

3.4 Підшипники кочення для опор шпинделів

У шпиндельних вузлах більшості сучасних верстатів застосовують підшипники кочення. Їм властиві невеликі втрати на тертя та прості схеми змащення. Підшипники кочення забезпечують високу точність обертання шпинделів (радіальне биття 0,01...0,03 мм, у прецизійних верстатах — декілька мікрометрів) та необхідну вібростійкість, вони надійно працюють при зміні частоти обертання та навантажень у широких діапазонах, зручні у експлуатації.

Навантажувальна здатність підшипників кочення характеризується динамічною та статичною вантажопідйомністю. Динамічна вантажопідйомність радіальних та радіально-упорних підшипників — це постійне радіальне навантаження, яке кожний з групи ідентичних підшипників з нерухомим зовнішнім кільцем може сприймати при довговічності, що складає 10^6 обертів. Статична вантажопідйомність — таке статичне навантаження, внаслідок дії якого виникає загальна статична деформація тіл кочення та кілець у найбільш навантаженій зоні контакту, що дорівнює 0,0001 діаметра тіл кочення.

Швидкохідність підшипників кочення характеризується граничною частотою обертання та параметром швидкохідності. Перевищення граничної частоти обертання призводить до суттєвого проявлення дії сил інерції тіл кочення та сепаратора, зростанню впливу похибок форми тіл та доріжок кочення та відповідному порушенню рівномірності обертання підшипника, погіршенню умов змащення, зростанню зносу робочих поверхонь та перегріву опори. Гранична частота обертання підшипників у нормальних умовах експлуатації наводиться у каталогах підшипників. Якщо частота обертання шпинделя повинна перевищувати граничну для підшипників, потрібно забезпечити достатній відвід тепла від опор, використовувати змащувальні матеріали малої в'язкості. Узагальненим **показником швидкохідності** опор шпинделів з радіальними, радіально-упорними та упорно-радіальними підшипниками є **параметр швидкохідності**, $\text{мм} \cdot \text{хв.}^{-1}$:

$$d_m n_{\max},$$

де $d_m = 0,5 (d + D)$ — середній діаметр підшипника;

d — діаметр отвору підшипника, мм;

D — зовнішній діаметр підшипника, мм;

n_{\max} — найбільша частота обертання шпинделя, хв.^{-1} .

Підшипники кочення для шпинделів верстатів виходять з ладу внаслідок утомлюваного викришування доріжок кочення або через знос елементів, що призводить до збільшення зазорів. Вважається, що строк роботи підшипника закінчився, коли з одною із названих причин він не може виконувати своїх функцій.

Показником довговічності підшипників вважається час, протягом

якого у тотожних умовах повинні працювати не менше 90% партії підшипників даного типорозміру.

Жорсткість підшипника характеризується відношенням діючого на нього навантаження до пружного зближення кілець, що таке навантаження викликає (при цьому контактні деформації на посадочних поверхнях не враховуються). Розрізняють радіальну та осьову жорсткість.

Для шпинделів виготовляються спеціальні конструкції підшипників, які відрізняються високою жорсткістю, навантажувальною здатністю та дозволяють простими засобами створювати попередній натяг. Також застосовують радіально-упорні підшипники розповсюджених типів відповідних класів точності.

Найбільш широке застосування у шпиндельних вузлах отримали такі типи підшипників.

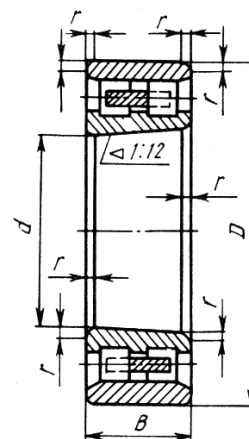
Дворядні роликові підшипники з короткими циліндричними роликами призначені для сприйняття тільки радіальних навантажень (таблиця 3.8). Підшипники типу 3182100 мають рівну доріжку кочення (без буртів) на зовнішньому кільці, а типу 4162900 — на внутрішньому кільці. Останнє дозволяє зменшити зовнішній діаметр підшипника. Наявність конічного отвору на внутрішньому кільці забезпечує при його осьовому переміщенні відносно конічної шийки шпинделя регулювання радіального зазору та створення попереднього натягу. Такі підшипники застосовують у шпиндельних вузлах, призначених для роботи з великими радіальними навантаженнями при середніх частотах обертання. Їх параметр швидкохідності $d_m n_{max} \leq 3 \cdot 10^5$ мм·хв⁻¹, діапазон регулювання частоти обертання не перевищує 500.

Конічні роликпідшипники застосовують у опорах, що працюють з відносно невеликими частотами обертання та сприймають значні комбіновані навантаження. Через великі втрати на тертя їх параметр швидкохідності $d_m n_{max}$ звичайно не перевищує $3 \cdot 10^5$ мм·хв⁻¹, допустимий діапазон регулювання частоти обертання дорівнює 100.

Однорядні роликові конічні підшипники з буртом на зовнішньому кільці типу 67700Л призначені для сприйняття радіальних та осьових навантажень (таблиця 3.9). Від звичайних підшипників відрізняються наступними особливостями. Вони мають малий кут конуса доріжок кочення, завдяки чому знижується тиск роликів на борт внутрішнього кільця та підвищується радіальна жорсткість. На внутрішньому кільці відсутній малий борт, що дає можливість обробляти доріжку кочення з підвищеною точністю. Масивний сепаратор з кольорового металу центрується по внутрішньому кільцю. Параметр швидкохідності $d_m n_{max} = (3,9...4,2) \cdot 10^5$ мм·хв⁻¹. Такі підшипники звичайно встановлюють у передній опорі шпинделя.

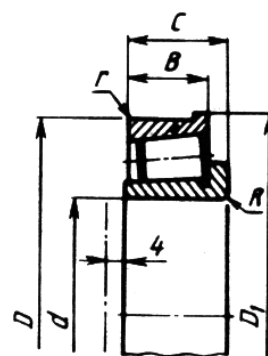
Однорядні роликові конічні підшипники з широким зовнішнім кільцем типу 17000 призначені для встановлення у задній опорі шпинделя (таблиця 3.10). Пружини, що вкладені у отвори зовнішнього кільця,

Таблиця 3.8 — Роликові радіальні дворядні підшипники з короткими циліндричними роликами серії 3182100К



Позначення підшипника	Розміри, мм			Вантажопідйомність, кН		Гранична частота обертання (хв. ⁻¹) при змащенні	
	d	D	B	динамічна	статична	пластичним мастилом	масляним туманом
3182110К	50	80	23	45	36,5	7500	9000
3182111К	55	90	26	60	49	6700	8000
3182112К	60	95	26	63	54	6300	7500
3182113К	65	100	26	64	57	6000	7000
3181114К	70	110	30	81,5	73,5	5300	6300
3182115К	75	115	30	83	73,5	5000	6000
3182116К	80	125	34	102	93	4800	5600
3182117К	85	130	34	106	100	4500	5300
3182118К	90	140	37	122	114	4300	5000
3182119К	95	145	37	125	120	4000	4800
3182120К	100	150	37	132	129	3800	4500
3182121К	105	160	41	170	160	3600	4300
3182122К	110	170	45	196	190	3400	4000
3182124К	120	180	46	204	204	3200	3800
3182126К	130	200	52	255	250	2800	3200
3182128К	140	210	53	265	270	2600	3200
3182130К	150	225	56	290	300	2400	3000
3182132К	160	240	60	325	335	2200	2800
3182134К	170	260	67	400	425	2000	2600
3182136К	180	280	74	500	530	1900	2400
3182138К	190	290	75	530	570	1900	2400
3182140К	200	310	82	585	620	1800	2200
3182144К	220	340	90	735	780	1700	2000
3182148К	240	360	92	765	850	1500	1800
3182152К	260	400	104	930	1020	1300	1600

Таблиця 3.9 — Роликові однорядні конічні підшипники з буртом на зовнішньому кільці типу 67700Л

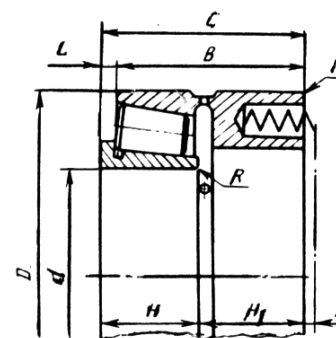


Позначення підшипника	Розміри, мм								Вантажопідйомність, кН		Гранична частота обертання, хв ⁻¹
	d	D	C	B	H	D ₁	r	R	динамічна	статична	
67712Л	60	100	25,4	19,84	26,5	104,5	0,8	2	65,9	57,3	5300
67920Л	98,425	152,4	38,1	30	42	159,5	1	2,5	158,5	158,3	3300
67738Л	190	260	45,5	36	49	273	0,5	3	268,8	329,6	1850
67838Л	190	290	51	40	52	304	1,2	3,5	330,4	362,6	1600
67744Л	220	300	51,5	41	56	314	0,8	3,5	325,5	433,8	1500
67844Л	220	340	76,5	62	81	357	0,8	4	642,9	753,9	1400
67848Л	240	320	51,5	41	56	334	0,8	3,5	345,7	470,6	1350
67852Л	260	360	64,5	52	67	377	0,8	3,5	525,6	685,6	1300
67856Л	280	420	87,7	71	93	437	1	5	912,3	1134	1100

забезпечують постійний попередній натяг підшипника. Завдяки великій ширині зовнішнього кільця знижується його перекіс у корпусі.

Дворядні роликові конічні підшипники з буртом на зовнішньому кільці типу 697000 сприймають радіальне та осьове навантаження (таблиця 3.11). Завдяки більш жорстким вимогам до точності форми робочих поверхонь і тому, що у передньому ряду на один ролик більше, ніж у задньому, значно знижується рівень вібрацій та покращується стабільність положення його осі. За допомогою проміжного кільця у підшипнику створюється заданий натяг або зазор, завдяки чому відпадає необхідність у регулюванні підшипників при монтажі шпиндельного вузла. Бурт на зовнішньому кільці дозволяє використовувати при складанні зручну базу — торець шпиндельної бабки (рисунок 3.8,б). При такій конструкції вузла шпиндельна опора стає більш компактною. Параметр швидкохідності підшипника $d_m n_{\max} = (3,9 \dots 4,2) \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}$.

Таблиця 3.10 — Роликові однорядні конічні підшипники з широким зовнішнім кільцем типу 17000



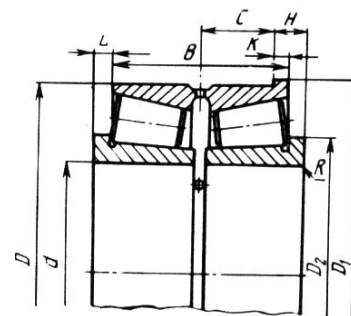
Позначення підшипника	Розміри, мм									Вантажопідйомність, Н		Гранична частота обертання, хв ⁻¹
	d	D	C	B	H	L	r	R	H ₁	динамічна	статична	
17810Л	50	90	57	51	29	6	0,8	2	28	60800	50900	5700
17812Л	60	110	67	60,6	33	6,4	0.8	2.5	33.7	85500	75700	4800
17814Л	70	120	65,4	59,88	32	5.56	0.8	2,5	33,4	97800	78000	4400
17716Л	80	140	77	69,14	38.5	7,93	0,8	3	38,5	125100	120000	3800

Радіально-упорні шарикопідшипники застосовують при малому та середньому навантаженні на шпиндель і високій частоті обертання (наприклад, для внутрішньошліфувальних шпинделів).

Радіально-упорні шарикові високошвидкісні підшипники мають кути контакту 12, 15, 18 або 25° та відрізняються високою точністю виготовлення. Підшипники поставляють у поодинокому виконанні (таблиці 3.12 — 3.15) або комплектами, що складаються з двох, трьох або чотирьох підшипників. Радіально-упорні шарикові підшипники універсального виконання типу 36000КУ та 46000КУ, які відрізняються способом центрування сепаратора (по зовнішньому кільцю та по внутрішньому кільцю, відповідно), можуть встановлюватись у шпиндельні опори по два за схемами дуплекс О-подібна (рисунок 3.3,а), дуплекс Х-подібна (рисунок 3.3,б), дуплекс-тандем (рисунок 3.3, в), або по три за схемою триплекс-тандем О-подібна (рисунок 3.3,г). Опори шпинделів працюють з легким, середнім або важким попереднім натягом. Орієнтовні значення натягу наведені у таблиці 3.14. Натяг забезпечується при виготовленні комплекту підшипників. Спосіб встановлення підшипників та попередній натяг суттєво впливають на їх працездатність (таблиця 3.16).

Упорно-радіальні здвоєні шарикові підшипники з кутом контакту 60° призначені для сприйняття тільки осьового навантаження. До складу підшипників типу 178800Л входять два тугих внутрішніх кільця, вільне зовнішнє кільце, проставочне внутрішнє кільце, тіла кочення, два масивних сепаратора (таблиця 3.18). ширина проставочного кільця обумовлює величину попереднього натягу, завдяки якому відпадає

Таблиця 3.11 — Роликові дворядні конічні підшипники з буртом на зовнішньому кільці типу 697000Л

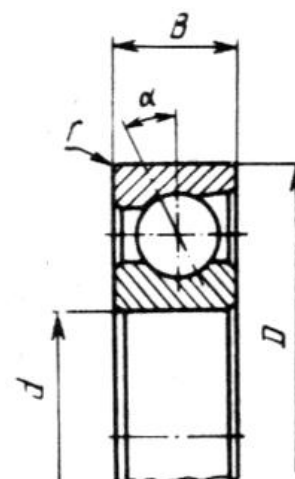


Позначення підшипника	Розміри, мм								
	d	D	B	C	L	H	D ₁	D ₂	R
697712Л	60	110	47	18,9	5,5	4,5	114,5	72	2
697812Л	60	110	60,6	25,4	6,4	5	115	75	2,5
697912Л	60	95	46,4	18,7	4,3	4,5	100		2
697815Л	75	130	60,5	24,7	6,25	5,5	136	92	2,5
697716Л	80	140	69,1	28,2	7,95	6	147	100	3
697920Л	100	152	75,8	30,9	8,1	7	159,6	114	2,5
697732Л	160	240	92	38	18	8	248		3,5
697838Л	190	290	108	42	11	12	304		3,5
Позначення підшипника	Вантажопідйомність, кН					Гранична частота обертання, хв ⁻¹			
	динамічна		статична						
697712Л	122,8		114,7			5100			
697812Л	145,7		151,5			4800			
697912Л	95,2		107,5			5200			
697815Л	218,3		237,9			4100			
697716Л	223		252,7			3800			
697920Л	271,8		316,6			3300			
697732Л	450,1		619			2000			
697838Л	566,5		725,2			1850			

необхідність у регулюванні натягу під час монтажу підшипників у шпindelному вузлі, підвищується стабільність натягу та довговічність підшипника.

Такі упорно-радіальні підшипники випускаються у двох виконаннях, що відрізняються діаметром отвору внутрішнього кільця. Це дозволяє ставити підшипники у опорі як зі сторони малого, так і зі сторони великого діаметра конічної посадочної шийки роликпідшипників з короткими циліндричними роликами (відповідно серії 178800 та 178900). Параметр швидкохідності підшипників $d_m n_{max} = (4...5) \cdot 10^5$ мм·хв⁻¹. Швидкохідність підшипників такого типу приблизно у 2...2,5 рази вище швидкохідності звичайних упорних підшипників. Діапазон регулювання частоти обертання досягає 1000. Упорно-радіальні здвоєні шарикові підшипники встановлюють у опорі разом із роликпідшипниками, що сприймають тільки радіальне навантаження. Точні, жорсткі, швидкохідні шпindelні

Таблиця 3.12 — Шарикові радіально-упорні високошвидкісні підшипники типу 36100К



Позначення підшипника	Розміри, мм			Вантажопідйомність, кН		Гранична частота обертання (хв. ⁻¹) при змащенні	
	d	D	B	Динамічна C	Статична C ₀	Пластичним матеріалом	Масляним туманом
36100К	10	26	8	3,9	2,2	56000	90000
36101К	12	28	8	4,25	2,45	50000	80000
36102К	15	32	9	4,9	3	45000	71 000
36103К	17	35	10	5,7	3,6	40000	63000
36104К	20	42	12	7,8	5,2	32000	50000
36105К	25	47	12	8,65	6,1	28 000	45000
36106К	30	55	13	11,2	8,3	24000	40000
36107К	35	62	14	12,9	9,8	20000	36000
36108К	40	68	15	13,7	11	19000	34000
36109К	45	75	16	18,3	15	17000	30000
36110К	50	80	16	19,3	16,6	15000	26000
36111К	55	90	18	27	23,2	13000	22000
36112К	60	95	18	27,5	24,5	12000	20000
36113К	65	100	18	28	25,5	12000	20000
36114К	70	110	20	36	33,5	10000	18000
36115К	75	115	20	37,5	34,5	10000	18000
36116К	80	125	22	46,5	44	9000	16000
36117К	85	130	22	47,5	46,5	8500	15000
36118К	90	140	24	56	55	7500	13000
36119К	95	143	24	57	57	7500	13000
36120К	100	150	24	58,5	60	7000	12000
36121К	105	160	26	68	69,5	6300	10500
36122К	110	170	28	80	81,5	6000	10000
36124К	120	180	28	81,5	86,5	5600	9000

Таблиця 3.13 — Шарикові радіально-упорні високошвидкісні підшипники типу 36200К

Позначення підшипника	Розміри, мм			Вантажопідйомність, кН		Гранична частота обертання (хв^{-1}) при змащенні	
	d	D	B	Динамічна C	Статична C₀	Пластичним матеріалом	Масляним туманом
36200К	10	30	9	5	3	50000	80000
36201К	12	32	10	5,5	3,35	45000	71000
36202К	15	35	11	6	3,75	40000	63000
36203К	15	35	11	6	3,75	40000	63000
36204К	20	47	14	10,2	6,8	30000	48000
36205К	25	52	15	11,4	8	26000	43000
36206К	30	62	16	16,3	12	22000	38000
36207К	35	72	17	20	15,3	19000	34000
36208К	40	80	18	27	20,4	17000	30000
36209К	45	85	19	32	25,5	15000	26000
36210К	50	90	20	35,5	28,5	14000	24000
36211К	55	100	21	41,5	34,5	12000	20 000
36212К	60	110	22	50	42,5	11000	19000
36213К	65	120	23	57	49	10000	18000
36214К	70	125	24	60	52	9500	17000
36215К	75	130	25	62	55	9000	16000
36216К	80	140	26	73,5	65,5	8000	14000
36217К	85	150	28	81,5	76,5	7500	13000
36218К	90	160	30	90	85	7000	12000
36219К	95	170	32	108	102	6300	10000
36220К	100	180	34	122	116	6000	9500
36221К	105	190	36	127	122	5600	9000
36222К	110	200	38	137	137	5300	8500
36224К	120	215	40	143	146	4800	7500

Таблиця 3.14 — Шарикові радіально-упорні високошвидкісні підшипники типу 46100У

Позначення підшипника	Розміри, мм				Вантажопідйомність, кН		Гранична частота обертання (хв ⁻¹) при змащенні	
	d	D	B	r	Динамічна C	Статична C₀	Пластичним матеріалом	Масляним туманом
46100У	10	26	8	0,5	3,65	2	48000	75000
46101У	12	28	8	0,5	4	2,28	43000	67000
46102У	15	32	9	0,5	4,55	2,75	38000	60000
46103У	17	35	10	0,5	5,30	3,35	34000	53000
46104У	20	42	12	1	7,35	4,8	28000	45000
46105У	25	47	12	1	8,15	5,6	24000	40000
46106У	30	55	13	1,5	10,4	7,65	20000	36000
46107У	35	62	14	1,5	12	9	18000	32000
46108У	40	68	15	1,5	12,7	10,2	16 000	28000
46109У	45	75	16	1,5	17	13,7	15000	26000
46110У	50	80	16	1,5	18	15,3	13000	22000
46111У	55	90	18	2	25	21,2	12000	20000
46112У	60	95	18	2	25,5	22,4	11000	19000
46113У	65	100	18	2	26	23,6	10000	18000
46114У	70	110	20	2	33,5	30,5	9000	16000
46115У	75	115	20	2	34,5	32	8500	15000
46116У	80	125	22	2	43	40,5	8000	14000
46117У	85	130	22	2	44	42,5	7500	13000
46118У	90	140	24	2,5	52	51	6700	11000
46119У	95	145	24	2,5	53	53	6300	10000
46120У	100	150	24	2,5	55	56	6000	9500
46121У	105	160	26	3	63	64	5600	9000
46122У	110	170	28	3	73,5	75	5300	8500
46124У	120	180	28	3	75	80	4800	7500
46126У	130	200	33	3	95	102	4300	6700
46128У	140	210	33	3	98	108	3800	6000
46130У	150	225	35	3,5	110	125	3400	5300
46132У	160	240	38	3,5	125	140	3200	5000

Таблиця 3.15 — Шарикові радіально-упорні високошвидкісні підшипники типу 46200

Позначення підшипника	Розміри, мм			Вантажопідйомність, кН		Гранична частота обертання (хв. ⁻¹) при змащенні	
	d	D	B	Динамічна C	Статична C₀	Пластич- ним ма-	Масляним туманом
46200	10	30	9	4,8	2,75	43000	67000
46201	12	32	10	5,2	3,1	40000	63000
46202	15	35	11	5,7	3,45	36000	56000
46203	17	40	12	6,95	4,4	30000	48000
46204	20	47	14	9,5	6,2	26000	43000
46205	25	52	15	10,6	7,35	22000	38000
46206	30	62	16	16,0	11,8	22000	38000
46207	35	72	17	18,6	14	16000	28000
46208	40	80	18	25,5	19	15 000	26000
46209	45	85	19	30	23,2	13000	22000
46210	50	90	20	32,5	26,5	12000	20000
46211	55	100	21	39	32	11000	19000
46212	60	110	22	46,5	39	9500	17000
46213	65	120	23	53	45	9000	16000
46214	70	125	24	56	47,5	8500	15000
46215	75	130	25	58,5	51	8000	14000
46216	80	140	26	68	60	7500	13000
46217	85	150	28	76,5	69,5	7000	12000
46218	90	160	30	85	78	6300	10500
46219	95	170	32	102	95	5600	9000
46220	100	180	34	114	108	5300	8500
46221	105	190	36	120	114	4800	7500
46222	110	200	38	129	127	4500	7000
46224	120	215	40	132	134	4000	6300
46226	130	230	40	156	170	3600	5600
46228	140	250	42	162	180	3200	5000
46230	150	270	45	173	200	3000	4800
46232	160	290	48	186	224	2600	4300

**Таблиця 3.16 — Попередній натяг шарикових
радіально-упорних підшипників, Н**

Номіналь- ний діаметр отвору, мм	Серія підшипників							
	36100		36200		46100		46200	
	Натяг							
	легкий	серед- ній	легкий	серед- ній	легкий	серед- ній	легкий	серед- ній
10	20	60	30	90	30	90	55	160
12	25	75	35	105	35	105	60	180
15	25	75	40	120	40	120	70	210
17	30	90	50	150	50	150	90	270
20	45	135	65	200	75	220	110	330
25	50	150	80	240	80	240	130	390
30	80	240	115	350	130	390	190	570
35	90	270	130	390	150	450	210	630
40	100	300	180	540	160	480	290	870
45	120	360	200	600	200	600	320	960
50	130	390	230	690	210	630	360	1080
55	170	510	270	810	300	900	440	1320
60	180	540	320	960	310	930	510	1530
65	190	570	360	1080	320	960	590	1770
70	240	720	380	1140	390	1070	610	1830
75	240	720	400	1200	400	1200	640	1920
80	300	900	460	1380	490	1470	740	2220
85	310	930	520	1560	510	1530	850	2550
90	360	1080	620	1860	580	1740	1020	3060
95	400	1200	660	1980	640	1920	1100	3300
100	410	1230	790	2370	650	1950	1270	3810
105	450	1350	820	2460	730	2190	1350	4050
110	530	1590	860	2580	860	2580	1410	4230
120	550	1650	900	2700	890	2670	1450	4350
130	—	—	—	—	1140	3420	1700	5100
140	—	—	—	—	1150	3450	1800	5400
150	—	—	—	—	1320	3960	1900	5700
160	—	—	—	—	1450	4350	2000	6000

**Таблиця 3.17 — Коефіцієнти зміни показників працездатності
радіально-упорних шарикових підшипників**

Схема встановлення підшипників у опорі	Коефіцієнт зміни ширини опори	Коефіцієнт зміни статичної та динамічної вантажопідйомності	Коефіцієнт зміни граничної частоти обертання при існуванні натягу		
			легкого	середнього	важкого
По одному в опорі	1	1	1	0,8	0,5
По два в опорі за схемою дуплекс 0-подібна	2	1,62	0,8	0,65	0,4
По два в опорі за схемою дуплекс Х-подібна	2	1,62	1	0,8	0,5
По три в опорі за схемою триплекстандем 0-подібна	3	2,15	0,8	0,5	0,3

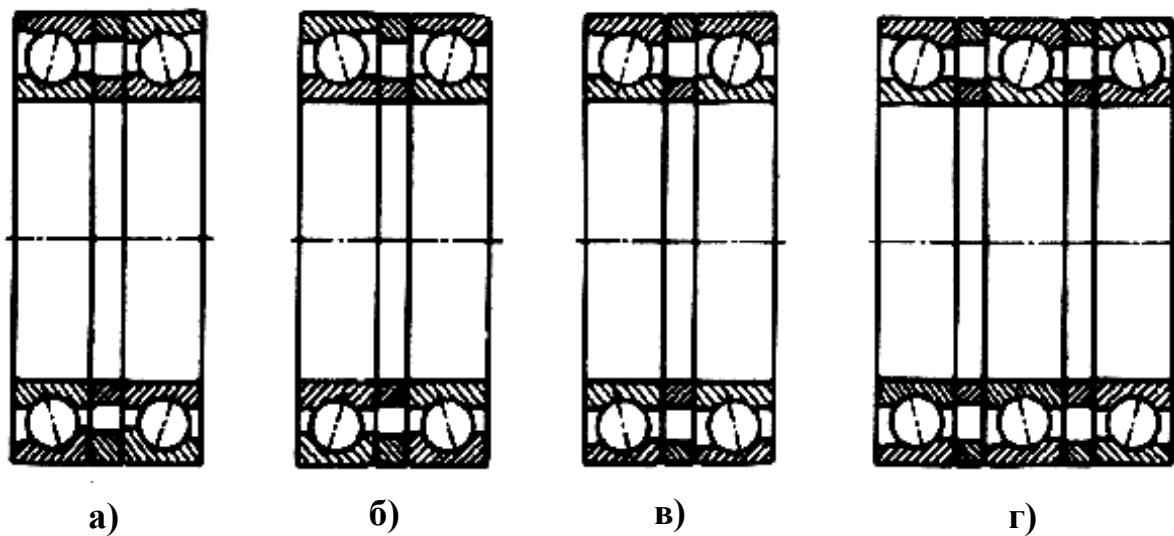
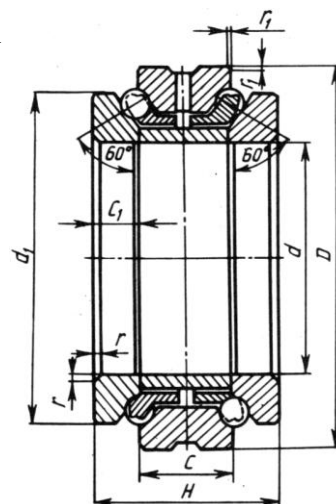


Рисунок 3.3 — Компонування опор шпинделя з радіально-упорних підшипників

Таблиця 3.18 — Шарикові упорно-радіальні дворядні підшипники с кутом контакту 60° типу 178000 (за ГОСТ 20821-75)

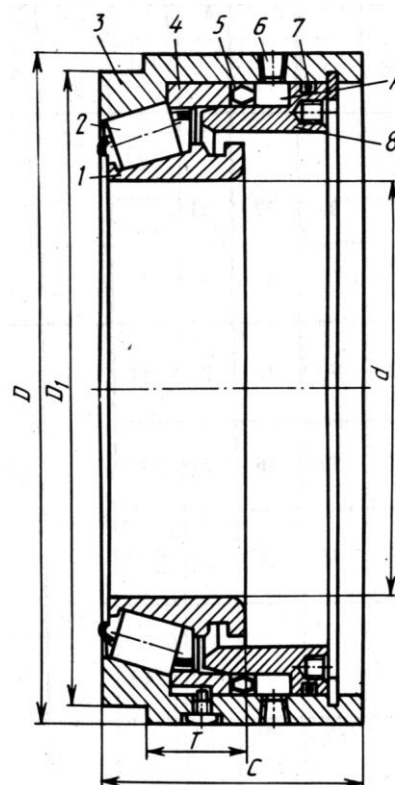


Позначення підшипників	Розміри, мм								Вантажопідйомність, Н	
	d	D	H	C	C ₁	d ₁	r	r ₁	Динамічна, C	Статична, C ₀
1	2	3	4	5	6	1	8	9	10	11
178808	40	68	36	18	9	58,5	1,5	0,3	20 800	33 500
178908	42	68	36	18	9	58,5				
178809	45	75	38	19	9,5	65				
178909	47	75				65				
178810	50	80	44	22	11	70				
178910	52	80				70				
178811	55	90				78				
178911	57	90				78				
178812	60	95	48	24	12	83				
178912	62	95				83				
178813	65	100	54	27	13,5	88				
178913	67	100				88				
178814	70	110				97				
178914	73	110				97				
178815	75	115	54	27	13,5	102				
178915	78	115				102				
178816	80	125	54	27	13,5	110				
178916	83	125				110				
178817	85	130	54	27	13,5	115				
178917	88	130				115				

Продовження таблиці 3.18

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
178818		90	140	60	30	15	123	2,5	0,5	61000	125 000			
	178918	93	140	60	30	15	123			61 000	129000			
178819		95	145	60	30	15	128			62000	134000			
	178919	98												
178820		100	150	60	30	15	133	3	0,8	69500	150000			
	178920	103								69500	150000			
178821		105	160	66	33	16,5	142	3	0,8	90000	193000			
	78921	109								93 000	208 000			
178822		110	170	72	36	18	150			118000	260000			
	178922	114								160	122 000	280 000		
178824		120	180	84	42	21	177	3,5	1	132000	310000			
	178924	124										187	156000	360000
178826		130	200										193000	450000
	178926	135						216000	500000					
178828		140	210	112	66	330	248	3,5	1	224000	540000			
	178928	145										258	265000	620000
178830		150	225	90	45	22,5	200							
	178930	155												
178832		160	240	96	48	24	212	3,5	1	216000	500000			
	178932	165								224000	540000			
178834		170	260	108	54	27	230			265000	620000			
	178934	176												
178836		180	280	112	66	330	248	3,5	1	216000	500000			
	178936	187										258	224000	540000
178838		190	290	132	66	33	274							
	178938	197												
178840		200	310	132	66	33	274	3,5	1	265000	620000			
	178940	207												

Таблиця 3.19 — Конічні роликові підшипники типу 117000



Позначення підшипника	Розміри, мм					Частота обертання при змащенні рідким маслом, хв. ⁻¹
	d	D	D ₁	T	C	
117710	50	104	103,5	31	63	8400
117712	60	120	128	30	64	7000
117714	70	130	138	30	64	6000
117716	80	140	148	30	66	5250
117718	90	150	158	30	66	4700
117720	100	170	178	27	70	4200
117722	110	170	178	27	70	3800
117724	120	180	190	26	70	3500
117726	130	190	200	29	72	3200
117728	140	205	213	27	72	3000
117732	160	227	235	30	76	2600

опори такої конструкції застосовують у токарних, фрезерувальних, розточувальних та інших верстатах (рисунок 3.16 – 3.18).

Упорні шарикопідшипники сприймають лише осьове навантаження. Для підвищення стабільності попереднього натягу, збереження його у обох підшипниках при великих навантаженнях,

зменшення вірогідності пошкодження доріжок кочення внаслідок дії відцентрового та гіроскопічного ефектів підшипники часто монтують разом із пружинами.

Роликові підшипники з керованим натягом типу 117000 призначені для шпindelних вузлів, що працюють у широкому діапазоні частот обертання при підвищених вимогах до жорсткості шпindelного вузла (таблиця 3.19). У таких підшипниках забезпечується незалежність натягу від зовнішніх впливів, а також можна забезпечити керування натягом від системи керування верстатом в залежності від умов роботи шпинделя та вимог щодо його жорсткості. У таких випадках значно підвищується довговічність підшипника. Робота системи керування натягом такого підшипника полягає у такому. Між внутрішнім 1 та зовнішнім 3 кільцями розташовано кільце 8 з ущільненнями 5 та 7. У замкнену порожнину А через отвір 6 підводиться під тиском масло. Тиск його автоматично змінюється у відповідності до навантаження на шпindel, яке залежить від сил різання. Підвищення тиску масла викликає зміщення кільця 4 вліво та зростання сили, з якою воно діє на ролики 2, тобто збільшується натяг у підшипнику.

3.5 Способи змащення опор рідинним матеріалом

Вибір змащувального матеріалу. Рідкі змащувальні масла добре відводять тепло від шпindelних опор, виносять з підшипників продукти зносу, роблять непотрібним періодичний нагляд за підшипниками. В'язкість масла вибирають із врахуванням частоти обертання шпинделя, допустимої температури опор та її впливу на в'язкість масла.

Систему змащення рідким матеріалом вибирають виходячи із забезпечення заданої швидкохідності шпинделя та враховуючи його положення у просторі (горизонтальне, вертикальне чи похиле), умов підведення масла, конструкції ущільнень. Рекомендації щодо застосування різних систем змащення за параметром швидкохідності та застосованих підшипників наведені у таблиці 3.20.

В залежності від здатності відводити тепло з опор системи змащення поділяють на два типи: з відведенням тепла — системи рясного змащення, без відведення тепла — системи мінімального змащення.

Системи рясного змащення. Рясне змащення забезпечується циркуляційною системою, уприскуванням, поливанням опор струменем масла.

Циркуляційне змащення здійснюється автономною системою, призначеною тільки для шпindelного вузла, або системою, загальною для шпинделя та коробки швидкостей. Приклади конструктивного виконання передньої опори шпинделя з таким змащенням наведені на рисунку 3.4. Масло подається до зовнішнього кільця упорно-радіального підшипника типу 178000 і потрапляє по отворах до тіл кочення. Витікати

Таблиця 3.20 — Параметр граничної швидкості шпindelного вузла для різних систем змащення

Тип опор шпindelя	Система змащення	Параметр швидкості, dn , мм·хв ⁻¹
Радіально-упорні шарикопідшипники з кутом контакту 12...18°	Масляним туманом Масляноповітряна Мінімальна імпульсна рідинна Уприскуванням з охолодженням масла*	(8...10)·10 ⁵ (8...10)·10 ⁵ (8...10)·10 ⁵ (10...20)·10 ⁵
Всі інші типи підшипників	Циркуляційна без охолодження Масляним туманом Масляноповітряна Мінімальна імпульсна рідинна Уприскуванням з охолодженням масла	(2...2,5)·10 ⁵ (3...5)·10 ⁵ (3...5)·10 ⁵ (3...5)·10 ⁵ (5...6)·10 ⁵

* Більші значення для випадків встановлення по одному радіально-упорному підшипнику у опорі.

маслу у порожнину шпindelної бабки не дозволяє захисне кільце, тому масло через зазори між шариками потрапляє до радіального дворядного роликового підшипника, а потім по отвору у стінці стікає у корпус бабки (рисунок 3.4,а). В іншій конструкції масло подається у карман корпусу над опорою, з якого стікає по отвору до підшипників (рисунок 3.4,б). Щоб забезпечити надійне попадання змащувального матеріалу на робочі поверхні підшипників, масло підводять у зону всмоктування, тобто до малого діаметра доріжок кочення радіально-упорних шарикових та роликових підшипників, яким властивий насосний ефект. Якщо опора має два підшипники, встановлені поруч, доцільно подавати масло між ними (рисунок 3.4,в). При вертикальному розташуванні шпindelя масло підводять до крайнього верхнього підшипника. Передбачають вільний злив масла з опори, завдяки чому відсутній його застій та покращується відведення тепла від опори. Перед подачею масла у підшипники воно охолоджується у резервуарі або за допомогою спеціального холодильника. Із збільшенням частоти обертання шпindelя різниця між кількістю тепла, що виділяється у опорі та відводиться від неї, збільшується, оскільки через великий гідравлічний опір підшипника неможливо прокачати достатню кількість масла. Наприклад, дворядні роликопідшипники крім власного великого гідравлічного опору, перемішують надто великий об'єм масла і таким чином додатково його нагрівають, що веде до підвищення температури опори.

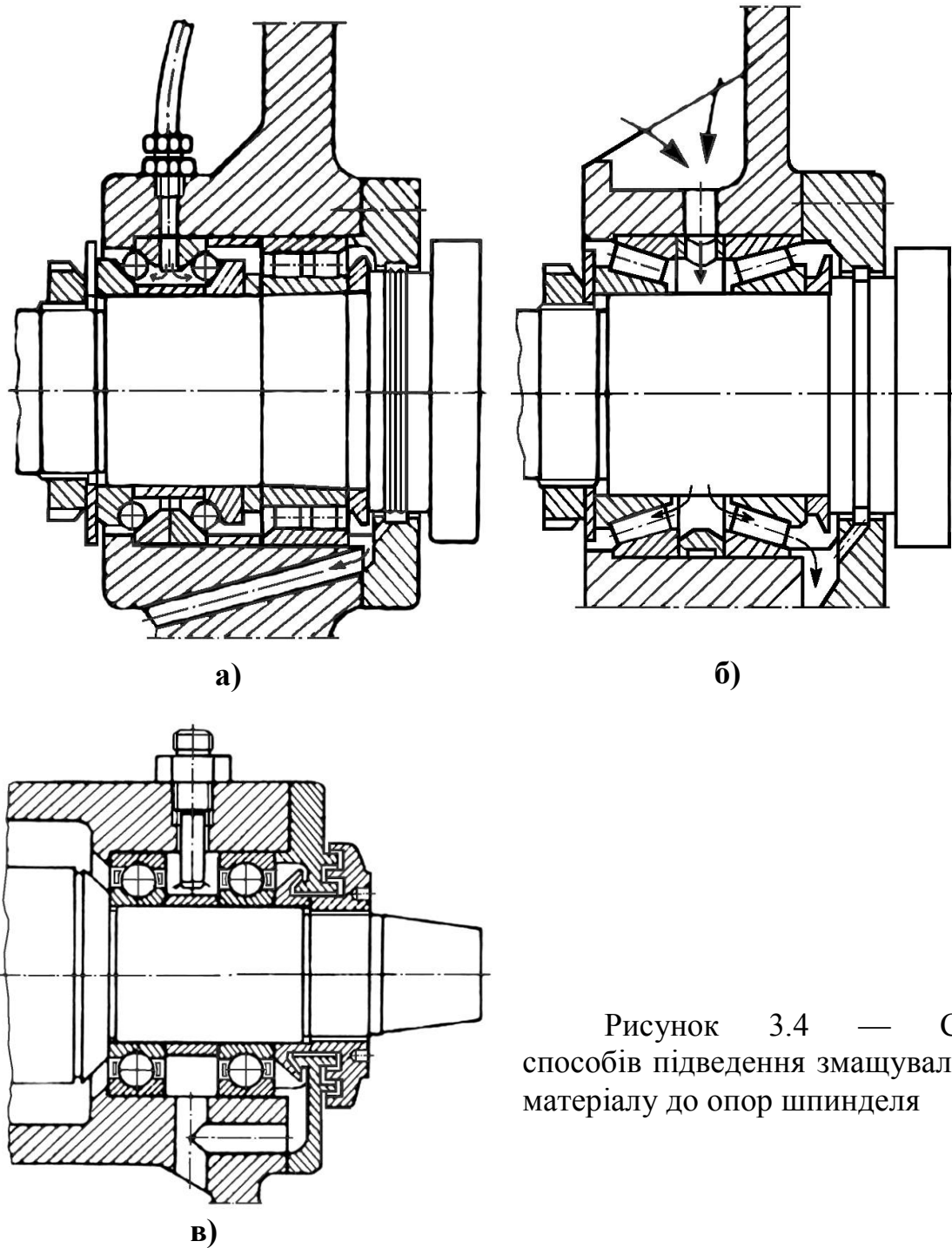


Рисунок 3.4 — Схеми способів підведення змащувального матеріалу до опор шпинделя

Мінімально допустима подача масла для змащення шпиндельних опор можна визначити за формулою, см³/хв.:

$$Q = 0,66d_m^2 n^{0,5} i v^{-1} k_1 k_2 k_3 k_4,$$

де d_m — середній діаметр підшипника, мм;

n — частота обертання шпинделя, хв.⁻¹;

i — число рядів тіл кочення;

v — в'язкість масла при робочій температурі опори, м²/с;

k_1 — коефіцієнт, що характеризує тип підшипника (для шарико-підшипників $k_1 = 1$, для роликотпідшипників $k_1 = 2$);

k_2 — коефіцієнт, що характеризує умови навантаження (при легкому навантаженні без попереднього натягу $k_2 = 1$, при важкому навантаженні з попереднім натягом $k_2 = 2$);

k_3 — коефіцієнт, що характеризує умови виходу масла з робочої зони підшипника (при вільному виході з конічних, упорних та упорно-радіальних $k_3 = 2$, при вільному виході з радіальних підшипників $k_3 = 1$);

k_4 — коефіцієнт, що залежить від робочої температури підшипника (при температурі 70° — $k_4 = 1$, при 50° — $k_4 = 1,5$, при 40° — $k_4 = 2$).

Прокачування через опору шпинделя значного об'єму масла не тільки забезпечує надійне змащення, але і відводить тепло від опори, тобто створюється режим "охолоджувального" змащення. Подачу масла при такому режимі призначають в залежності від типу підшипника, частоти його обертання та в'язкості масла. Для конічних роликотпідшипників — $Q = (5...10)d$. Для радіально-упорних підшипників при $d < 50$ мм $Q = 500...1500$ см³/хв., при $d > 120$ мм $Q > 2500$ см³/хв. Для змащення упорно-радіальних підшипників при $d = 30...80$ мм $Q = 100...1000$ см³/хв., при $d = 80...180$ мм $Q = 500...5000$ см³/хв., при $d > 180$ мм $Q = 2000...10000$ см³/хв.

Змащення уприскуванням здійснюється спеціальною системою. Через 3-4 отвори у кільці підшипника або через канали у проставочному кільці та зазор між сепаратором та внутрішнім кільцем підшипника масло під тиском до 0,4 МПа потрапляє на доріжки кочення. При цьому подача масла порівняно з циркуляційною системою збільшується, а температура підшипника знижується. Масло з опори може витікати само або видаляється за допомогою насоса. Необхідна подача масла через опору при номінальному діаметрі отвору підшипника до 50 мм, 50...120 мм та більше 120 мм повинна складати відповідно 500...1500, 1100...2400 та більше 2500 см³/хв.

Системи мінімального змащення. Крапельна та гнотова системи, змащення масляним туманом забезпечують у внутрішній порожнині опори необхідний мінімальний об'єм змашувального матеріалу достатній тільки для розділення робочих поверхонь опори еластогідродинамічною плівкою.

Крапельна система забезпечує подачу у підшипник невеликого об'єму масла (від 0,02 до 2 см³/хв.).

Гнотова система також слугує для подачі у шпиндельну опору невеликого об'єму масла. Воно надходить з резервуару по гніту. Через неможливість точного регулювання подачі масло може накопичуватись у опорі.

Змащення масляним туманом, який утворюється за допомогою маслорозпилювача, сприяє виділенню у опорах мінімальної кількості тепла. Вони добре охолоджуються стисненим повітрям і завдяки його надмірному тиску захищені від потрапляння пилу. Однак така система

досить складна, а проникаючі через ущільнення частинки масла погіршують санітарні умови біля верстата. Потрібну подачу змащувального матеріалу визначають за виразом ($\text{см}^3/\text{хв.}$):

$$Q = Q_0 k_1 k_2 k_3 ,$$

де Q_0 — мінімально допустима подача масла за сприятливих умов:

для шарикопідшипників $Q_0 = 0,02 \text{ см}^3/\text{хв.}$;

для циліндричних роликотпідшипників $Q_0 = 0,04 \text{ см}^3/\text{хв.}$;

k_1 — коефіцієнт, що враховує частоту обертання та розмір підшипника:
при $nd^{1,5} < 10^5$ $k_1 = 1$, при $nd^{1,5} = 10^5 \dots 10^6$ $k_1 = 2$, при $nd^{1,5} > 10^6$
 $k_1 = 4$;

k_2 — коефіцієнт запасу змащувального матеріалу у корпусі опори:
 $k_2 = 1$ — при достатньому запасі, що забезпечується змащувальною ванною; $k_2 = 2$ — при незначному запасі; $k_2 = 4$ — при відсутності запасу, коли масло вільно витікає з опори;

k_3 — коефіцієнт, що залежить від допустимої температури опори:
 $k_3 = 1$ при температурі опори $t = 70^\circ\text{C}$; $k_3 = 2$ при $t = 70 \dots 100^\circ\text{C}$;
 $k_3 = 4$ при $t = 100 \dots 130^\circ\text{C}$.

Масляноповітряне змащення здійснюється таким чином. Плуажерний дозатор, встановлений у точці змащування, через певні інтервали часу видає у змішувач заданий об'єм масла. Там воно захоплюється охолодженим повітрям, що подається під тиском $0,2 \dots 0,4$ МПа, і у вигляді крапель, а не туману, підводиться до опори. Об'єм масла, що підводиться до шпindelної опори, визначається подачею повітря і не залежить від його тиску та в'язкості масла. Такий метод відрізняється від змащення масляним туманом тим, що дозволяє підвищити подачу масла до кожної опори з метою їх додаткового охолодження та захисту від забруднень. Масляноповітряне змащення не забруднює навколишнє середовище мікротуманом і рекомендується для швидкохідних шпindelних вузлів.

3.6 Способи змащення підшипників кочення пластичним матеріалом

Пластичні змащувальні матеріали застосовують у тих випадках, коли спеціальне охолодження опор непотрібне, наприклад при змащенні радіально-упорних шарикопідшипників з кутом контакту $12 \dots 18^\circ$ при $dn = (5 \dots 6) \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}$, інших опор при $dn = (3 \dots 3,5) \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}$.

Пластичний змащувальний матеріал доцільно застосовувати у автономних шпindelних вузлах, що не мають зубчастих передач, які звичайно змащуються рідким маслом, а також у шпindelних вузлах, розташованих вертикально чи похило, при цьому їх ущільнення будуть більш простими.