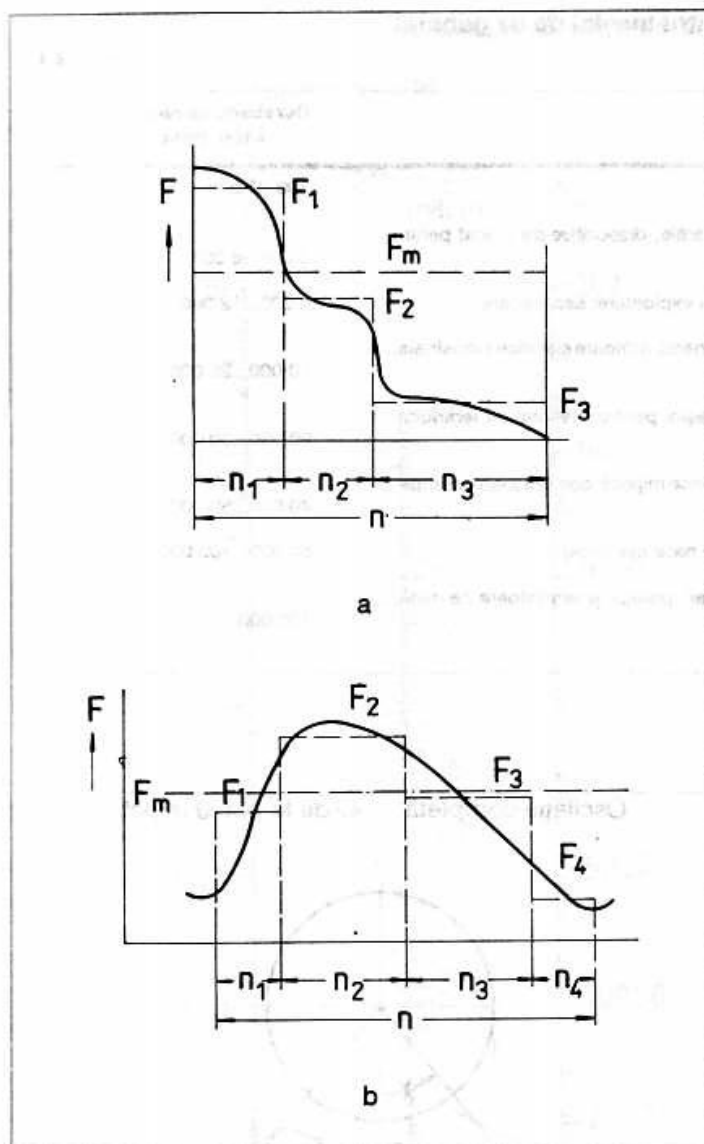


Fig. 2

cu formula:

$$F_m = \sqrt[p]{\frac{F_1^p n_1 + F_2^p n_2 + \dots + F_n^p n_n}{n}}, \text{ kN,}$$

unde:

- F_m - sarcina medie constantă, kN,
- $F_1, F_2, \dots, F_n$ - sarcina constantă în timpul rotațiilor $n_1, n_2, \dots, n_n$, kN
- $n_1, n_2, \dots, n_n$ - numărul rotațiilor pentru sarcinile $F_1, F_2, \dots$,
- n - numărul total de rotații ($n = n_1 + n_2 + \dots$) în timpul încărcării cu sarcinile $F_1, F_2, \dots$,
- p - exponent - 3 - pentru rulmenții cu bile, -10/3 - pentru rulmenții cu role.

În cazul unei turații constante și când sarcina variază de la o sarcină $F_{\min}$ la $F_{\max}$, ca în fig. 3 a și b, calculul sarcinii se face cu formula:

$$F_m = \frac{F_{\min} + 2 F_{\max}}{3}, \text{ kN}$$

Dacă sarcina radială exterioară are o componentă constantă, ca mărime și direcție, F_1 , și una variabilă, ca direcție și constantă ca mărime, F_2 , (F_1 și F_2 coplanare), ca în fig. 4, sarcina medie se calculează cu formula:

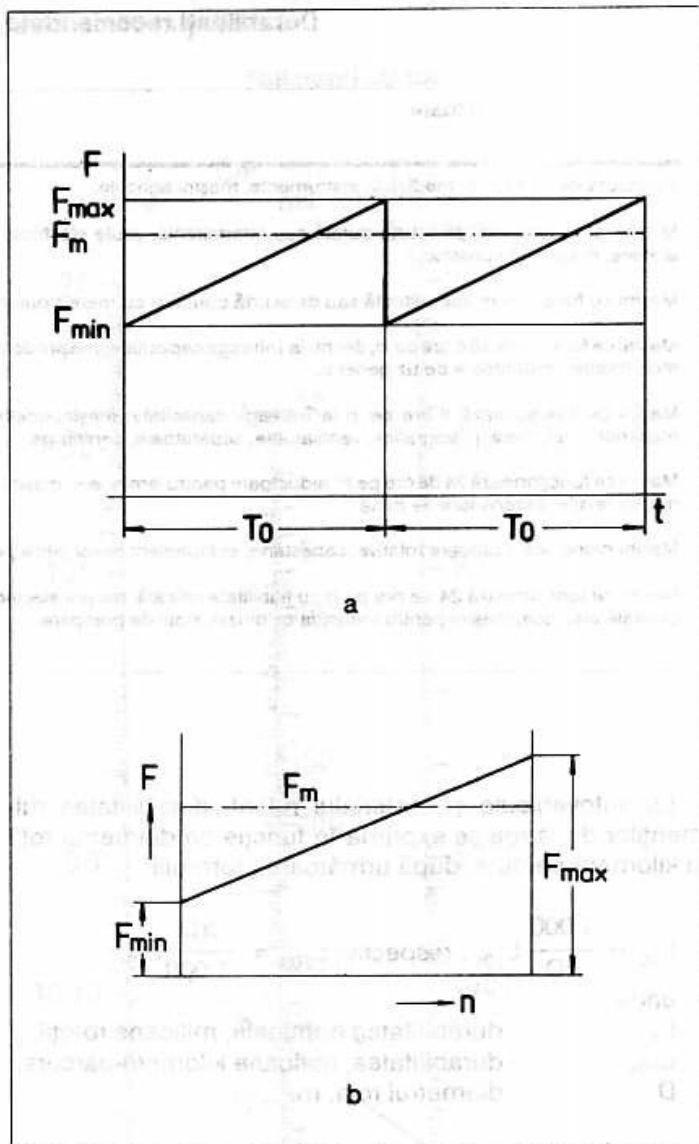


Fig. 3

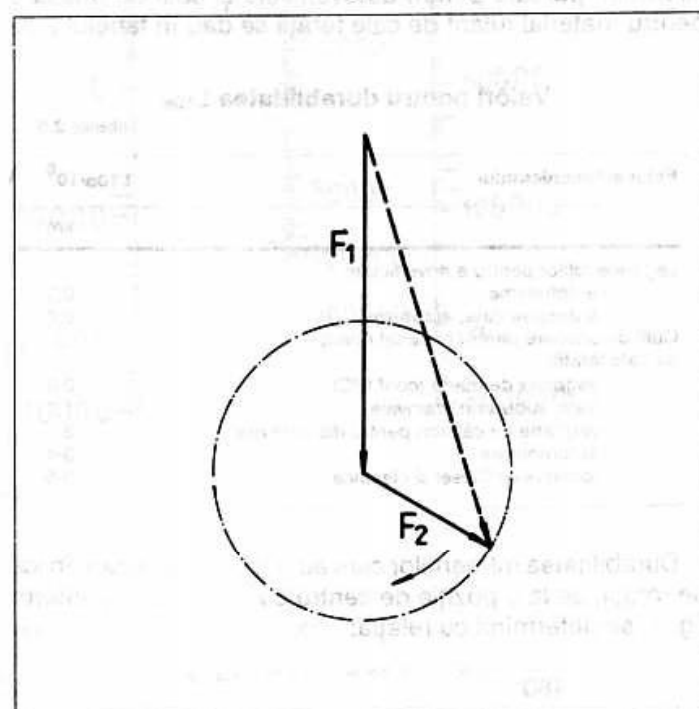


Fig. 4

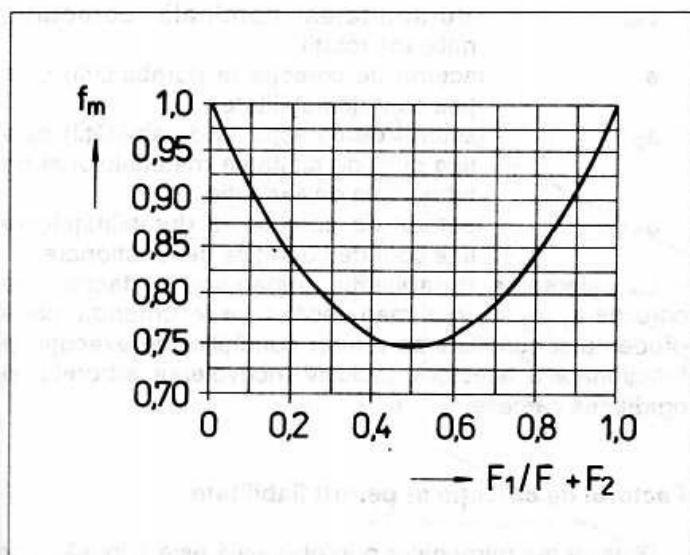


Fig. 5

$$F_m = f_m (F_1 + F_2), \text{ kN}$$

Valorile pentru coeficientul f_m se pot obține din fig. 5.

În cazul mișcării sinusoidale, ca în fig. 6, calculul sarcinii medii se face cu formula :

$$F_m = \sqrt{\frac{p}{3\pi}} \cdot F_{\max}, \text{ kN},$$

$$F_m \approx 0,75 F_{\max}, \text{ kN}, \text{ pentru rulmenții cu bile,}$$

$$F_m \approx 0,77 F_{\max}, \text{ kN}, \text{ pentru rulmenții cu role.}$$

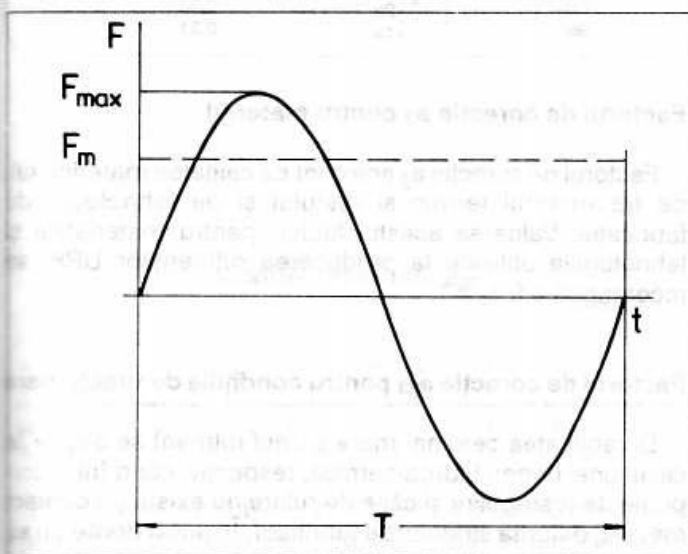


Fig. 6

În cazul mișcărilor oscilatorii cu amplitudinea oscilației γ , ca în fig. 7, sarcina medie echivalentă se calculează cu formula:

$$F_m = \sqrt{\frac{p}{90^\circ}} \cdot F_r, \text{ kN},$$

În cazul sarcinilor variabile, dacă acestea sunt pur radiale, pentru rulmenții radiali, și pur axiale, pentru rulmenții axiali, sarcina dinamică echivalentă va fi: $P_r = F_m$.

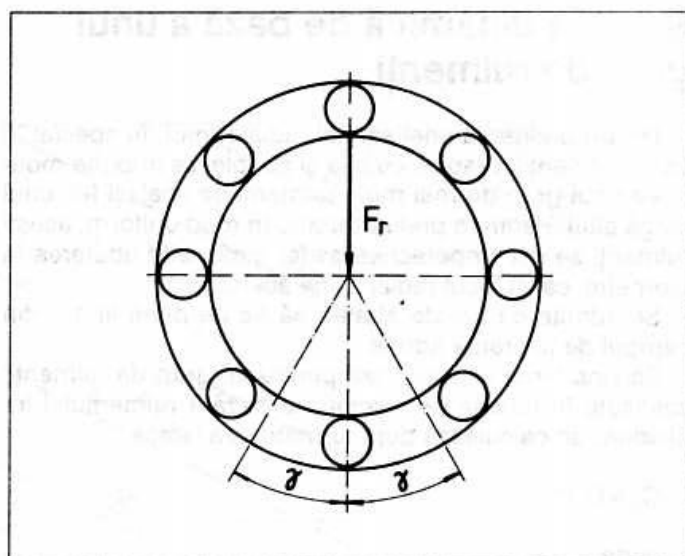


Fig. 7

În cazul sarcinilor combinate, sarcină radială F_r și axială F_a , constante, sarcina dinamică echivalentă se calculează cu formula generală:

$$P = X F_r + Y F_a, \text{ kN}$$

În cazul sarcinilor combinate, radiale și axiale, cu variație în timp, însă cu raportul F_r/F_a constant, calculul sarcinii dinamice echivalente se face cu formula:

$$P_m = X F_{rm} + Y F_{am},$$

unde:

- P_m - sarcina medie dinamică echivalentă, kN,
- F_{rm} - sarcina medie radială, kN,
- F_{am} - sarcina medie axială, kN,
- X și Y - factorii sarcinii radiale și axiale.

În cazul sarcinilor variabile în timp, ca mărime și direcție, precum și rotațiilor diferite în timp, sarcina medie dinamică echivalentă se calculează cu formula:

$$P_m = \sqrt{\frac{p(P_1^{p_1} n_1 + P_2^{p_2} n_2 + \dots + P_n^{p_n} n_n)}{n}},$$

unde:

- P_m - sarcina medie dinamică echivalentă, kN,
- P_1 - sarcina dinamică echivalentă pentru nr. de rotații n_1 , kN,
- P_2 - sarcina dinamică echivalentă pentru nr. de rotații n_2 , kN,
- P_n - sarcina dinamică echivalentă pentru nr. de rotații n_n , kN,
- n_1 - numărul de rotații pentru sarcina P_{r1} ,
- n_2 - numărul de rotații pentru sarcina P_{r2} ,
- n_n - numărul de rotații pentru sarcina P_{rn} ,
- n - numărul de rotații ($n = n_1 + n_2 + \dots + n_n$),
- p - exponent: 3 - pentru rulmenți cu bile, 10/3 - pentru rulmenți cu role.

Sarcina dinamică de bază a unui grup de rulmenți

Pentru preluarea unei sarcini radiale mari, în special în cazul rulmenților radiali cu bile și cu role, se impune montarea unui grup de mai mulți rulmenți de același fel, unul lângă altul. Pentru a prelua sarcina în mod uniform, acești rulmenți se vor împerechea astfel încât, atât abaterea la diametre, cât și jocul radial să fie aceleași.

Se admite ca aceste abateri să fie de până la 1/2 din câmpul de toleranță admis.

Sarcina dinamică de bază pentru un grup de rulmenți, calculată în funcție de sarcina de bază a rulmentului individual, se calculează după următoarea relație:

$$C_{ri} = C_r i^n,$$

unde:

- C_{ri} - sarcina dinamică de bază a grupului de rulmenți, kN,
- C_r - sarcina dinamică de bază a rulmentului individual din tabele, kN,
- i - numărul rulmenților de același tip, montați alături,
- n - exponent ce ține cont de tipul rulmenților, și anume:
0,7 - rulmenți cu bile,
7/9 - rulmenți cu role.

Valorile pentru i^n sunt în tabelul 2.6.

Valorile pentru i^n

Tabelul 2.6

i	$i^{0,7}$	$i^{7/9}$
2	1,62	1,71
3	2,16	2,35
4	2,64	2,94

Calculul sarcinii dinamice echivalente pentru fiecare grupă de rulmenți se face ținându-se cont de indicațiile de la grupa respectivă.

Durabilitatea nominală corectată

Durabilitatea nominală L_{10h} satisface adesea cerințele de performanță ale unui rulment. Prin această durabilitate se înțelege o fiabilitate de 90%, pentru un material și o tehnologie modernă și uzuală de fabricație, precum și pentru condiții de funcționare convenționale.

Recomandările ISO prevăd pentru o fiabilitate mai mare de 90% (100 - n)% un oțel elaborat în condiții mai deosebite, o tehnologie de fabricație îmbunătățită și condiții de funcționare specifice. În acest caz durabilitatea se calculează cu formula:

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 L_{10} \text{ sau}$$

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 \left(\frac{C}{P} \right)^p,$$

unde:

- L_{na} - durabilitatea nominală corectată, milioane rotații,
- a_1 - factorul de corecție (a durabilității) care ține cont de fiabilitate,
- a_2 - factorul de corecție (a durabilității) care ține cont de calitatea materialului și de tehnologia de execuție,
- a_3 - factorul de corecție (a durabilității) care ține cont de condițiile de funcționare.

La calcularea durabilității rulmenților cu factorii de corecție a_1, a_2, a_3 , mai mari decât 1, se recomandă multă prudență și cunoașterea tuturor condițiilor de execuție și funcționare a acestora, inclusiv încovoierea arborelui și rigiditatea carcasi.

Factorul de corecție a_1 pentru fiabilitate

Distrugerea rulmenților prin oboseală este supusă unor legi statistice, de aceea se recomandă să se țină cont de acest fenomen la calculul durabilității.

În tabelul 2.7 sunt date valorile pentru factorul de corecție a_1 , pentru fiabilități mai mari de 90%.

Valorile factorului a_1

Tabelul 2.7

Fiabilitatea, %	L_{na}	a_1
90	L_{10a}	1
95	L_{5a}	0,62
96	L_{4a}	0,53
97	L_{3a}	0,44
98	L_{2a}	0,33
99	L_{1a}	0,21

Factorul de corecție a_2 pentru material

Factorul de corecție a_2 ține cont de calitatea materialului, de tratamentul termic al oțelului și de tehnologia de fabricație. Valoarea acestui factor, pentru materialele și tehnologiile utilizate la producerea rulmenților URB, se recomandă a fi $a_2 = 1$.

Factorul de corecție a_{23} pentru condițiile de funcționare

Durabilitatea cea mai mare a unui rulment se obține în cazul unei ungeri hidrodinamice, respectiv, când între corpurile de rostogolire și căile de rulare nu există un contact metalic, datorită stratului de lubrifiant. În acest domeniu au fost efectuate multe studii de către firme consacrate în fabricația de rulmenți. Din aceste studii rezultă că între factorul a_2 , pentru material, și factorul a_3 , pentru condiții de funcționare, există o interdependență și este de preferat ca acești factori să se unifice, astfel obținându-se factorul a_{23} ; în acest caz durabilitatea nominală modificată va fi:

$$L_{na} = a_1 a_{23} L_{10} \text{ sau } L_{na} = a_1 a_{23} L_{10h}$$

Valoarea coeficientului a_{23} depinde de uleiul utilizat la ungerea rulmenților, respectiv, de raportul dintre vâscozitatea uleiului, la +40°C, ν (inițial) și vâscozitatea necesară unei lubrifieri corecte, la temperatura de funcționare ν_1 , și este dată în tabelul 2.8.

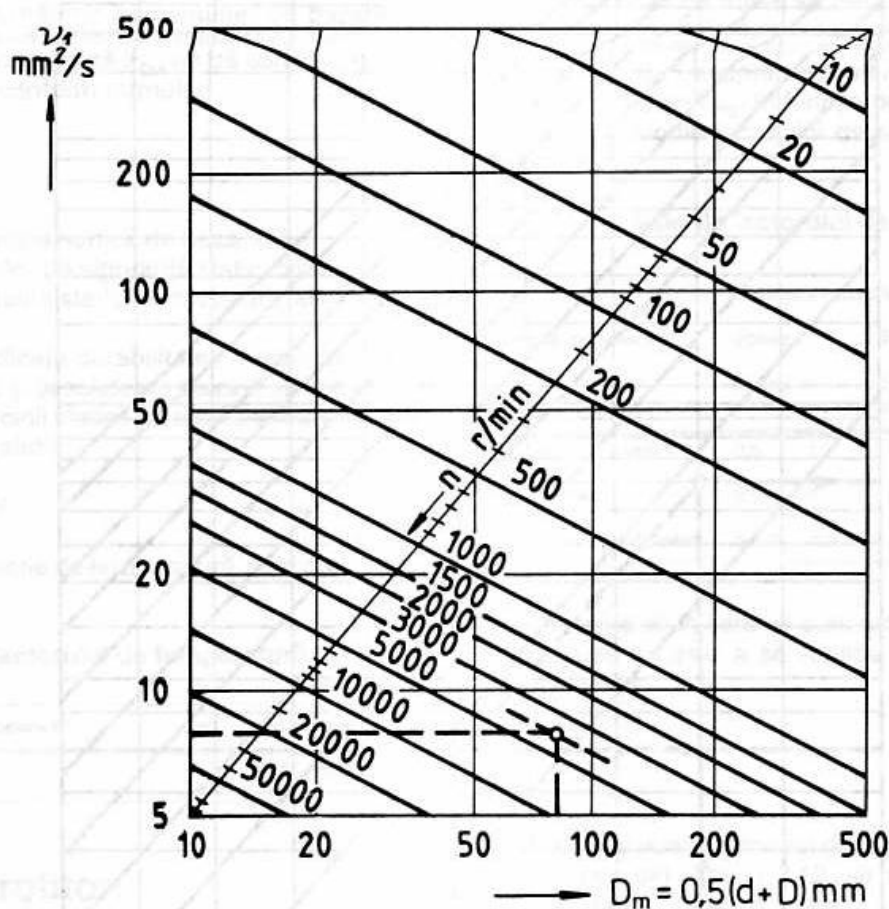


Fig. 8

Valorile factorului a_{23}

Tabelul 2.8

$\frac{\nu}{\nu_1}$	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2	3	4	5
a_{23}	0,45	0,55	0,75	1	1,3	1,6	2	2,5	2,5

Valoarea vâscozității ν_1 , în funcție de diametrul mediu al rulmentului și turația de lucru, este dată în diagrama din fig. 8.

Dacă temperatura de lucru a rulmentului este cunoscută, din diagrama din fig. 9 se poate determina vâscozitatea cinematică ν la temperatura de $+40^\circ\text{C}$, după normele internaționale ISO.

În cazul utilizării unsoirii pentru ungerea rulmentului se va lua vâscozitatea uleiului de bază, iar valoarea pentru factorul a_{23} se va lua mai mică decât 1.

Exemplu de determinare a vâscozității cinemateice a uleiului pentru ungerea rulmentului.

Rulmentul 6212 funcționează cu o turație de 3 500 rot./min., la o temperatură de $+70^\circ\text{C}$.

Diametrul mediu va fi:

$$0,5 (d + D) = 0,5 (60 + 110) = 85 \text{ mm}$$

Din diagrama din fig. 8 obținem $\nu_1 = 8 \text{ mm}^2/\text{s}$ (cSt).

Din diagrama din fig. 9, la o temperatură de $+70^\circ\text{C}$, pentru vâscozitatea $\nu = 8 \text{ mm}^2/\text{s}$, se obține o vâscozitate la $+40^\circ\text{C} = 20 \text{ mm}^2/\text{s}$ (cSt). În acest caz se va alege un ulei după normele internaționale ISO VG22, cu limitele de vâscozitate cinematică la $+40^\circ\text{C}$ de $\nu_{\min.} = 19,8 \text{ mm}^2/\text{s}$ (cSt) și $\nu_{\max.} = 24,2 \text{ mm}^2/\text{s}$ (cSt).

În cazul temperaturilor de funcționare a rulmentului de peste $+150^\circ\text{C}$, la factorul a_{23} se va mai adăuga un factor de corecție pentru temperatură f_t , astfel durabilitatea nominală corectată va fi:

$$L_{na} = a_1 a_{23} f_t L_{10} \text{ sau } L_{nah} = a_1 a_{23} f_t L_{10h}$$

Valorile pentru factorul f_t sunt date în tabelul 2.9.

Valorile factorului de temperatură f_t

Tabelul 2.9

Temperatura de funcționare $t^\circ\text{C}$	150	200	250	300
f_t	1	0,73	0,42	0,22

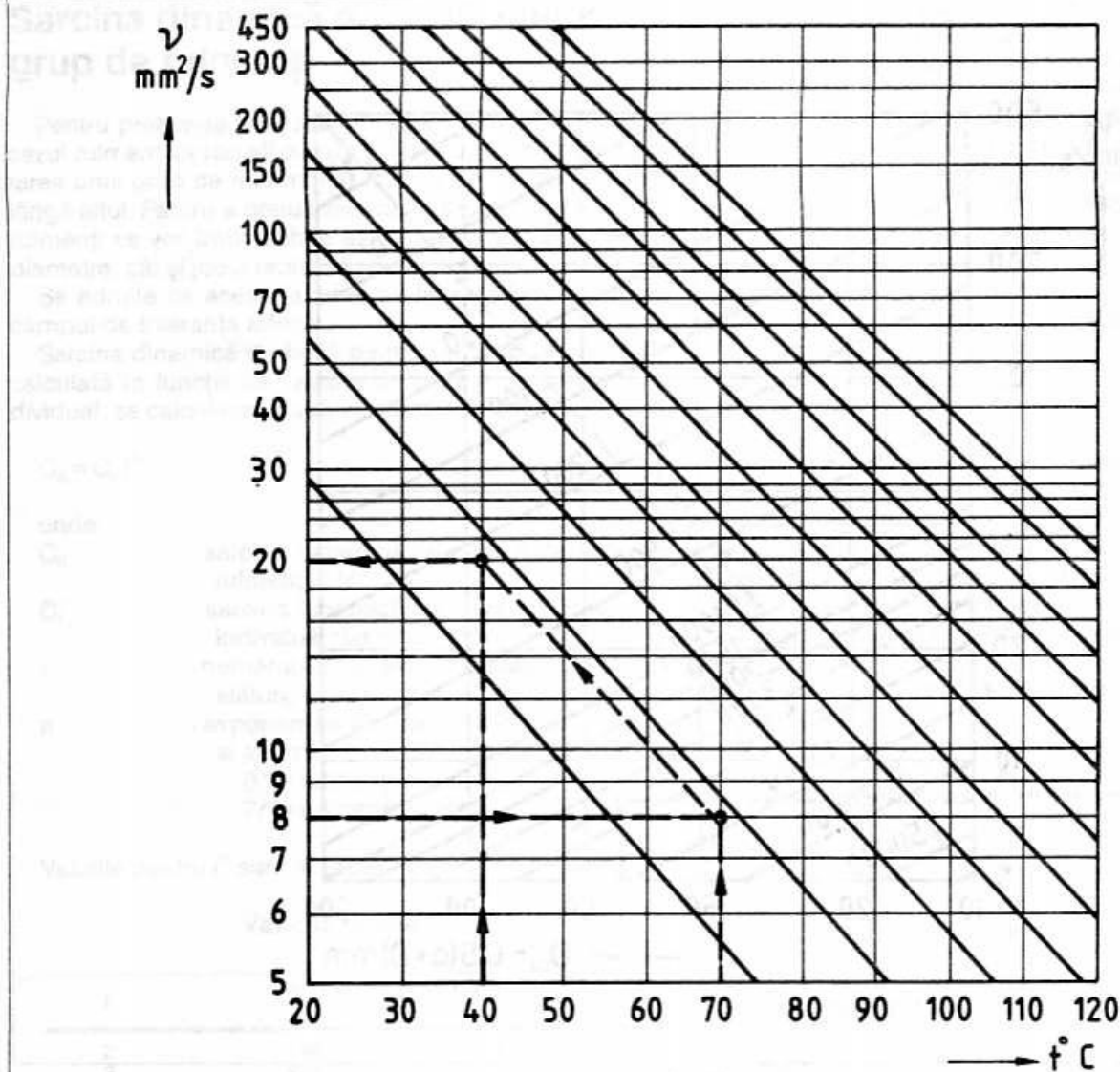


Fig. 9

Sarcina statică

Când rulmenții sunt solicitați în stare de repaus, la mișcări lente sau turații foarte mici, sub 10 rot./min., sarcina de bază nu este determinată de oboseala materialului, ci este limitată de deformările remanente în locurile de contact dintre corpurile de rostogolire și căile de rulare.

Același lucru este valabil și pentru rulmenții care se rotesc, când în timpul unei fracțiuni de rotire, aceștia trebuie să preia șocuri mari.

În general, sarcina poate să crească până la sarcina de bază statică C_0 , fără ca proprietățile de funcționare a rulmentului să fie diminuate.

Sarcina statică echivalentă

Sarcina statică combinată (sarcina radială și sarcina axială care acționează simultan pe rulment) trebuie transformată într-o sarcină echivalentă.

Prin noțiunea de sarcină statică echivalentă se înțelege acea sarcină radială, în cazul rulmenților radiali și radial-axiali, și axială, în cazul rulmenților axiali, care produce în

rulment aceleași deformări ca și sarcina reală care acționează asupra acestuia.

Sarcina statică echivalentă rezultă din formula generală:

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a, \text{ kN},$$

unde:

- | | |
|-------|--|
| P_0 | - sarcina statică echivalentă a rulmentului, kN, |
| F_r | - componenta radială a celei mai mari sarcini statice, kN, |
| F_a | - componentă axială a celei mai mari sarcini statice, kN, |
| X_0 | - factorul radial al rulmentului, |
| Y_0 | - factorul axial al rulmentului. |

Toate datele necesare pentru calcularea sarcinii statice echivalente se pot extrage din text, precum și din tabelele cu rulmenți.

Sarcina statică de bază necesară

La determinarea mărimii rulmentului, pe baza sarcinii statice, se folosește un factor de siguranță s_0 care, înmulțit cu sarcina statică echivalentă P_{0r} , ne dă sarcina statică de bază necesară C_{0r} , conform formulei:

$$C_{0r} = s_0 P_{0r}, \text{ kN},$$

unde:

- C_{0r} - sarcina statică de bază, kN,
- s_0 - factor de siguranță static, tabelul 2.11,
- P_{0r} - sarcina statică echivalentă, kN.

La temperaturi ridicate durabilitatea materialului scade, motiv care conduce și la scăderea sarcinii statice de bază.

Determinarea sarcinii statice de bază pentru temperaturi ridicate se face cu relația:

$$C_0 = f_{0t} s_0 P_0, \text{ kN}$$

Factorul f_{0t} , în funcție de temperatură, este dat în tabelul 2.10.

Valorile factorului de temperatură f_{0t}

Tabelul 2.10

Temperatura de funcționare $t^\circ\text{C}$	150	200	250	300
f_{0t}	1	0,95	0,85	0,75

Rulmenți nerotitori

În cazul rulmenților nerotitori valorile factorului de siguranță s_0 , pentru unele cazuri specifice de aplicație, sunt date în tabelul 2.11. Aceste valori sunt valabile și în cazul rulmenților care execută mișcări oscilatorii.

Valorile factorului s_0

Tabelul 2.11

Locul de utilizare	s_0
Elice cu pas variabil pentru avioane	0,5
Porți de baraje, stăvile, ecluze	1
Poduri mobile	1,5
Cărlige de macarale pentru:	
- macarale mari, fără sarcini suplimentare	1,5
- macarale mici, cu sarcini dinamice suplimentare	1,6

Rulmenți rotitori

În cazul unor încărcări variabile sau pulsatorii ale rulmenților și, mai ales, la acțiunea unor șocuri puternice, în timpul unei fracțiuni de rotație, este necesar să se verifice dacă rulmentul respectiv are capacitatea statică corespunzătoare.

Sarcinile cu șocuri mari care depășesc sarcina de bază statică a rulmentului produc deformări remanente care sunt neuniform repartizate pe căile de rulare și care influențează negativ funcționarea rulmentului.

În general, sarcinile cu șocuri nu pot fi calculate exact și, în anumite cazuri, produc deformări ale carcasi rulmen-

tului și, deci, o repartizare nefavorabilă a sarcinii în rulment.

Când rulmentul efectuează mai multe rotații sub sarcină maximă, căile de rulare se deformează uniform pe toată circumferința, fără să apară imprimări.

Pentru diferite condiții de exploatare sarcina maximă care acționează asupra rulmentului se calculează cu factorul de siguranță s_0 , în funcție de mărimea vibrațiilor și a șocurilor. Valorile factorului de siguranță s_0 sunt date în tabelul 2.12.

Valorile factorului de siguranță s_0

Tabelul 2.12

Felul încărcării	Cerințe de funcționare liniștită (fără zgomot)					
	Joase		Normale		Ridicate	
	Rulmenți cu bile	cu role	Rulmenți cu bile	cu role	Rulmenți cu bile	cu role
Lină, fără vibrații	0,5	1	1	1,5	2	3
Normală	0,5	1	1	1,5	2	3,5
Cu șocuri puternice	> 1,5	> 2,5	> 1,5	> 3	> 2	> 4

La rulmenții la care se cunoaște sarcina statică echivalentă este necesar a se verifica factorul de siguranță s_0 după relația:

$$s_0 = \frac{C_{0r}}{P_{0r}}$$

Dacă valoarea factorului de siguranță s_0 este mai mică decât cea din tabelul 2.12, se va alege un rulment cu capacitatea statică mai mare.

Sarcina statică de bază pentru un grup de rulmenți

În situația în care se montează alături mai mulți rulmenți de același fel, pentru preluarea unei sarcini statice, mărimea sarcinii suportate de acești rulmenți se va determina cu ajutorul relației:

$$C_{0ri} = C_{0r} i,$$

unde:

- C_{0ri} - sarcina statică de bază a grupului de rulmenți, kN,
- C_{0r} - sarcina statică de bază a rulmentului individual din tabele, kN,
- i - numărul de rulmenți.