



Министерство образования  
Республики Беларусь

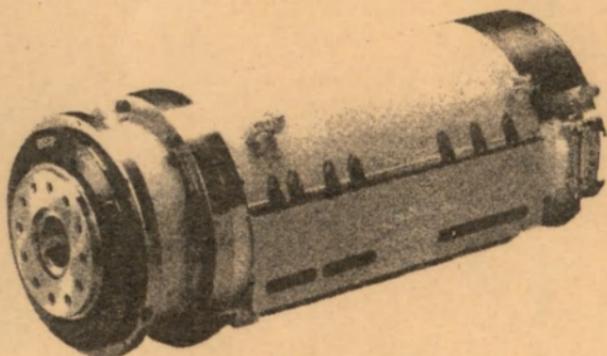
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

А.И. Кочергин  
Т.В. Василенко

# ШПИНДЕЛЬНЫЕ УЗЛЫ С ОПОРАМИ КАЧЕНИЯ



Минск 2007

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

А.И. Кочергин  
Т.В. Василенко

## ШПИНДЕЛЬНЫЕ УЗЛЫ С ОПОРАМИ КАЧЕНИЯ

Учебно-методическое пособие  
по курсовому проектированию металлорежущих станков  
для студентов машиностроительных специальностей

Минск 2007

УДК 621.9.06-233.001.24

ББК 34.63-5я73

К 75

Рецензенты:

**А.Ф. Присевок** – доктор технических наук  
профессор кафедры «Технология машиностроения»  
Белорусского национального технического университета;  
**Н.П. Кашляк** – заместитель директора  
СКБ АЛ Минского завода автоматических линий

**Кочергин, А.И.**

К 75

Шпиндельные узлы с опорами качения: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию металлорежущих станков для студентов машиностроительных специальностей / А.И. Кочергин, Т.В. Василенко. – Мн.: БНТУ, 2007. – 124 с.

ISBN 978-985-479-437-2.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов машиностроительных специальностей, выполняющих курсовой проект по металлорежущим станкам.

В пособии описаны конструктивные элементы, компоновки и примеры конструкций шпиндельных узлов с опорами качения.

УДК 621.9.06-233.001.24

ББК 34.63-5я73

ISBN 978-985-479-437-7

© Кочергин А.И.,  
Василенко Т.В., 2007  
© БНТУ, 2007

## О г л а в л е н и е

Введение. . . . .	4
1. Концы шпинделей. . . . .	5
1.1. Концы шпинделей агрегатных станков. . . . .	5
1.2. Концы шпинделей станков с ЧПУ. . . . .	12
1.3. Концы шпинделей фланцевые типа А. . . . .	22
2. Подшипники качения шпиндельных узлов. . . . .	25
2.1. Общие сведения. . . . .	25
2.2. Шариковые радиально-упорные подшипники. . . . .	26
2.3. Роликовые радиально-упорные подшипники. . . . .	36
2.4. Двухрядные роликовые подшипники с короткими цилиндрическими роликами. . . . .	44
2.5. Упорно-радиальные сдвоенные шариковые подшипники с углом контакта $60^\circ$ . . . . .	47
3. Конструктивные элементы шпиндельных узлов. . . . .	50
3.1. Элементы крепления опор. . . . .	50
3.2. Устройства для смазывания подшипников. . . . .	63
3.3. Уплотнения опор. . . . .	68
4. Компоновки и конструкции шпиндельных узлов. . . . .	86
4.1. Принципы проектирования компоновок шпиндельных узлов. . . . .	86
4.2. Шпиндельные узлы с шариковыми радиально-упорными подшипниками в передней опоре. . . . .	86
4.3. Шпиндельные узлы с роликовыми радиально-упорными подшипниками в передней опоре. . . . .	102
4.4. Шпиндельные узлы с роликовым радиальным двухрядным подшипником в передней опоре. . . . .	106
4.5. Мотор-шпиндели. . . . .	112
4.6. Определение основных размеров шпинделя. . . . .	118
Рекомендуемая литература. . . . .	123

## Введение

Шпиндель служит для закрепления инструмента или приспособления с установленной в нем заготовкой. Его быстроходность, точность, жесткость, нагрузочная способность, динамические и тепловые характеристики оказывают существенное влияние на производительность, точность и надежность станка.

В состав шпиндельного узла входят шпиндель, приводной элемент, передняя и задняя опоры, элементы смазочной системы, уплотнения опор, механизм закрепления инструментов.

В данном пособии рассматривается начальный этап проектирования шпиндельных узлов токарных, фрезерных, расточных, зубообрабатывающих, агрегатных, шлифовальных и многоцелевых сверлильно-фрезерно-расточных станков.

На начальном этапе составляется задание на проектирование шпиндельного узла, формируется конструкция переднего конца шпинделя, обосновываются размеры конструкции, формируются опоры и их уплотнения, проектируются элементы смазочной системы, разрабатывается конструкция механизма закрепления инструмента.

На следующем этапе производится оптимизация конструкции шпиндельного узла по критериям динамического качества и теплостойкости.

В задание на проектирование шпиндельного узла входят следующие данные:

- тип, размер и класс точности станка;
- предпочтительный тип опор шпинделя;
- вид смазочного материала и метод смазывания опор;
- тип привода шпинделя и его расположение;
- мощность и момент на шпинделе;
- требования к шпиндельному узлу в отношении жесткости, точности, теплостойкости.

# 1. КОНЦЫ ШПИНДЕЛЕЙ

## 1.1. Концы шпинделей агрегатных станков

Агрегатный станок является специальным станком, состоящим в основном из унифицированных узлов. К ним относятся, в частности, узлы, сообщающие режущим инструментам вращательное движение. Это силовые головки и инструментальные бабки (расточные, фрезерные, сверлильные, подрезно-расточные, резьбонарезные). Режущие инструменты закрепляются в шпинделях, передний конец которых выполняется по государственному стандарту. Стандартными должны быть и передние концы шпинделей многошпиндельных коробок. Концы шпинделей узлов агрегатных станков выполняются по ГОСТ 13876-87 «Концы шпинделей агрегатных станков. Основные размеры».

Конструктивные формы и основные размеры передних концов шпинделей приведены на рис. 1.1–1.3 и в табл.1.1–1.3.

Размеры концов шпинделей под фрезерные оправки и фрезы, мм

Обозначение конуса в шпинделе	D	D <sub>1</sub> , поле допуска h5		D <sub>2</sub>	d	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	L	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	c	n	m, не менее	b	h	h <sub>1</sub>	v	W	
		Ряд 1	Ряд 2		Поле допуска			Не менее											
					H12	6H	7H												
30	31,75	69,832	70	54	17,4	M10	M6	73	16	9	8	8	12,5	15,9	25	-	0,03		
40	44,45	88,882	90	66,7	25,3	M12	M8	100	20				13		9,5				9,5
45	57,15	101,6	100	80	32,4	M16	M10	120	25	18	12,5	12,5	18	19	40	-	0,04	0,02	
		128,57	125	101,6									19		49				
50	69,85	128,57	125	101,6	39,6	M20	M12	140	30	18	12,5	12,5	25	25,4	61	-	0,04	0,3	
		152,4	150	120,6									38		73				22
		221,44	220	177,8									32		109				30
		335,0	-	265,0									36						
55	88,90	152,40	150	120,6		M20	M10	178	30				25	24,5	61	-		0,2	

Примечания:

1. Допускается изготавливать отверстия  $d_2$  и  $d_3$  сквозными.
2. На торце шпинделя допускаются отверстия, цековки и т.д.

Таблица 1.2

## Размеры концов шпинделей под расточные оправки, мм

$D$	$D_1$	$D_2$	$d_2$	$d_3$	$L$	$l_1$	$l_2$	$c$	$n$	$b$	$h$	$h_1$	$v$	$W$
Поле допуска			Поле допуска		Не менее									
$H6$	$h8$		$6H$	$7H$										
20	60	45	M6	M3	10	12	7	5	5	8	22,5		0,02	0,15
	70	52	M8	M4	12	15	8	6	6	10	26			
28	80	58	M10			18					9	8	8	15,9
32	90	66,7	M12	M6	15	21	9	8	8	15,9	33			
	100	75									38			
40	120	90	M16	M10	20	31	18	12,5	12,5	25,4	48			
	140	106									55			
60	160	126			25						44	22	0,04	

Размеры концов шпинделей под расточные оправки, мм

Условный номер типо- размера конца шпинделя	$D$		$D_1$ , поле допуска $h8$	$D_2$	$d$	$d_2$	$d_3$	$l$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$m$	$X$	$W$	$C$	$b$	$b_1$		
	Номин.	Пред. откл.			Поле допуска						Не менее									
					$H8$	$6H$	$7H$													
3	53,975	+0,008	92	70,6	-	M10	-	11	-	-	-	16	5	0,2	0,2	1,0	1,5	3		
4	63,513		108	82,6	14	M10	M6	11	5	15	20									
5	82,563	+0,01	133	104,8	16	M10		13			6	18							22	
6	106,375	+0,01	165	133,4	19	M12	M8	14	8	25										
8	139,719	+0,012	210	171,4	24	M16		16		6	10	28								
11	196,869	+0,014	280	235,0	28	M20	M10	18	8	12	20	35							1,6	
15	285,775	+0,016	380	330,2	35	M24	M12	19			25	42				0,3	0,3	2,5		

## Примечания:

1. На торцах шпинделя допускаются отверстия, цековки и т.д.
2. Допускается изготовлять отверстия  $d_2$  и  $d_3$  сквозными.

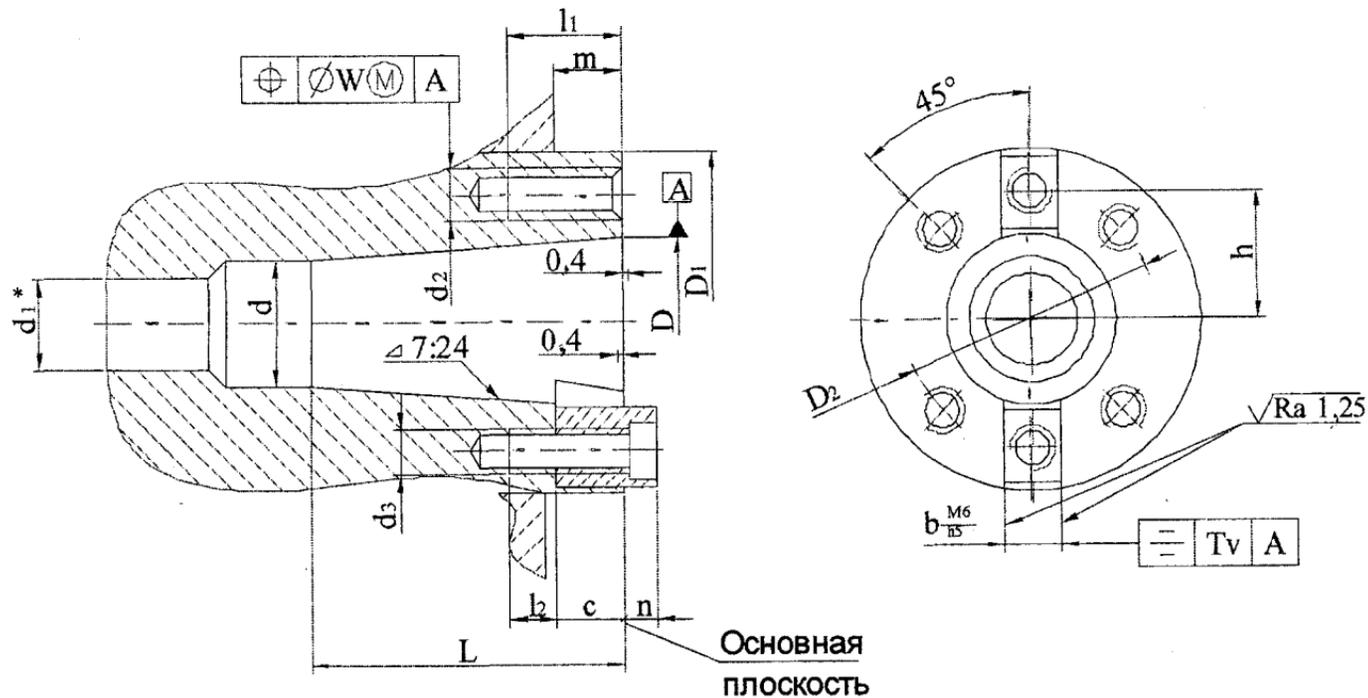


Рис. 1.1. Концы шпинделей под фрезерные оправки и фрезы

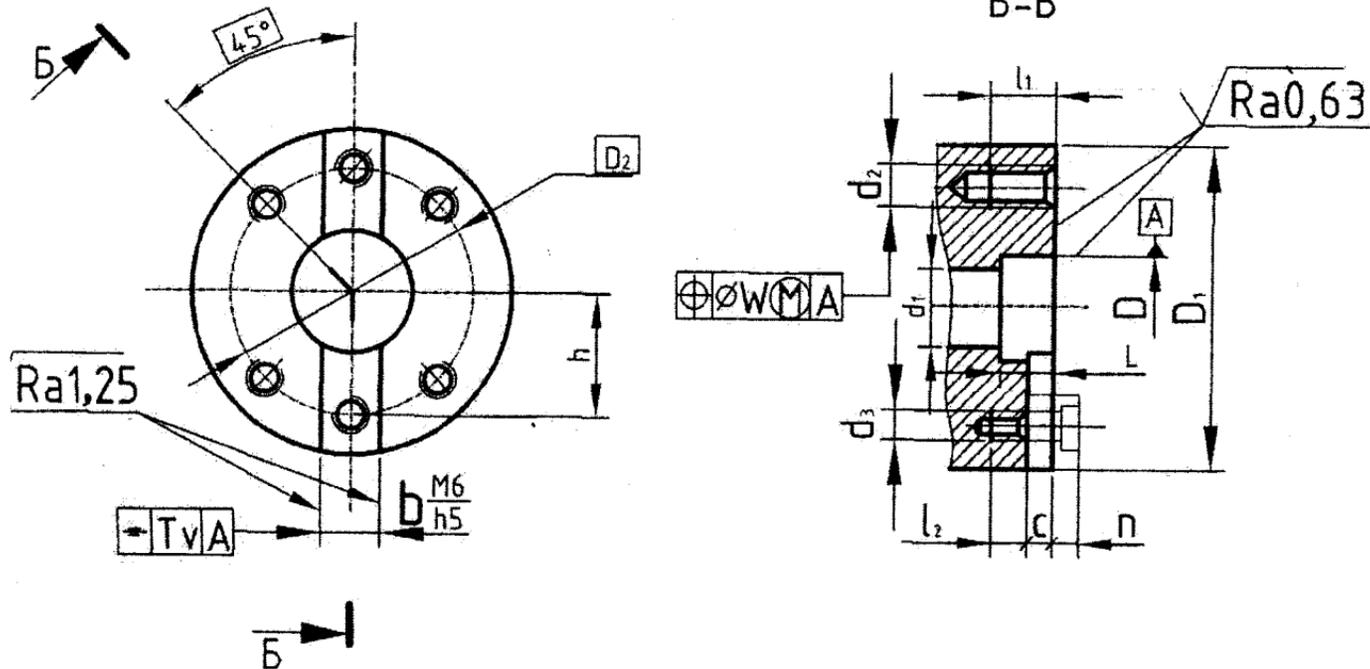


Рис. 1.2. Концы шпинделей под расточные оправки

Для условных типоразмеров конца шпинделя

N3

N4...11

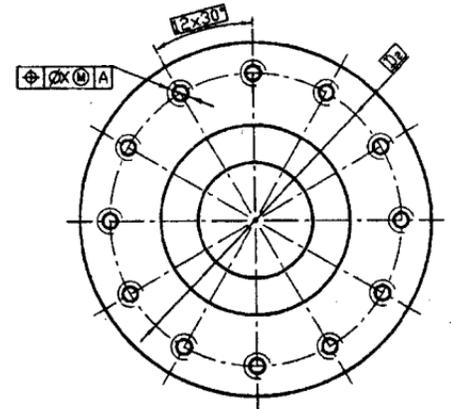
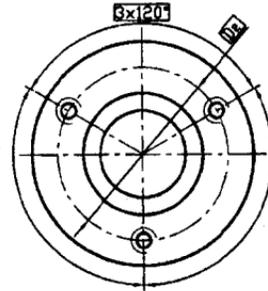
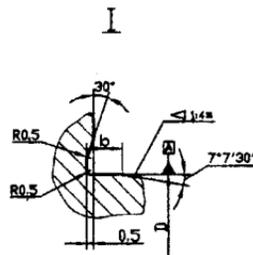
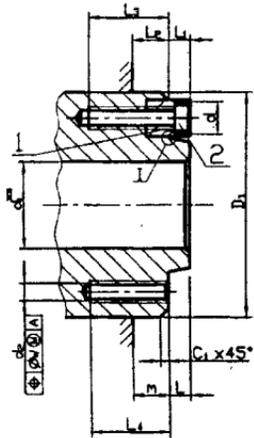


Рис. 1.3. Концы шпинделей под расточные оправки

## 1.2. Концы шпинделей станков с ЧПУ

Передний конец шпинделей многоцелевых сверлильно-фрезерно-расточных станков (с ЧПУ и системой автоматической смены инструментов) должен иметь конструкцию, которая позволяет автоматически закреплять инструменты и оправки с хвостовиком исполнения 2 по ГОСТ 25827-93 «Хвостовики с конусом 7:24». В хвостовике (рис. 1.4) имеются пазы 3 и 4, контактирующие с закрепленными на торце шпинделя призматическими шпонками, V-образная канавка 2 для захвата инструмента манипулятором; канавка 5, предназначенная для ориентации инструмента; резьбовое отверстие 1, в которое ввинчивают штырь с заплечиками, служащий для затягивания хвостовика в гнездо шпинделя. Размеры хвостовиков исполнения 2 приведены в табл. 1.4. Здесь размеры  $D^*_4$  и  $l^*_1$  определяют свободное пространство для захвата инструмента автооператором;  $B$  есть допускаемое торцовое биение поверхности Б относительно поверхности А. Допускаемый опрокидывающий момент оправки относительно V-образной канавки для хвостовиков с конусом 40, 45 и 50 равен соответственно 25, 35 и 40 Н · м. Эти хвостовики соответствуют хвостовикам по ИСО 7288-1-83 и DIN 69871. В случае ручной смены инструментов применяют хвостовики исполнения 1 с конусом 7:24 по ГОСТ 25827, соответствующие DIN 2080.

На рис. 1.5, а приведена конструкция конца шпинделя с механизмом зажима оправки на основе рычагов. Момент от шпинделя 3 передается оправке торцевыми шпонками 1. Хвостовик 2 изображен во время разжима, когда в результате движения штока 7 влево рычаги 4 повернулись и освободили штырь 5, а упор 6 вступил в контакт с ним и стал выталкивать хвостовик из конического гнезда шпинделя. Основным недостатком этой конструкции является то, что при высокой скорости вращения шпинделя и соответственно при действии значительных центробежных сил на рычаги зажимного механизма сила затягивания хвостовика в гнездо шпинделя снижается.

На рис. 1.5, б показан шариковый механизм зажима оправки с конусом 7:24.

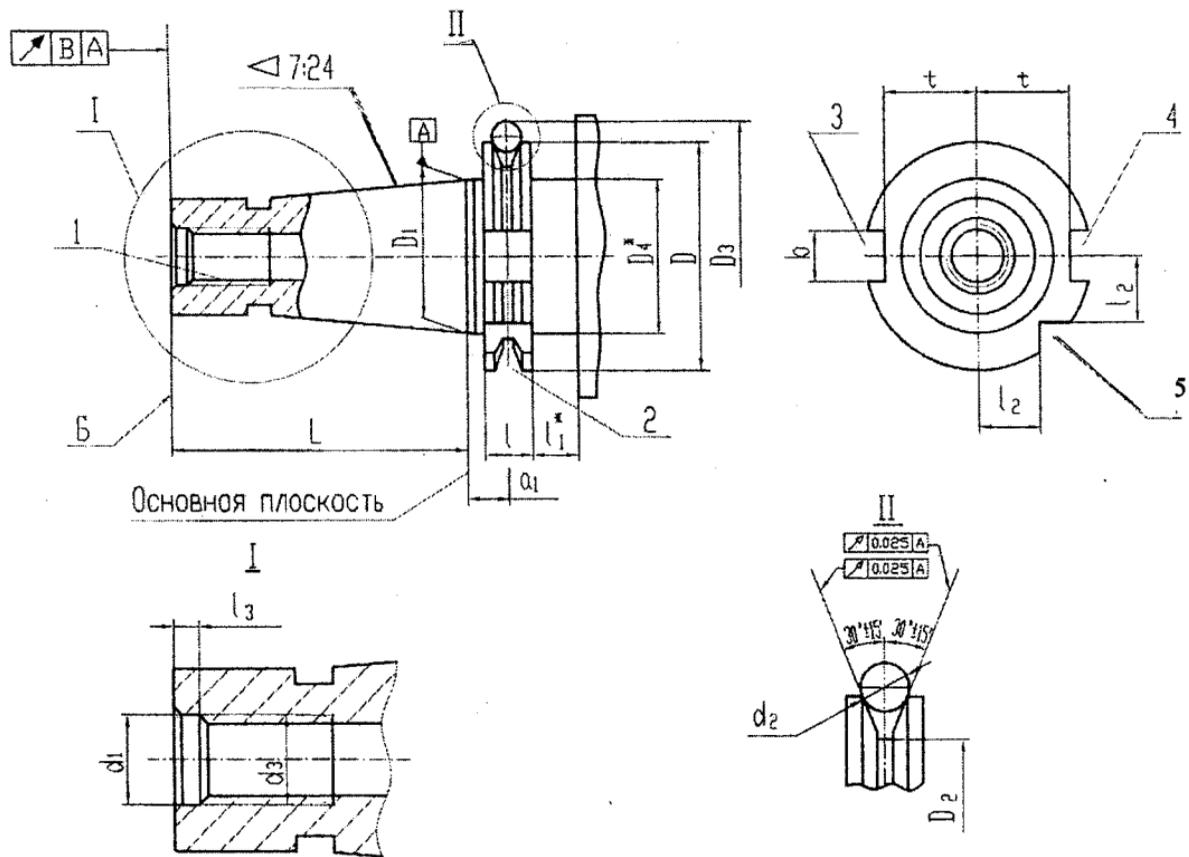


Рис. 1.4. Хвостовик инструментов и оправок с конусом 7:24

Размеры (мм) хвостовиков инструментов с конусом 7:24

Номер конуса	Обозначение размера																
	<i>D</i>	<i>D</i> <sub>1</sub>	<i>D</i> <sub>2</sub>	<i>D</i> <sub>3</sub>	<i>D</i> <sub>4</sub> *	<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>d</i> <sub>2</sub>	<i>d</i> <sub>3</sub>	<i>L</i>	<i>l</i> <sub>1</sub> *	<i>l</i> <sub>2</sub>	<i>l</i> <sub>3</sub>	<i>b</i>	<i>t</i>	<i>a</i> <sub>1</sub>	<i>l</i>	<i>B</i>
	Предельное отклонение размера																
	±0,15	-	<i>h</i> 12	<i>h</i> 8	не бо- лее	-	<i>J</i> <sub>s</sub> 5	<i>H</i> 7	<i>h</i> 11	не ме- нее	-0,3	-	<i>H</i> 12	не более	±0,1	±0,1	-
30	50	31,75	46	55,07	44	13	4	M16	68,4	8	15,5	6	16,1	22,5	5,6	8	0,01
40	63	44,45	58	69,34	55	17	5	M16	93,4	10	18,5	8	16,1	22,5	6,6	10	0,01
45	80	57,15	74	87,61	68	21	6	M16	106,8	13	24,0	10	16,1	22,5	9,2	12	0,01
50	100	69,85	94	107,61	85	25	6	M24	126,8	16	30,0	11	25,7	35,3	9,2	12	0,01

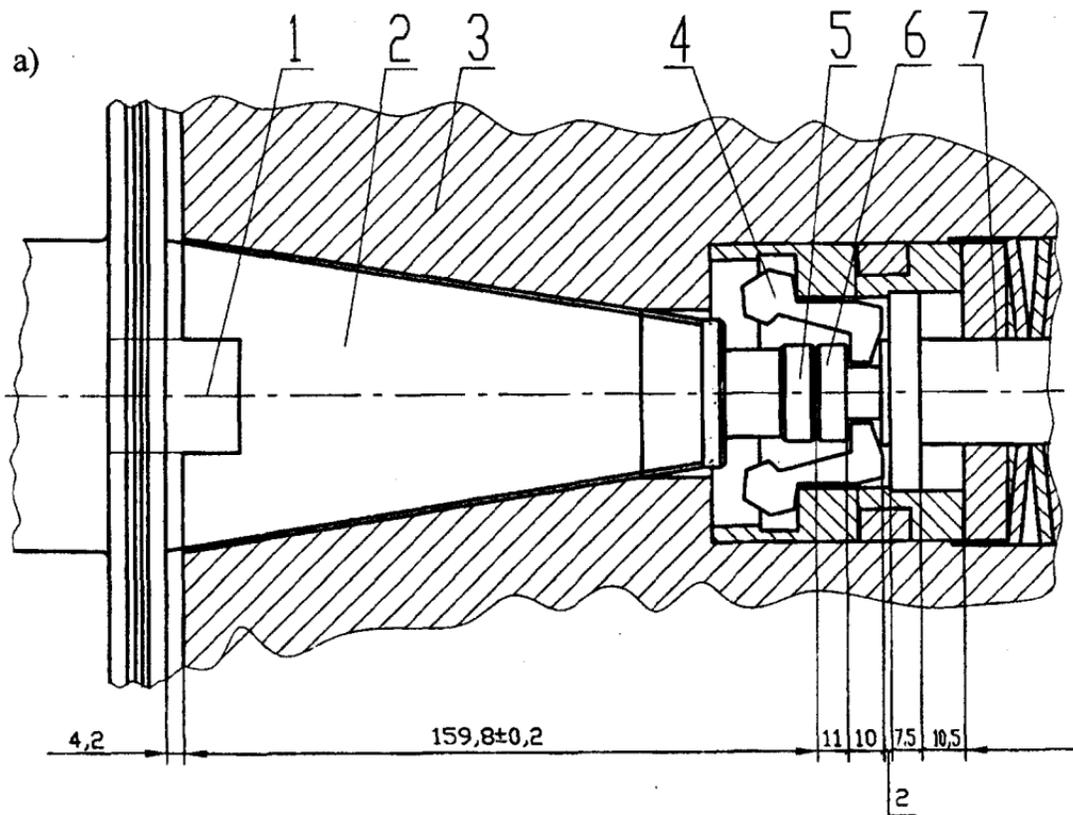


Рис. 1.5. Схемы конца шпинделя с инструментальной оправкой

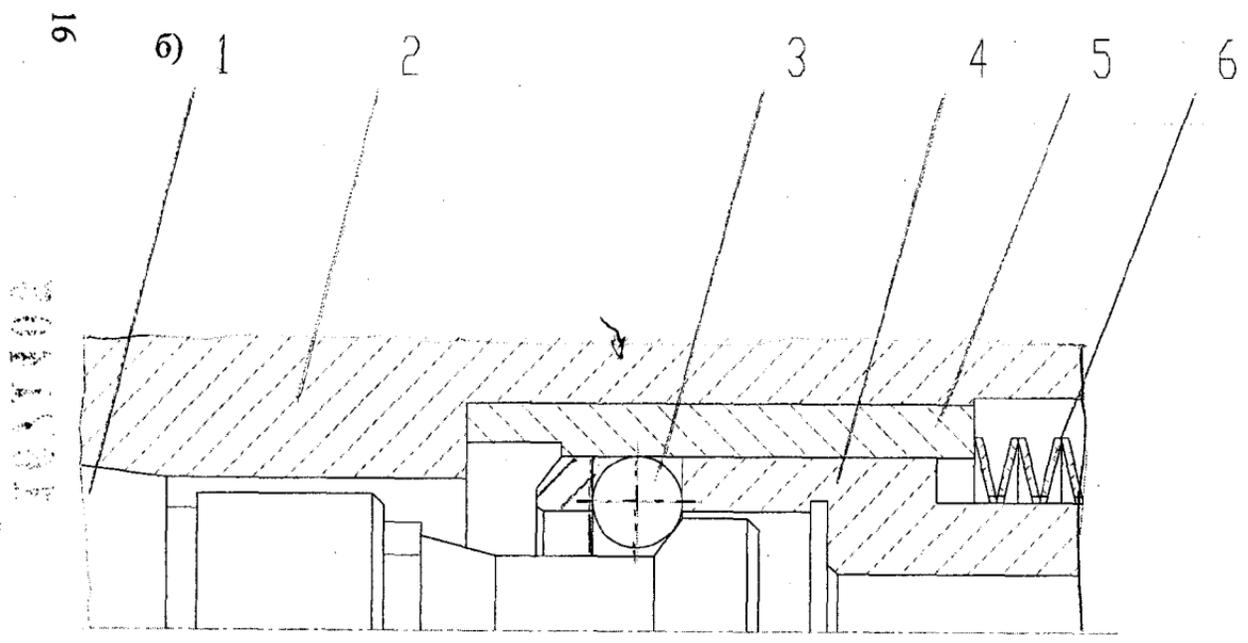


Рис. 1.5. (окончание)

В высокоскоростных сверлильно-фрезерно-расточных многоцелевых станках применяются системы крепления инструментов на основе хвостовиков HSK (рис. 1.6). Они обеспечивают надежное закрепление инструментов изнутри хвостовика в условиях больших центробежных сил.

Торцевая поверхность 2 хвостовика прижимается к торцу шпинделя и обеспечивает точное осевое положение инструмента и жесткость системы «Шпиндель – хвостовик». Шпоночные пазы 9 на торце хвостовика служат для восприятия крутящего момента, передаваемого на хвостовик шпонками, находящимися на торце шпинделя. Коническая поверхность обеспечивает базирование хвостовика в коническом гнезде шпинделя. Внутри хвостовика вводятся элементы, взаимодействующие с упором 8 и обеспечивающие зажим хвостовика в шпинделе в результате деформации в радиальных направлениях. На хвостовике имеются трапециевидная канавка 3 и ориентирующие канавки 4 под захват манипулятора, а также индексирующая канавка 6, используемая при ориентации и автоматической смене инструментов. Для кодирования инструмента в углубление 5 вставляется микросхема (чип). Сквозное поперечное отверстие 1 необходимо при использовании ручных зажимных устройств, используемых при сборке инструментальных модулей. Размеры конических полых хвостовиков регламентированы ГОСТ Р 51547-2000 «Хвостовики инструментов полые конические типа HSK. Основные размеры».

Размеры посадочного гнезда в шпинделе для полых хвостовиков HSK типа А приведены на рис. 1.7 и в табл. 1.5.

В плоскости 1 должна находиться вершина однолезвийного инструмента. Поводок 2 может быть выполнен вместе с посадочным гнездом или отдельно.

Размер с индексом 1) зависит от применяемой системы зажима; крепежное отверстие  $d_4$  с индексом 2) при съемном поводке может быть коническим по всей длине  $l$ ;  $e_1$  и  $e_2$  с индексом 3) являются расчетными значениями координат для номинальных размеров  $r_1$  и  $d_4$ , а также максимального размера  $b_1$ .

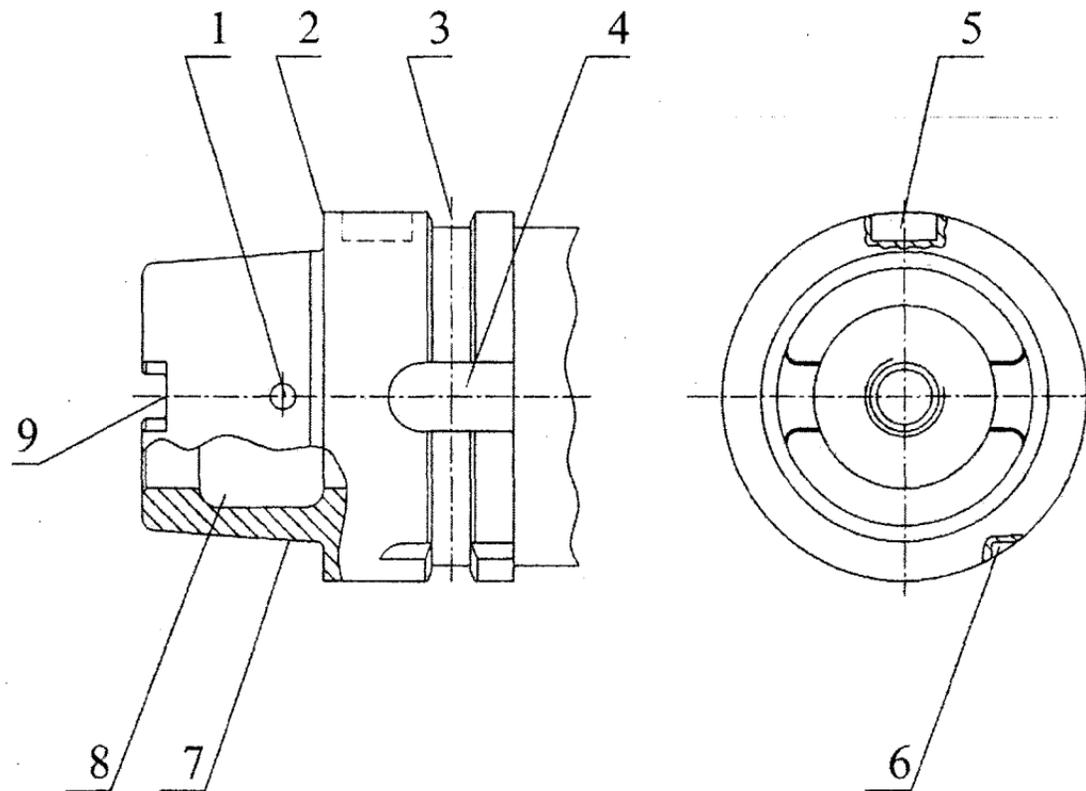


Рис. 1.6. Конический полый хвостовик HSK

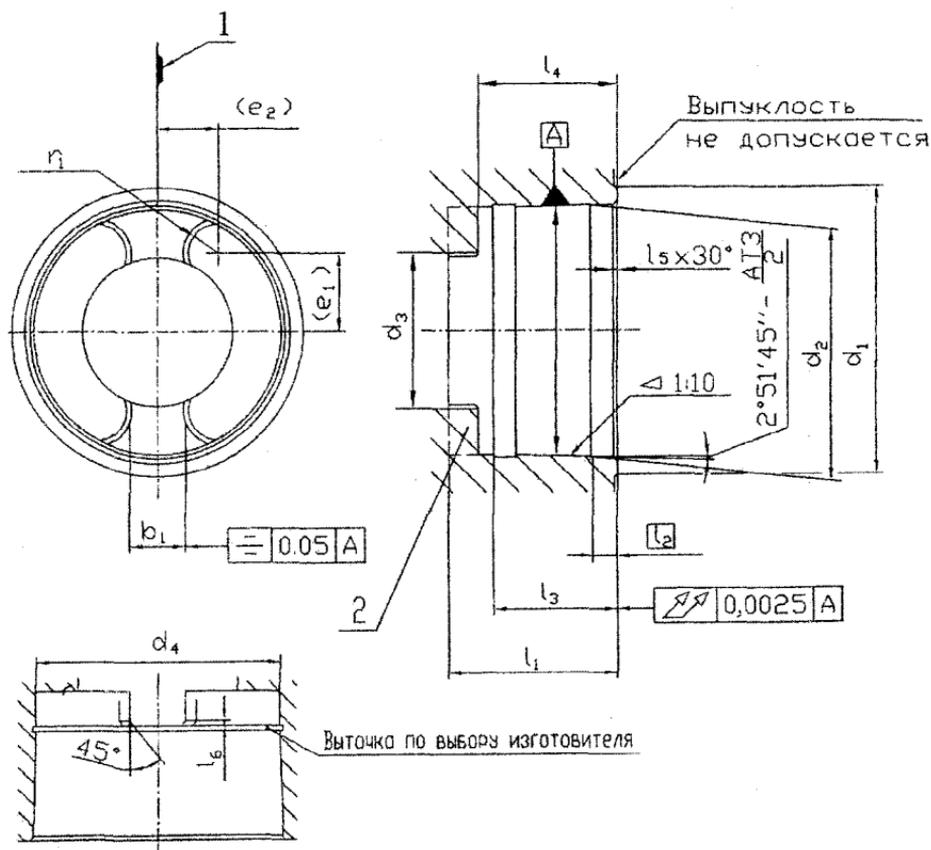


Рис. 1.7. Посадочное гнездо для полых конических хвостовиков HSK

Размеры посадочного гнезда в шпинделе для хвостовиков HSK, мм

Основной размер	$b_1, b_{11}$	$d_1$ , не менее	$d_2$		$d_3^{(1)}$	$d_4^{(2)}$ +0,1	$e_1^{(3)}$	$e_2^{(3)}$	$l_1^{(2)}$ +0,2	$l_2$	$l_3$ +0,2	$l_4$ +0,2	$l_5$	$l_6$ +0,1	$r_1$	
			Номин.	Пред. откл.											Номин.	Пред. откл.
32	7	32	24	+0,003	17	23,28	8,864	4,925	16,5	3,2	11,4	13,4	0,8	1,0	1,5	-0,1
40	8	40	30	+0,003	21	29,06	11,041	5,925	20,5	4,0	14,4	16,9	0,8	1,0	2,0	-0,1
50	10,5	50	38	+0,003 -0,001	26	36,85	13,953	7,675	25,5	5,0	17,9	20,9	1,0	1,5	2,5	-0,2
63	12,5	63	48	+0,003 -0,001	34	46,53	18,069	9,175	33,0	6,3	22,4	26,4	1,0	1,5	3,0	-0,2
80	16	80	60	+0,003 -0,002	42	58,10	22,029	11,925	41,0	8,0	28,4	32,4	1,5	2,0	4,0	-0,2
100	20	100	75	+0,003 -0,002	53	72,60	27,515	14,92	51,0	10,0	35,4	40,4	1,5	2,0	5,0	-0,3
125	25	125	95	+0,004 -0,002	67	92,05	35,535	18,42	64,0	12,5	44,4	51,4	2,0	2,5	6,0	-0,3
160	30	160	120	+0,004 -0,003	85	116,10	44,494	22,92	81,0	16,0	57,4	64,4	2,0	2,5	8,0	-0,3

Полый конический хвостовик HSK зажимается в шпинделе с помощью автоматической зажимной системы. При правильном выборе допусков на конуса она должна обеспечить хорошее контактирование конусов шпинделя и хвостовика (жесткое прилегание хвостовика по большему диаметру), а также прилегание их торцовых поверхностей, что необходимо для обеспечения жесткости системы «Шпиндель – инструмент». Схема системы зажима изображена на рис. 1.8: сверху – в положении зажима, внизу – в положении разжима. Обозначения на рисунке: 1 – посадочное гнездо; 2 – цанговый сегмент в положении разжима; 3 – цанговый сегмент в положении зажима; 4 – тяга; 5 – коническая тяга; 6 – полый конический хвостовик HSK типа А; 7 – поводковый выступ в коническом гнезде. В тяге предусматриваются каналы (на рис. 1.8 не показаны) для подвода СОЖ через тело инструмента.

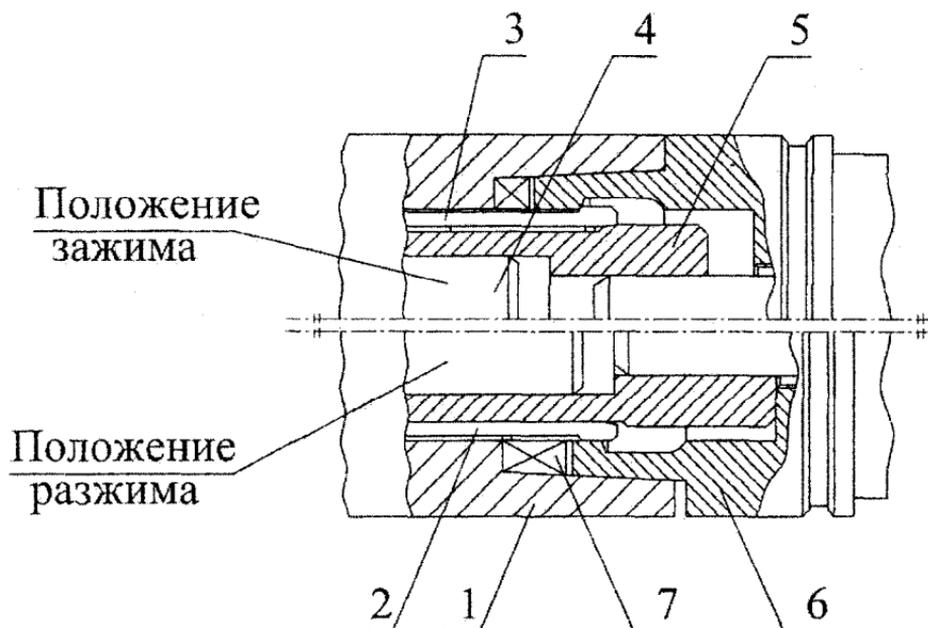


Рис. 1.8. Система зажима хвостовика HSK в шпинделе

### 1.3. Концы шпинделей фланцевые типа А

Фланцевые концы шпинделей типа А (рис. 1.9, табл. 1.6) применяются в конструкциях токарных, токарно-револьверных и шлифовальных станков. Эти фланцевые концы выполняются согласно ГОСТ 12595-2003 «Станки металлорежущие. Концы шпинделей фланцевые типа А и фланцы зажимных устройств. Основные и присоединительные размеры». Для концов шпинделей условных размеров 3 и 4 крепежные отверстия располагаются только на делительной окружности диаметра  $D_2$  (рис. 1.10). Для шпинделей других размеров эти отверстия находятся на окружностях диаметров  $D_1$  и  $D_2$  или только на окружности диаметра  $D_2$ . Расположение и количество крепежных отверстий во фланцах шпинделей шлифовальных станков, а также размер  $D_3$  для круглошлифовальных станков не регламентируются. Для специальных (токарных) и шлифовальных станков толщина фланца может быть изменена при сохранении надежности крепления к нему стандартных зажимных устройств. Диаметр цилиндрического осевого отверстия в шпинделе, а также форма и размеры этого отверстия в шпинделях токарно-револьверных станков не регламентируются.

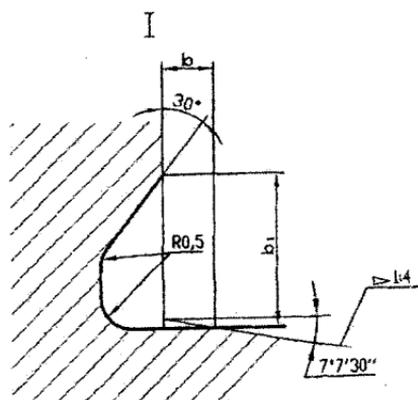
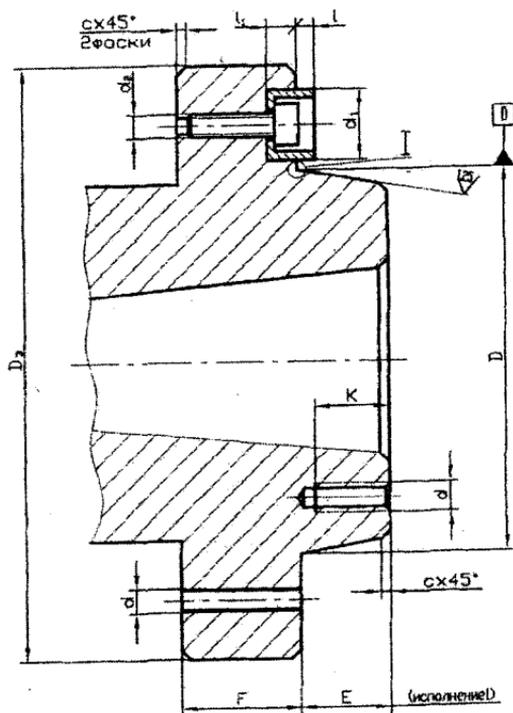


Рис. 1.9. Фланцевый конец шпинделя типа А

Размеры фланцевых концов шпинделей типа А, мм

Условный типоразмер конца шпинделя	D		D <sub>1</sub>		D <sub>2</sub>		D <sub>3</sub>	d для отверстия		d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	Коническое отверстие в шпинделе, не более		E	F	l	l <sub>1</sub>	K	b	b <sub>1</sub>	c	c <sub>1</sub>
	Номин.	Пред. откл.	Но- мин.	Пред. откл.	Но- мин.	Пред. откл.		резь- бового	глад- кого			Конус Морзе	Конус метриче- ский									
3	53,975	+0,008	-	-	70,6	±0,2	92	M10	10,5	-	-	4	-	-	16	-	-	-	1,5	3	2	1
4	63,513	+0,008	-	-	82,6	±0,2	108	M10	10,5	14,25	M6	5	-	-	20	5	5	-	1,5	3	2	1
5	82,563	+0,010	61,9	±0,2	104,8	±0,2	133	M10	10,5	15,9	M6	6	-	14,288	22	5	6	19	1,5	3	2	1
6	106,375	+0,010	82,6	±0,2	133,4	±0,2	165	M12	13,0	19,05	M8	6	80	15,875	25	5	8	22	1,5	3	2	1,2
8	139,719	+0,012	111,1	±0,2	171,4	±0,2	210	M16	17,0	23,8	M8	-	100	17,462	28	6	10	25	1,5	3	2,5	1,2
11	196,869	+0,014	165,1	±0,2	235	±0,2	280	M18, M20	21,0	28,6	M10	-	120	19,050	35	8	12	32	1,5	3	3	1,2
15	285,775	+0,016	247,6	±0,3	330,2	±0,3	380	M22, M24	25,0	34,9	M12	-	120	20,638	42	8	12	37	2,5	5	3,5	1,6

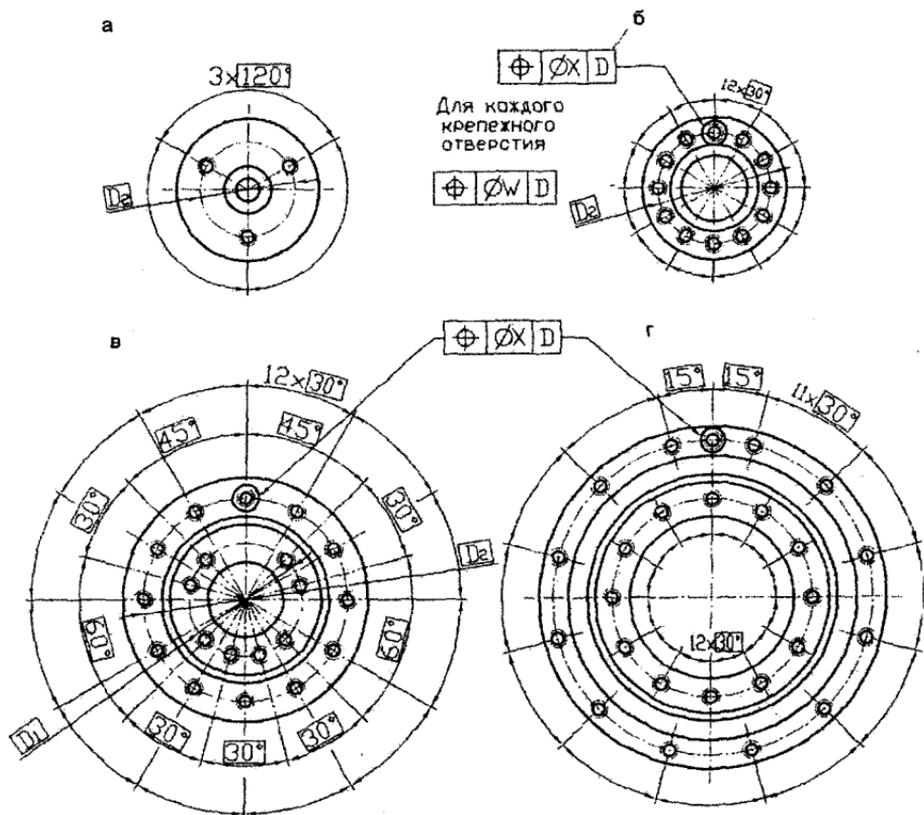


Рис. 1.10. Расположение крепежных отверстий во фланцевых концах шпинделей типа А условных размеров: а – номер 3; б – номер 4; в – номер 5, 6 8, 11; г – номер 15

## 2. ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

### 2.1. Общие сведения

Для подшипников качения характерны небольшие потери на трение и простые системы смазывания. Они обеспечивают высокую точность вращения шпинделей, необходимые жесткость и виброустойчивость. Подшипники качения надежно работают при изменении в широких диапазонах частоты вращения и нагрузок.

## 2.2. Шариковые радиально-упорные подшипники

Шариковые радиально-упорные подшипники, применяемые в шпиндельных узлах станков, отличаются от обычных меньшим диаметром шариков, большим их числом, более высокой точностью. Следствием этого являются более высокая жесткость, меньшие центробежные силы, действующие на шарики, и повышенная быстроходность подшипников.

Подшипники изготавливают с углом контакта  $12^\circ$ ,  $15^\circ$  и  $25^\circ$ . Чем меньше угол контакта, тем больше радиальная нагрузочная способность подшипника. Параметры подшипников, изготавливаемых в России, приведены в табл. 2.1 – 2.4. Подшипники 36100 и 46100 – особо легких серий, 36200 и 46200 – легких серий, 36900 и 46900 – сверхлегких серий. Параметры подшипников фирмы FAG (ФРГ) приведены в табл. 2.5 – 2.6, а параметры подшипников с керамическими шариками, изготавливаемых той же фирмой, в табл. 2.7 и 2.8.

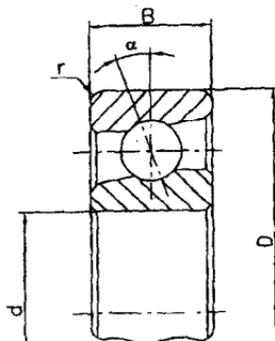
Для повышения жесткости опор осуществляется предварительное нагружение подшипников. Возможен легкий, средний или тяжелый предварительный натяг. Ориентировочное значение силы легкого натяга приведено в табл. 2.9. Силы среднего и тяжелого натяга соответственно в два и три раза превышают указанные в таблице.

При легком предварительном нагружении обеспечивается наибольшая быстроходность, но относительно низкая жесткость. Такое нагружение используется в станках для высокоскоростной обработки при небольших силах резания. Подшипники с тяжелым предварительным нагружением обеспечивают повышенную жесткость шпиндельного узла, но относительно низкую скорость вращения шпинделя.

Для обеспечения требуемой нагрузочной способности опоры составляют из нескольких подшипников. Поэтому их поставляют не только в одиночном исполнении, но и комплектами, состоящими из двух, трех или четырех подшипников. За счет ширины внутренних или наружных колец получается предварительное нагружение в комплекте.

Таблица 2.1

Шариковые радиально-упорные высокоскоростные подшипники  
типа 36100К с углом контакта  $15^\circ$



Обозначение подшипника	Размеры, мм			Грузоподъемность, кН		Предельная частота вращения (об/мин) при смазывании	
	$d$	$D$	$B$	динамическая $C$	статическая $C_0$	пластичным материалом	масляным туманом
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

**Шариковые радиально-упорные высокоскоростные подшипники  
типа 36200К с углом контакта 15°**

Обозначение подшипника	Размеры, мм			Грузоподъемность, кН		Предельная частота вращения (об/мин) при смазывании	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	динамическая <i>C</i>	статическая <i>C<sub>0</sub></i>	пластичным материалом	масляным туманом
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	20000
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

**Шариковые радиально-упорные высокоскоростные подшипники  
типа 46100У с углом контакта 25°**

Обозначение подшипника	Размеры, мм				Грузоподъемность, кН		Предельная частота вращения (об/мин) при смазывании	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>r</i>	динамическая <i>C</i>	статическая <i>C<sub>0</sub></i>	пластичным материалом	масляным туманом
46106У	30	55	13	1,5	10,4	7,65	20000	36000
46107У	35	62	14	1,5	12,0	9,0	18000	32000
46108У	40	68	15	1,5	12,7	10,2	16000	28000
46109У	45	75	16	1,5	17,0	13,7	15000	26000
46110У	50	80	16	1,5	18,0	15,3	13000	22000
46111У	55	90	18	2	25,0	21,2	12000	20000
46112У	60	95	18	2	25,5	22,4	11000	19000
46113У	65	100	18	2	26,0	23,6	10000	18000
46114У	70	110	20	2	33,5	30,5	9000	16000
46115У	75	115	20	2	34,5	32,0	8500	15000
46116У	80	125	22	2	43,0	40,5	8000	14000
46117У	85	130	22	2	44,0	42,5	7500	13000
46118У	90	140	24	2,5	52,0	51,0	6700	11000
46119У	95	145	24	2,5	53,0	53,0	6300	10000
46120У	100	150	24	2,5	55,0	56,0	6000	9500
46121У	105	160	26	3	63,0	64,0	5600	9000
46122У	110	170	28	3	73,5	75,0	5300	8500
46124У	120	180	28	3	75,0	80,0	4800	7500

Таблица 2.4

Шариковые радиально-упорные высокоскоростные подшипники  
типа 46200 с углом контакта 25°

Обозначение подшипника	Размеры, мм			Грузоподъемность, кН		Предельная частота вращения (об/мин) при смазывании	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	динамическая <i>C</i>	статическая <i>C<sub>0</sub></i>	пластичным материалом	масляным туманом
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	15000	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	100	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

**Шариковые радиально-упорные подшипники  
с углом контакта 15° фирмы FAG**

Обозначение подшипника	Размеры, мм			Грузоподъ- емность, кН		Предельная частота вращения (об/мин) при смазывании	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>C<sub>0</sub></i>	пластичным материалом	минимальном жидким материалом
1	2	3	4	5	6	7	8
B71909C.T.P4S	45	68	12	18,6	15,6	19000	32000
B7009C.T.P4S	45	75	16	27,5	21,2	18000	30000
B7209C.T.P4S	45	85	19	40,5	29,0	17000	28000
B71910C.T.P4S	50	72	12	19,0	16,6	18000	30000
B7010C.T.P4S	50	80	16	28,5	22,8	17000	28000
B7210C.T.P4S	50	90	20	43,0	31,5	16000	26000
B71911C.T.P4S	55	80	13	22,8	20,4	16000	26000
B7011C.T.P4S	55	90	18	38,0	31,0	15000	24000
B7211C.T.P4S	55	100	21	53,0	40,0	14000	22000
B71912C.T.P4S	60	85	13	24,0	22,8	15000	24000
B7012C.T.P4S	60	95	18	39,0	33,5	14000	22000
B7212C.T.P4S	60	110	22	55,0	44,0	13000	20000
B71913C.T.P4S	65	90	13	24,5	24,0	14000	22000
B7013C.T.P4S	65	100	18	40,0	35,5	13000	20000
B7213C.T.P4S	65	120	23	67,0	54,0	12000	19000
B71914C.T.P4S	70	100	16	33,5	32,5	13000	20000
B7014C.T.P4S	70	110	20	50,0	43,0	12000	19000
B7214C.T.P4S	70	125	24	69,5	58,5	11000	18000
B71915C.T.P4S	75	105	16	34,0	34,5	12000	19000
B7015C.T.P4S	75	115	20	51,0	46,5	12000	19000
B7215C.T.P4S	75	130	25	72,0	63,0	11000	18000
B71916C.T.P4S	80	110	16	34,5	36,0	12000	19000
B7016C.T.P4S	80	125	22	63,0	58,5	11000	18000
B7216C.T.P4S	80	140	26	93,0	78,0	10000	17000
B71917C.T.P4S	85	120	18	45,0	46,5	11000	18000
B7017C.T.P4S	85	130	22	65,5	62,0	10000	17000
B7217C.T.P4S	85	150	28	85,0	90,0	9000	15000
B71918C.T.P4S	90	125	18	45,5	49,0	10000	17000
B7018C.T.P4S	90	140	24	76,5	72,0	9500	16000
B7218C.T.P4S	90	160	30	122,0	104,0	8500	14000

1	2	3	4	5	6	7	8
B7119C.T.P4S	95	130	18	46,5	51,0	9500	16000
B7019C.T.P4S	95	145	24	78,0	76,5	9000	15000
B7219C.T.P4S	95	170	32	127,0	114,0	8000	13000
B71920C.T.P4S	100	140	20	58,5	64,0	9000	15000
B7020C.T.P4S	100	150	24	81,5	81,5	8500	14000
B7220C.T.P4S	100	180	34	156,0	137,0	7500	12000
B71921C.T.P4S	105	145	20	58,5	64,0	8500	14000
B7021C.T.P4S	105	160	26	106,0	102,0	8000	13000
B7221C.T.P4S	105	190	36	163,0	146,0	7000	11000
B71922C.T.P4S	110	150	20	58,5	67,0	8000	13000
B7022C.T.P4S	110	170	28	110,0	110,0	7500	12000
B7222C.T.P4S	110	200	38	163,0	150,0	6700	10000
B71994C.T.P4S	120	165	22	73,5	85,0	7000	11000
B7024C.T.P4S	120	180	28	112,0	116,0	6700	10000
B7224C.T.P4S	120	215	40	204,0	196,0	6000	9000

Таблица 2.6

**Шариковые радиально-упорные подшипники  
с углом контакта 25° фирмы FAG**

Обозначение подшипника	Размеры, мм			Грузоподъ- емность, кН		Предельная частота вращения (об/мин) при смазывании	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>C<sub>0</sub></i>	пластичным материалом	минимальном жидким материалом
1	2	3	4	5	6	7	8
B71909E.T.P4S	45	68	12	17,6	15,0	18000	30000
B7009E.T.P4S	45	75	16	26,5	20,0	17000	28000
B7209E.T.P4S	45	85	19	39,0	27,50	15000	24000
B71910E.T.P4S	50	72	12	18,0	15,6	16000	26000
B7010E.T.P4S	50	80	16	27,0	21,6	15000	24000
B7210E.T.P4S	50	90	20	40,5	30,5	14000	22000
B71911E.T.P4S	55	80	13	21,6	19,3	15000	24000
B7011E.T.P4S	55	90	18	36,0	29,0	14000	22000
B7211E.T.P4S	55	100	21	50,0	38,0	13000	20000
B71912E.T.P4S	60	85	13	22,8	21,6	14000	22000

1	2	3	4	5	6	7	8
B7012E.T.P4S	60	95	18	36,5	31,5	13000	20000
B7212E.T.P4S	60	110	22	52,0	42,5	12000	19000
B71913E.T.P4S	65	90	13	22,8	22,4	13000	20000
B7013E.T.P4S	65	100	18	38,0	33,5	12000	19000

Таблица 2.7

Шариковые радиально-упорные подшипники с керамическими шариками и углом контакта 15° фирмы FAG

Обозначение подшипника	Размеры, мм			Грузоподъемность, кН		Предельная частота вращения (об/мин) при смазывании	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>C</i> <sub>0</sub>	пластичным материалом	минимальном жидким материалом
1	2	3	4	5	6	7	8
HCS71909C.T.P4S	45	68	12	6,95	6,70	28000	43000
HCS7009C.T.P4S	45	75	16	8,80	8,50	26000	40000
HCS71910C.T.P4S	50	72	12	7,10	7,20	26000	40000
HCS7010C.T.P4S	50	80	16	9,15	9,15	24000	38000
HCS71911C.T.P4S	55	80	13	9,30	9,50	24000	38000
HCS7011C.T.P4S	55	90	18	12,90	13,20	22000	36000
HCS71912C.T.P4S	60	85	13	9,65	10,00	22000	36000
HCS7012C.T.P4S	60	95	18	13,40	14,00	20000	34000
HCS71913C.T.P4S	65	90	13	9,80	10,80	20000	34000
HCS7013C.T.P4S	65	100	18	13,70	15,00	20000	34000
HCS71914C.T.P4S	70	100	16	12,70	14,00	19000	32000
HCS7014C.T.P4S	70	110	20	18,0	19,60	18000	30000
HCS71915C.T.P4S	75	105	16	12,90	15,00	18000	30000
HCS7015C.T.P4S	75	115	20	18,30	20,00	17000	28000
HCS71916C.T.P4S	80	110	16	14,60	16,60	17000	28000
HCS7016C.T.P4S	80	125	22	21,60	24,50	16000	26000
HCS71917C.T.P4S	85	120	18	15,00	18,00	16000	26000
HCS7017C.T.P4S	85	130	22	22,00	25,00	15000	24000
HCS71918C.T.P4S	90	125	18	16,30	19,60	15000	24000
HCS7018C.T.P4S	90	140	24	26,00	30,00	14000	22000
HCS7119C.T.P4S	95	130	18	17,00	20,80	14000	22000
HCS7019C.T.P4S	95	145	24	26,00	31,00	13000	20000
HCS71919C.T.P4S	100	140	20	20,40	25,00	13000	20000

1	2	3	4	5	6	7	8
HCS7020C.T.P4S	100	150	24	26,50	31,50	12000	19000
HCS71921C.T.P4S	105	145	20	20,80	26,50	12000	19000
HCS7021C.T.P4S	105	160	26	34,00	40,50	12000	19000
HCS71922C.T.P4S	110	150	20	24,00	30,50	12000	19000
HCS7022C.T.P4S	110	170	28	34,50	41,50	11000	18000
HCS71924C.T.P4S	120	165	22	25,00	33,50	11000	18000
HCS7024C.T.P4S	120	180	28	35,50	44,00	10000	17000
HCS71926C.T.P4S	130	180	24	29,00	39,00	9500	16000
HCS7026C.T.P4S	130	200	33	45,50	58,50	9000	15000

Таблица 2.8

Шариковые радиально-упорные подшипники с керамическими шариками и углом контакта 25° фирмы FAG

Обозначение подшипника	Размеры, мм			Грузоподъемность, кН		Предельная частота вращения (об/мин) при смазывании	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>C</i> <sub>0</sub>	пластичным материалом	минимальным жидким материалом
1	2	3	4	5	6	7	8
HCS71909E.T.P4S	45	68	12	6,55	6,30	24000	38000
HCS7009E.T.P4S	45	75	16	8,30	8,00	24000	38000
HCS71910E.T.P4S	50	72	12	6,70	6,70	22000	36000
HCS7010E.T.P4S	50	80	16	8,65	8,50	22000	36000
HCS71911E.T.P4S	55	80	13	8,80	8,80	20000	34000
HCS7011E.T.P4S	55	90	18	12,20	12,20	19000	32000
HCS71912E.T.P4S	60	85	13	9,00	9,50	19000	32000
HCS7012E.T.P4S	60	95	18	12,70	13,20	18000	30000
HCS71913E.T.P4S	65	90	13	9,30	10,00	18000	30000
HCS7013E.T.P4S	65	100	18	12,90	14,00	17000	28000
HCS71914E.T.P4S	70	100	16	12,00	13,20	16000	26000
HCS7014E.T.P4S	70	110	20	17,00	18,30	15000	24000
HCS71915E.T.P4S	75	105	16	12,20	13,70	15000	24000
HCS7015E.T.P4S	75	115	20	17,30	18,60	15000	24000
HCS71916E.T.P4S	80	110	16	13,70	15,60	15000	24000
HCS7016E.T.P4S	80	125	22	20,40	22,80	13000	20000
HCS71917E.T.P4S	85	120	18	14,30	17,00	13000	20000
HCS7017E.T.P4S	85	130	22	20,80	23,20	13000	20000
HCS71918E.T.P4S	90	125	18	15,60	18,60	13000	20000

1	2	3	4	5	6	7	8
HCS7018E.T.P4S	90	140	24	24,50	28,00	12000	19000
HCS71919E.T.P4S	95	130	18	16,00	19,30	12000	19000
HCS7019E.T.P4S	95	145	24	24,50	28,50	11000	18000
HCS71920E.T.P4S	100	140	20	19,00	23,60	11000	18000
HCS7020E.T.P4S	100	150	24	25,00	30,00	11000	18000
HCS71921E.T.P4S	105	145	20	19,60	24,50	11000	18000
HCS7021E.T.P4S	105	160	26	32,00	38,00	10000	17000
HCS71922E.T.P4S	110	150	20	22,80	28,50	10000	17000
HCS7022E.T.P4S	110	170	28	32,50	39,00	9000	15000
HCS71924E.T.P4S	120	165	22	23,60	31,00	9000	15000
HCS7024E.T.P4S	120	180	28	33,50	41,50	8500	14000
HCS71926E.T.P4S	130	180	24	27,00	36,50	8000	13000
HCS7026E.T.P4S	130	200	33	42,50	54,00	7500	12000

Таблица 2.9

Сила предварительного легкого натяга шариковых радиально-упорных подшипников, Н

Диаметр отверстия в подшипнике $d$ , мм	Тип подшипников			
	36100К и 36100КУ	36200К и 36200КУ	46100У	46200У
30	80	115	130	190
35	90	130	150	210
40	100	180	160	290
45	120	200	200	320
50	130	230	210	360
55	170	270	300	440
60	180	320	310	510
65	190	360	320	590
70	240	380	390	610
75	240	400	400	640
80	300	460	490	740
85	310	520	510	850
90	360	620	580	1020
95	400	660	640	1100
100	410	790	650	1270
105	450	820	730	1350
110	530	860	860	1410
120	550	900	890	1450

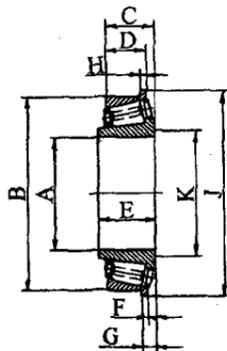
### **2.3. Роликовые радиально-упорные подшипники**

К подшипникам этого типа относятся однорядные роликовые подшипники с буртом на наружном кольце и без него, двухрядные подшипники также с буртом на наружном кольце и без него, однорядные роликовые подшипники с широким наружным кольцом и встроенными пружинами. Эти подшипники применяют в шпиндельных узлах, работающих с относительно низкими частотами вращения и большими нагрузками.

Ниже (табл. 2.10 – 2.12) приведены основные размеры и параметры технических характеристик роликовых подшипников фирмы GAMET. Полые ролики и сепараторы с отверстиями обеспечивают циркуляцию смазочного масла внутри подшипника и снижение его температуры. Благодаря тому, что в переднем ряду двухрядного подшипника на один ролик больше, чем в заднем, снижается уровень вибраций шпинделя и более стабильным становится положение его оси. Бурт на наружном кольце позволяет использовать торец шпиндельной бабки как базу при монтаже. Подшипник с широким наружным кольцом и комплектом вставленных в него пружин предназначен для монтажа в задней опоре шпинделя. Пружины обеспечивают постоянство предварительного натяга подшипника.

Размеры и параметры роликовых, радиально-упорных подшипников российского изготовления приведены в табл. 2.13.

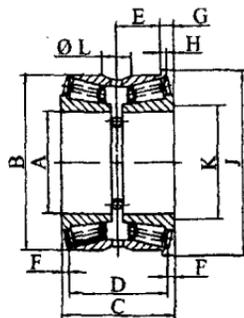
Роликовые радиально-упорные подшипники с буртом  
на наружном кольце фирмы GAMET



Обозначение подшипника	Размеры, мм										Статическая жесткость, Н/мм		Нагрузочная способность (Н) при долговечности 10000 ч		Предельная частота вращения, об/мин
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	радиальная	осевая	радиальная	осевая	
	10104	40	76	24,75	19	26	5,75	9,75	4	80	52	510	90	11100	
112045	45	85	20,63	17,46	24,5	3,17	7,93	4,76	89,76	55	440	70	11450	6000	6300
111050	50	90	26,75	20,40	29	6,35	11,11	4,76	94,76	62	600	110	14350	8300	5700
113060	60	100	25,40	19,84	26,5	5,56	10,06	4,5	104,5	72	680	130	15850	10200	5100

Обозначение подшипника	Размеры, мм										Статическая жесткость, Н/мм		Нагрузочная способность (Н) при долговечности 10000 ч		Предельная частота вращения, об/мин
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	ради-	осевая	ради-	осевая	
											альная		альная		
130065	65	120	29,79	24,23	32	5,56	11,11	5,55	125,55	84	820	120	21750	11000	4400
124070	70	112,712	30,16	23,81	33	6,35	11,11	4,76	117,47	86	820	130	20300	10450	4500
133075	75	130	33,25	27	33,5	6,25	11,8	5,55	135,55	92	900	150	23650	12600	4100
140080	80	140	36,5	28,57	38,5	7,93	14,28	6,35	146,34	100	1000	150	29250	14100	3800
117090	90	133,35	30,16	22,22	34	7,94	14,29	6,35	139,7	105	1020	190	21750	13150	3700
131095	95	152,4	35	28,5	33,75	6,5	12,5	6	158,4	110	1030	200	26000	16300	3400
180100	100	180	47,625	39,625	46	8	15	7	187	125	1270	190	46450	22400	3000
180105	105	180,975	47,625	39,625	46	8	15	7	188	125	1270	190	46450	22400	3000
181115	115	180,975	47,625	34,925	50	12,7	20,64	7,94	188,9	136	1330	220	48100	24950	2800
105120	120	165	28	23	31	5	9,5	4,5	169,5	136	1390	220	24900	12050	3000

Роликовые двухрядные радиально-упорные подшипники  
с буртом на наружном кольце фирмы GAMET

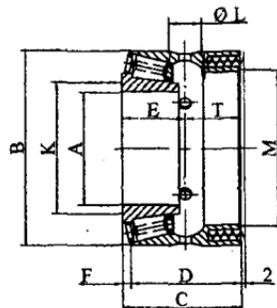


Обозначение кольца внутренне- го/наружного	Размеры, мм											Статическая жесткость, Н/мкм		Нагрузочная способность (Н) при долговечности 10000 ч		Предельная частота вращения, об/мин
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	ради- альная	осе- вая	ради- альная	осе- вая	
	101040/101076H	40	76	57	45,5	18,75	5,75	9,75	4	80	52	5	1020	90	21750	
119045/119085H	45	85	62	55,66	23,07	3,17	7,93	4,76	89,76	55	6	1120	90	26800	7300	6300
11050/111090H	50	90	64	51,3	20,89	6,35	11,11	4,76	94,76	62	7	1200	110	28050	8300	5700

Обозначение кольца внутренне- го/наружного	Размеры, мм											Статическая жесткость, Н/мм		Нагрузочная способность (Н) при долговечно- сти 10000 ч		Предельная частота вращения, об/мин
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	ради- альная	осе- вая	ради- альная	осе- вая	
	11055/110100Н	55	100	65	54	22,5	5,5	10	4,5	104,5	70	7	1360	130	30700	
113060/113100Н	60	100	58	46,88	18,94	5,56	10,06	4,5	104,5	72	7	1360	130	30850	10200	5100
130065/130120Н	65	120	71	59,88	24,39	5,56	11,11	5,55	125,55	84	8	1640	120	42900	11000	4400
124070/124112ХН	70	112,712	73	60,3	25,39	6,35	11,11	4,76	117,47	86	8	1640	130	39800	10450	4500
133075/133130Н	75	130	73	60,5	24,7	6,25	11,8	5,55	135,55	92	8	1800	150	46450	12600	4100
140080/140140Н	80	140	85	69,14	28,22	7,93	14,28	6,35	146,34	100	8	2000	150	56850	14100	3800
140085/140140Н	85	140	85	69,14	28,22	7,93	14,28	6,35	146,34	100	8	2000	150	56850	14100	3800
117090/117133ХН	90	133,35	76	60,12	23,71	7,94	14,29	6,35	139,7	105	8	2040	190	42750	13150	3700
131095/131152ХН	95	152,4	75	62	25	6,5	12,5	6	158,4	110	8	2060	200	51150	16300	3400
180100/180180Н	100	180	100	84	35	8	15	7	187	125	10	2540	190	91000	22400	3000
180105/180180Н	105	180,975	100	84	35	8	15	7	187	125	10	2540	254	91000	22400	3000

Таблица 2.12

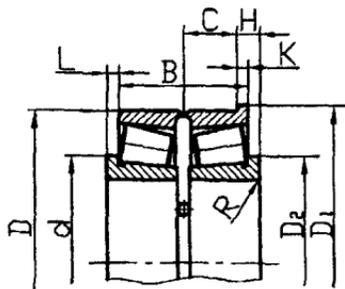
Роликовые радиально-упорные подшипники с широким  
наружным кольцом фирмы GAMET



Обозначение кольца внут- ренне- го/наружного	Размеры, мм										Наибольшая до- пустимая предвари- тельная нагрузка, Н	Стати- ческая жест- кость ради- альная, Н/мм	Нагрузочная способность (Н) при долговечно- сти 10000 ч		Пре- дельная частота враще- ния, об/мин
	A	B	C	D	E	F	K	L	M	T			ради- альная	осевая	
	74025/74052P	25	52	39,75	36,5	19	3,25	34	5	38			20,75	650	
70030/70062P	30	62	46,75	42,5	23	4,25	40	5	44,5	23,75	1070	420	6350	3450	8900
100035/80066XP	35	66,675	47,24	42,48	23,5	4,76	44	5	49,5	23,74	1240	420	7200	4050	8000

Обозначение кольца внут- ренне- го/наружного	Размеры, мм										Наиболь- шая до- пустимая предвари- тельная нагрузка, Н	Стати- ческая жест- кость ради- альная, Н/мм	Нагрузочная способность (Н) при долговечно- сти 10000 ч		Пре- дельная частота враще- ния, об/мин
	A	B	C	D	E	F	K	L	M	T			ради- альная	осевая	
101040/101080P	40	80	51,25	45,5	26	5,75	52	5	59	25,25	1950	510	11100	6300	6800
112045/112085P	45	85	51,83	48,65	24,5	3,17	55	6	64	27,33	1850	440	11450	6000	6300
111050/111090P	50	90	57,65	51,3	29	6,35	62	7	69	28,65	2600	600	114350	8300	5700
111055/110100P	55	100	59,5	54	29,5	5,5	70	7	76	30	3100	680	15700	9900	5300
113060/113100P	60	100	52,44	46,88	26,5	5,56	72	7	79	25,94	3150	680	15850	10200	5100
130065/130120P	65	120	65,44	59,88	32	5,56	84	8	93	33,44	3400	820	21750	11000	4400
124070/124112XP	70	112,712	66,65	60,3	33	6,35	86	8	90	33,65	3250	1080	20300	10450	4500
133075/133130P	75	130	66,75	60,5	33,5	6,25	92	8	102	33,25	3900	900	23650	12600	4100
140080/140140P	80	140	77,07	69,14	38,5	7,93	100	8	108	38,57	4350	1000	29250	14100	3800
140085/140140P	85	140	77,07	69,14	38,5	7,93	100	8	108	38,57	4350	1000	29250	14100	3800
117090/117133XP	90	133,35	68,06	60,12	34	7,94	105	8	111,5	34,06	4050	1020	21750	13150	3700
131095/131152XP	95	152,4	68,5	62	33,75	6,5	110	8	120	34,75	5050	1030	26000	16300	3400
180100/180180P	100	180	92	84	46	8	125	10	142	46	6900	1150	46450	22400	3000
180105/180180XP	105	180,975	92	84	46	8	125	10	142	46	6900	1270	46500	22400	3000

Роликовые двухрядные конические подшипники  
с буртом на наружном кольце типа 697000Л

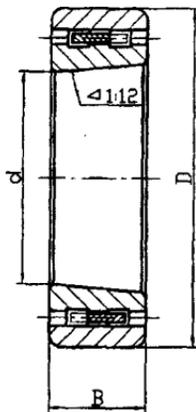


Обозначение подшипника	Размеры, мм									Грузоподъемность, кН		Предельная частота вращения, об/мин
	$d$	$D$	$B$	$C$	$L$	$H$	$D_1$	$D_2$	$R$	динамическая	статическая	
697712Л	60	110	47	18,9	5,5	4,5	114,5	72	2	122,8	114,7	5100
697812/Л	60	110	60,6	25,4	6,4	5	115	75	2,5	145,7	151,5	4800
697912Л	60	95	46,4	18,7	4,3	4,5	100		2	95,2	107,5	5200
697815/Л	75	130	60,5	24,7	6,25	5,5	136	92	2,5	218,3	237,9	4100
697716Л	80	140	69,1	28,2	7,95	6	147	100	3	223	152,7	3800
697920Л	100	152	75,8	30,9	8,1	7	159,6	114	2,5	271,8	316,6	3300

## **2.4. Двухрядные роликовые подшипники с короткими цилиндрическими роликами**

Эти подшипники (табл. 2.14) предназначены для восприятия радиальных нагрузок. Подшипники типа 311182100 имеют гладкую дорожку качения (без буртов) на наружном кольце, типа 4162900 – на внутреннем кольце. Последнее позволило уменьшить наружный диаметр подшипника. Параметр быстроходности подшипников  $d_m n_{\max} \leq 3 \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ , диапазон регулирования частоты вращения – не более 500. Радиальный зазор в подшипнике регулируют путем осевого перемещения его внутреннего кольца с коническим отверстием, благодаря чему диаметр дорожки качения несколько увеличивается. Подшипники применяют при больших нагрузках на шпиндель и средних частотах вращения.

Роликовые радиальные двухрядные подшипники с короткими цилиндрическими роликами типа 3182100 К



Обозначение подшипника	Размеры, мм			Грузоподъемность, кН		Предельная частота вращения при смазывании (об/мин)	
	$d$	$D$	$B$	динамическая	статическая	пластичным материалом	масляным 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

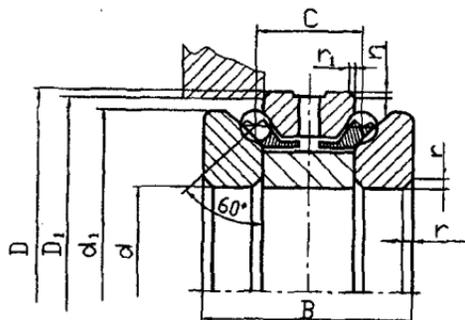
Обозначение подшипника	Размеры, мм			Грузоподъемность, кН		Предельная частота вращения при смазывании (об/мин)	
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	динамическая	статическая	пластичным материалом	масляным туманом
3182113К	65	100	26	64	57	6000	7000
3182114К	70	110	30	81,5	73,5	5300	6300
3182115К	75	115	30	83	73,5	5000	6000
3182116К	80	125	34	102	93	4800	5600
3182117К	85	130	34	106	100	4500	5300
3182118К	90	240	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

## 2.5. Упорно-радиальные сдвоенные шариковые подшипники с углом контакта $60^\circ$

Эти подшипники предназначены для восприятия только осевой нагрузки. В состав подшипника типа 178800Л (табл.2.15) входят два тугих внутренних кольца, свободное наружное кольцо, проставочное кольцо, тела качения, два массивных сепаратора. Ширина проставочного кольца обуславливает величину предварительного натяга, благодаря которому отпадает надобность в регулировании натяга в процессе монтажа шпиндельного узла, повышая стабильность натяга и долговечность подшипника.

Упорно-радиальные шариковые подшипники выпускаются в двух исполнениях, различающихся диаметром отверстия внутреннего кольца. При использовании такого подшипника в опоре со стороны малого или большого диаметра конической посадочной шейки для роликоподшипника с короткими цилиндрическими роликами применяют упорно-радиальные подшипники соответственно серий 178800 или 178900. Параметр быстроходности подшипников  $d_m n_{\max} \leq (4 \dots 5) \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ ; здесь  $d_m = 0,5(d+D)$ ,  $n_{\max}$  — частота вращения шпинделя. Диапазон регулирования частоты вращения достигает 100. Упорно-радиальный сдвоенный шариковый подшипник устанавливают в опору вместе с роликоподшипником, воспринимающим только радиальную нагрузку. Точные, жесткие, быстроходные шпиндельные опоры такой конструкции применяют в токарных, фрезерных, расточных и других станках.

Шариковые упорно-радиальные сдвоенные подшипники  
с углом контакта  $60^\circ$  типа 167 800



Обозначение подшипника	Размеры, мм								Грузоподъемность, кН		Предельная частота вращения, об/мин	
	d	D	d <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	B	C	r	r <sub>1</sub>	динамическая C	статическая C <sub>0</sub>	при смазывании пластичным материалом	при смазывании жидким материалом
											7400	11000
178805	25	47	40	43,5	28	14	1	0,2	10,2	18	7400	11000
178806	30	55	47	51	32	16	1,5	0,3	11,2	22	6700	10000
178807	35	62	53	58	34	17	1,5	0,3	13,7	28,5	6000	9000
178808	40	68	58,5	64	36	18	1,5	0,3	16,3	34,5	5300	8000

Обозначение подшипника	Размеры, мм								Грузоподъемность, кН		Предельная частота вращения, об/мин	
	$d$	$D$	$d$	$D_1$	$B$	$C$	$r$	$r_1$	динамическая $C$	статическая $C_0$	при смазывании пластичным материалом	при смазывании жидким материалом
178809	45	75	65	71	38	19	1,5	0,3	18,8	40,5	5300	8000
178810	50	80	70	76	38	19	1,5	0,3	19,0	44	4800	7100
178811	55	90	78	85	44	22	2	0,5	25,5	60	4800	7100
178812	60	95	85	90	44	22	2	0,5	25,5	62	4200	6300
178813	65	100	88	95	55	22	2	0,5	26,5	67	4200	6300
178814	70	110	97	105	48	24	2	0,5	32,5	83	3700	5600
178815	75	115	102	110	48	24	2	0,5	33,5	86,5	3700	5600
178816	80	125	110	118	54	27	2	0,5	40	104	3300	5000
178817	85	130	115	124	54	27	2	0,5	45	108	3300	5000
178818	90	140	123	132	60	30	2,5	0,5	47,5	127	3000	4500
178819	95	145	128	137	60	30	2,5	0,5	47,5	132	3000	4500
178820	100	150	133	142	60	30	1,5	0,5	49	140	2700	4000
178821	105	160	142	151	66	33	3	0,8	55	156	2700	4000
178822	110	170	150	161	72	36	3	0,8	68	193	2700	4000
178824	120	180	160	171	72	36	3	0,8	71	208	2300	3500
178826	130	200	177	190	84	42	3	0,8	88	260	2100	3200

### 3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

#### 3.1. Элементы крепления опор

В осевом направлении подшипники закрепляются обычно гайками. Требования к ним: возможность тонкой регулировки, равномерность прижима к подшипнику, надёжность крепления.

Гайки типа *KMT* фирмы *SKF* (Швеция) предназначены для прецизионных шпиндельных узлов (рис. 3.1, а, табл. 3.1). По окончании регулирования подшипников производят стопорение гайки. Для этого служат три винта 2, прижимающие к резьбе на шпинделе три латунных штифта 1, расположенных на окружности через  $120^\circ$ . Резьбовые штифты прилегают к резьбе на шпинделе равномерно, закручивание и стопорение гайки производят в одном и том же направлении. В регулировочной гайке 3 устройства, изображённого на рис. 3.1, б, имеется 18 радиальных пазов, а в шпинделе 4 – два радиальных отверстия, в которые вставлены плунжеры 2 и пружины 1. В начале регулировки плунжер, входящий в один из пазов гайки, с помощью отвертки поворачивают на  $90^\circ$ , чтобы он, при наличии скоса, не препятствовал её вращению. По окончании процесса регулирования натяг один из пазов в гайке совмещают с ближайшим плунжером. Затем его поворачивают на  $90^\circ$ , и он под действием пружины входит в этот паз. Благодаря тому, что один плунжер смещён относительно диаметральной плоскости, в которой расположен другой, угол поворота регулировочной гайки кратен половине шага пазов в ней и достигаемый натяг более точно приближается к расчетному. Размеры ряда гаек приведены в табл. 3.2, а плунжеров – в табл. 3.3. В стопорной гайке типа *SFERO* (рис. 3.1, в) часть слоя с резьбой 2 выполнена в виде упругой пружины. Сила, создаваемая винтом 1, прижимает пружинящийся элемент гайки к резьбе, находящейся на поверхности шпинделя. Размеры гаек различных типов приведены в табл. 3.4 – 3.8. Гайки фиксируются одним или двумя винтами, расположенными радиально или в осевом направлении. Во втором случае сила на упругий элемент передается штырями, имеющими скосы.

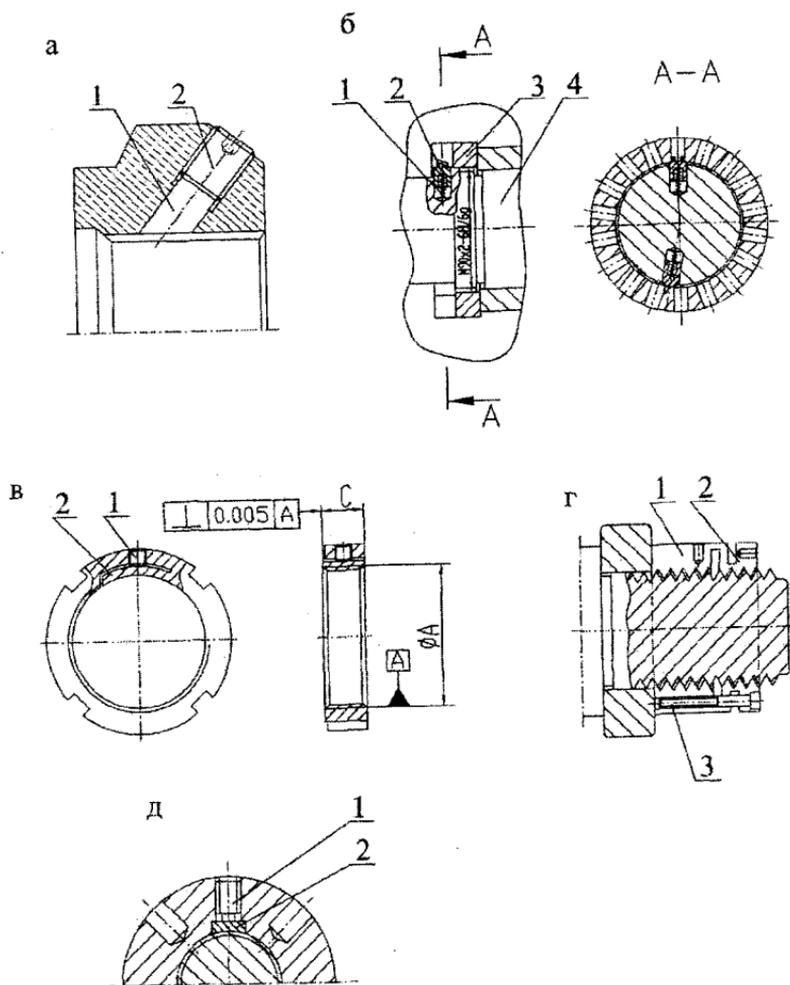
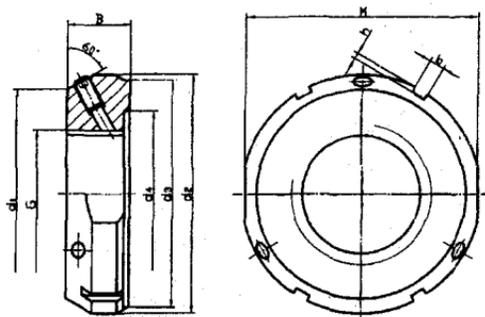


Рис. 3.1. Элементы крепления опор

Размеры и параметры гаек типа КМТ фирмы SKF

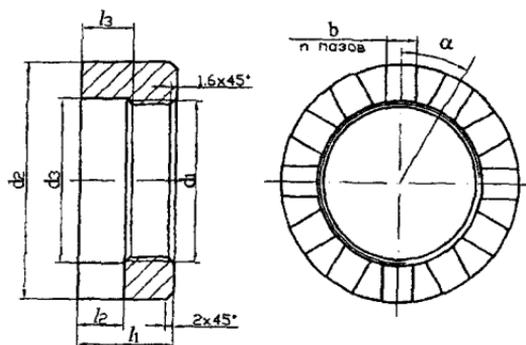


Обозначение	Размеры, мм									Винты	Допускаемая осевая нагрузка, кН	Момент затягивания гайки, Н·м
	G	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	B	b	h	M			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
КМТ 0	M10x0,75	21	28	23	11	14	4	2	24	M 5	35	4,5
КМТ 1	M 12x1	23	30	25	13	14	4	2	27	M 5	40	4,5
КМТ 2	M 15x1	26	33	28	16	16	4	2	30	M 5	60	4,5
КМТ 3	M 17x1	29	37	33	18	18	5	2	34	M 6	80	8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
KMT 4	M20x1	32	40	35	21	18	5	2	36	M 6	90	8
KMT 5	M25x1,5	36	44	39	26	20	5	2	41	M 6	130	8
KMT 6	M30x1,5	41	49	44	32	20	5	2	46	M 6	160	8
KMT 7	M35x1,5	46	54	49	38	22	5	2	50	M 6	190	8
KMT 8	M40x1,5	56	65	59	42	22	6	2,5	60	M 6	210	8
KMT 9	M45x1,5	61	70	64	48	22	6	2,5	65	M 6	240	8
KMT 10	M50x1,5	65	75	68	52	25	7	3	70	M 6	300	8
KMT 11	M 55x2	74	85	78	58	25	7	3	80	M 8	340	18
KMT 12	M 60x2	78	90	82	62	26	8	3,5	85	M 8	380	18
KMT 13	M 65x2	83	95	87	68	28	8	3,5	90	M 8	460	18
KMT 14	M 70x2	88	100	92	72	28	8	3,5	95	M 8	490	18
KMT 15	M 75x2	93	105	97	77	28	8	3,5	100	M 8	520	18

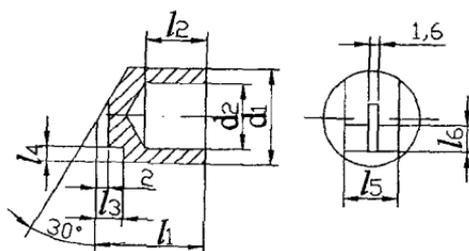
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
КМТ 16	М 80x2	98	110	100	83	32	8	3,5	-	М 8	620	18
КМТ 17	М 85x2	107	120	110	88	32	10	4	-	М 10	650	35
КМТ 18	М 90x2	112	125	115	93	32	10	4	-	М 10	680	35
КМТ 19	М 95x2	117	130	120	98	32	10	4	-	М 10	710	35
КМТ 20	М 100x2	122	135	125	103	32	10	4	-	М 10	740	35
КМТ 22	М 110x2	132	145	134	112	32	10	4	-	М 10	800	35
КМТ 24	М 120x2	142	155	144	122	32	10	4	-	М 10	860	35

## Гайки стопорные



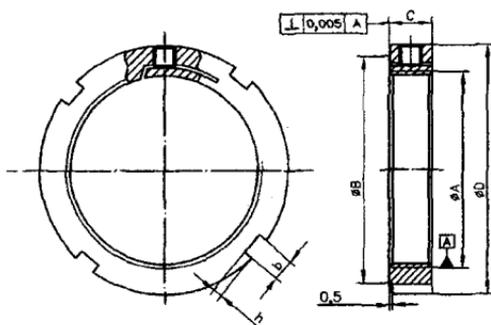
Обозначение	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$b$	$n$	$\alpha$
УНЕ3193-323-01	M42x1,5-7H	62	43	25	12	13	8	12	30°
УНЕ3193-323-02	M52x1,5-6H	72	53	25	12	13	8	14	25°40'
УНЕ3193-323-03	M72x2-6H	100	73	30	13	14	8	18	20°
УНЕ3193-323-04	M90x2-6H	120	91	40	19	20	10	18	20°
УНЕ3193-323-05	M125x2-6H	160	126	45	20	21	10	18	20°

Таблица 3.3



Обозначение	$d_1$	$d_2$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_6$
УНЕ3193-324-01	10	7	12	7	2,5	2,5	7	3,5
УНЕ3193-324-02	16	11	18	10	4,5	2,5	9	4,5

## Гайка SFERO типа LR

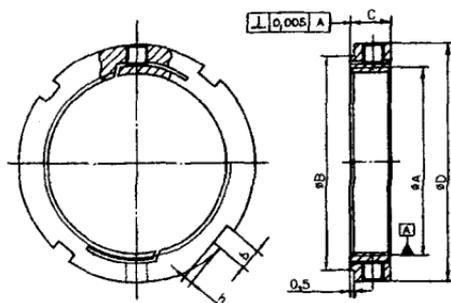


Обозначение	Резьба А	Размеры, мм				Винты	Допускаемый момент, Н·м	Допускаемая осевая сила, Н
		D	B	C	bхh			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
LR 1	12	24	19	12	4x2	1 винт М6	23	28500
LR 2	14	26	21				26	33500
LR 3	15	30	25				29	40500
LR 4	17	32	27				32	46100
LR 5	18	32	27				37	49000
LR 6	20	35	30				42	54600
LR 7	22	35	30				47	56600
LR 8	25	40	35		53		67100	
LR 9	30	45	40		59		81100	
LR 10	32	46	41		5x2		65	92900
LR 11	35	50	45				75	98000
LR 12	38	52	47				83	101900
LR 13	40	55	49		6x2.5		94	104000
LR 14	42	56	50				105	109300
LR 15	45	60	54				118	119200
LR 16	50	65	59				132	134900
LR 17	52	67	61				147	140400

1	2	3	4	5	6	7	8	9
LR 18	55	75	68	15	7x3	1 ВИНТ М8	512	168900
LR 19	60	80	73				532	184600
LR 20	65	85	78				560	203500
LR 21	70	90	82		8x3,5		587	219500
LR 22	75	95	87				615	237000
LR 23	80	105	97				650	255400
LR 24	85	110	102		10x4		675	273300
LR 25	90	115	106				713	292300
LR 26	95	120	111				750	308800
LR 27	100	125	116		12x5		790	325300
LR 28	105	130	119				830	341700
LR 29	110	135	124				870	358200
LR 30	115	140	129				930	377000
LR 31	120	145	134				960	394000

Таблица 3.5

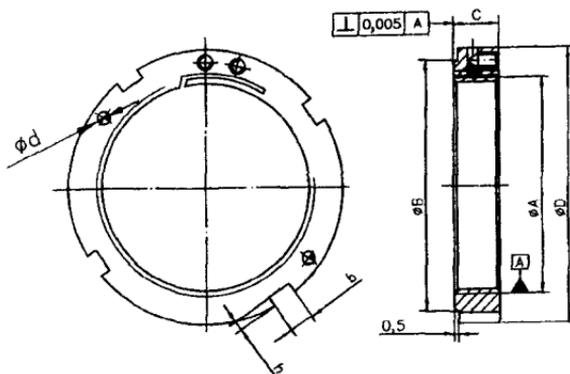
## Гайка SFERO типа LRE



Обозначение	Резьба А	Размеры, мм				Винты	Допускаемый момент, Н·м	Допускаемая осевая сила, Н
		D	B	C	b x h			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
LRE 7	22	35	30	12	4x2	2 винта М6	94	37800
LRE 8	25	40	35				106	48000
LRE 9	30	45	40				118	58000
LRE 10	32	46	41		5x2		130	74400
LRE 11	35	50	45				150	77700
LRE 12	38	52	47				166	82000

1	2	3	4	5	6	7	8	9
LRE 13	40	55	49	12	6x2,5	2 винта М6	188	85200
LRE 14	42	56	50				210	89600
LRE 15	45	60	54				236	100000
LRE 16	50	65	59				264	115600
LRE 17	52	67	61				294	120400
LRE 18	55	75	68				1024	144800
LRE 19	60	80	73	15	7x3	2 винта М8	1064	158300
LRE 20	65	85	78		8x3,5		1120	1781 00
LRE 21	70	90	82				1174	192100
LRE 22	75	95	87				1230	209000
LRE 23	80	105	97		10x4		1300	22800
LRE 24	85	110	102				1350	245800
LRE 25	90	115	106				1426	265800
LRE 26	95	120	111		12x5		1500	280800
LRE 27	100	125	116				1580	295800
LRE 28	105	130	119				1660	310800
LRE 29	110	135	124				1740	325700
LRE 30	115	140	129				1860	345200
LRE 31	120	145	134				1920	362800

## Гайка SFERO типа LF

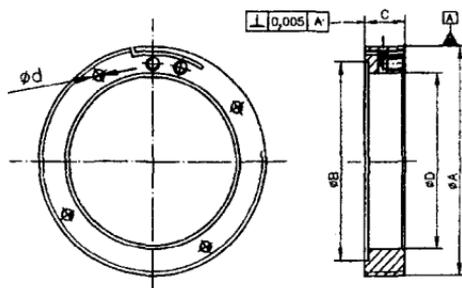


Обозначение	Резьба А	Размеры, мм						Винты	Допускаемый момент, Н·м	Допускаемая осевая сила, Н
		D	B	C	bхh	F	d			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
LF 1	12	28	22	15	4х2	20	3,2	1 винт М4	4	36200
LF 2	14	30	25			22			6	46600
LF 3	15	31	26			23			6	51500
LF 4	17	33	28			26			7	58700
LF 5	18	34	29			26			9	55400
LF 6	20	37	32			29			10	61800
LF 7	22	39	34		30	12	64700			
LF 8	25	43	38		5х2	33	2 винта М4	15	80200	
LF 9	30	48	43			39		20	100600	
LF 10	32	50	45			41		24	113500	
LF 11	35	53	48			44		29	118500	
LF 12	38	56	51			47		35	124500	
LF 13	40	58	52		50	41		127100		
LF 14	42	62	56		6х2,5	52		4,2	45	131300
LF 15	45	65	59			55			55	143400
LF 16	50	69	63			59			70	165200
LF 17	52	72	66			62			85	171900

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
LF 18	55	75	68	15	7x3	65	4,2	2 винта М5	105	241300
LF 19	60	80	73	72		130			263800	
LF 20	65	85	78	76		160			291000	
LF 21	70	90	82	81		200			313900	
LF 22	75	95	87	20	8x3,5	86	5,2	2 винта М6	220	347800
LF 23	80	105	97			93			240	371300
LF 24	85	110	102			98			250	394900
LF 25	90	115	106			104			265	422500
LF 26	95	120	111	12x5	10x4	107	5,2	2 винта М6	295	446300
LF 27	100	125	116			114			325	470200
LF 28	105	130	119			118			365	494000
LF 29	110	135	124			122			405	517800
LF 30	115	140	129	12x5	12x5	127	5,2	2 винта М6	450	545000
LF 31	120	145	134			132			500	574300

Таблица 3.7

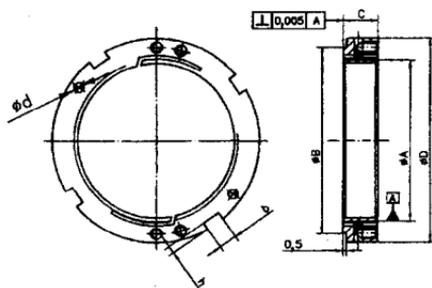
## Гайка SFERO типа LF



Обозначение	Резьба А	Размеры, мм				Винты	Допускаемая осевая сила, Н
		D	B	C	d		
1	2	3	4	5	6	7	8
LX 28	28	12	16	15	3,2	1 винт М4	97200
LX 30	30	14	20				104400
LX 32	32	15	20				119500
LX 34	34	18	22				127200
LX 37	37	20	26				138800
LX 39	39	22	28				146500
LX 40	40	23	29				152800

1	2	3	4	5	6	7	8
LX 42	42	24	31	15	3,2	2 винта М4	167700
LX 44	44	26	32				168500
LX 46	46	28	33				179200
LX 47	47	29	34				183200
LX 49	49	31	34				188100
LX 50	50	32	35				173500
LX 54	54	36	40				187700
LX 57	57	39	44				198300
LX 60	60	42	50				208900
LX 63	63	43	46				219500
LX 64	64	44	46				223000
LX 67	67	47	47				237400
LX 70	70	48	48				248200
LX 74	74	54	57				262600
LX 77	77	55	64	275000			
LX 80	80	55	55	20	4,2	2 винта М5	384800
LX 82	82	62	68				394500
LX 87	87	67	76				421400
LX 92	92	72	80				450000
LX 97	97	77	85				474700
LX 100	100	80	90				488000
LX 102	102	82	91				497900

## Гайка SFERO типа LFE



Обозначение	Резьба <i>A</i>	Размеры, мм					Винты	Допус- каемый момент, Н·м	Допуска- емая осевая сила, Н		
		<i>D</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>b</i> × <i>h</i>	<i>d</i>					
LFE 7	22	39	34	15	4×2	3,2	4×M4	24	37800		
LFE 8	25	43	38		15	5×2	4 винта M5	30	49400		
LFE 9	30	48	43					40	67100		
LFE 10	32	50	45					48	83600		
LFE 11	35	53	48					58	87400		
LFE 12	38	56	51					70	91700		
LFE 13	40	58	52					82	96500		
LFE 14	42	62	56			6×2,5		4,2	90	96800	
LFE 15	45	65	59						110	108800	
LFE 16	50	69	63						140	132200	
LFE 17	52	72	66						170	137600	
LFE 18	55	75	68						210	193000	
LFE 19	60	80	73						260	211000	
LFE 20	65	85	78			7×3			5,2	320	238600
LFE 21	70	90	82							400	257300
LFE 22	75	95	87	440						298100	
LFE 23	80	105	97	8×3,5	4 винта M6		480			318300	
LFE 24	85	110	102				500			338600	
LFE 25	90	115	107				530			366700	
LFE 26	95	120	111			10×4	590			387400	
LFE 27	100	125	117				650			408100	
LFE 28	105	130	119				730			428800	
LFE 29	110	135	124	12×5			810	449500			
LFE 30	115	140	129				900	476900			
LFE 31	120	145	134				1000	508600			

Гайка *tina Spieth* (рис. 3.1, г) имеет легко деформируемый корпус и состоит из гайки 1 и контргайки 2. Гайка навинчивается на вал вручную, при этом винты 3 не затянуты. Когда её торец не дошёл несколько миллиметров до торца подшипника или проставочной втулки, с помощью четырёх винтов опорный торец гайки устанавливают перпендикулярно оси шпинделя. Затем гайку завинчивают до упора и окончательно затягивают винты. Резьба гайки равномерно прижимается к резьбе винта, и деформация шпинделя отсутствует.

Гайка, изображенная на рис. 3.1, д, фиксируется на шпинделе с помощью винта 1 и медного или стального сухаря 2 (на стальном сухаре нарезана резьба).

### 3.2. Устройства для смазывания подшипников

Способы смазывания подшипников качения шпиндельных опор описаны в учебном пособии [4] и специальной литературе [13]. В данном пособии приводятся дополнительные сведения: о применяемых смазочных материалах и минимальном смазывании.

Для образования смазочного слоя, разделяющего дорожки и тела качения в подшипниках, требуется небольшой объем масла. Свойства этого слоя связаны с частотой вращения шпинделя. При увеличении частоты вращения в смазочном слое растут потери на трение, повышается температура подшипника, а вязкость масла снижается. Это ведет к уменьшению толщины масляной пленки, повышению вероятности непосредственного контакта вершин микронеровностей рабочих поверхностей деталей подшипника и, следовательно, к возрастанию вероятности его отказа.

При смазывании подшипника жидким материалом мощность потерь на трение  $P$  и температура масляного слоя  $\theta$  зависят от объема смазочного материала  $V$ , вводимого в подшипник (рис.3.2). Если объем слишком мал (область  $A$ ), то тела и дорожки качения разделены не полностью, имеют место повышенные потери на трение и износ. С увеличением  $V$  достигается полное разделение рабочих поверхностей, температура масляного слоя и потери на трение становятся минимальными (область  $B$ ). При дальнейшем увеличении подачи  $V$  температура  $\theta$  и потери на трение  $P$  возрастают (область  $C$ ). В области  $D$  наступает равновесие между теплообразованием за

счет возрастания потерь на трение и теплоотводом, который обеспечивается маслом. Дальнейшее увеличение подачи масла (область *E*) сопровождается возрастанием теплоотвода и снижением его температуры.

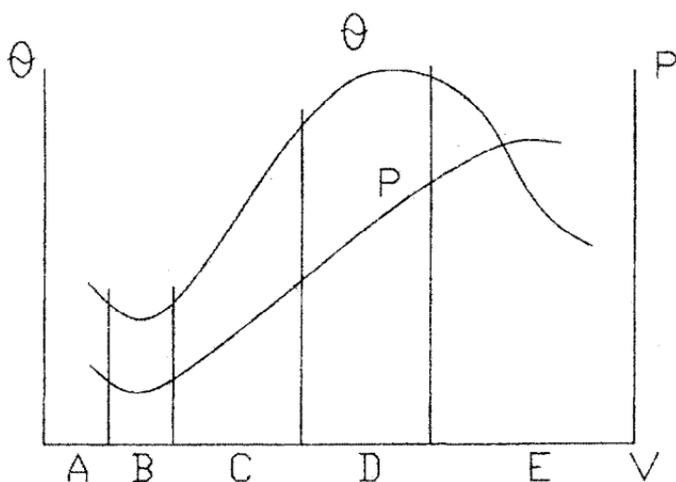


Рис. 3.2. Влияние подачи жидкого смазочного материала на температуру опоры и потери на трение

Для опор шпиндельных узлов создаются режимы смазывания, соответствующие областям *B* (минимальное смазывание) и *D* (обильное смазывание).

Минимальное смазывание жидким материалом (без отвода тепла из опоры) осуществляется путем подачи в опору масляного тумана или масловоздушной смеси.

### Смазывание масловоздушной смесью

Схема системы смазывания масловоздушной смесью приведена на рис. 3.3. Сжатый воздух, прошедший через фильтр и влагоотделитель, через вентиль 5 попадает в дозирующее устройство 3, в котором захватывает небольшую дозу масла, поступающего из резервуара 4. Из смесителя 2 масло увлекается воздушным потоком, проходящим через дроссель 6, по внутренней поверхности трубопровода «ползет» к дюзам 1 и 7 и, наконец, в очень малом объеме попадает в подшипники.

Таким образом воздух используется в качестве надежного транспортирующего средства и обеспечивает непрерывный поток масла. Расход масла зависит только от расхода воздуха, регулируемого дросселем 6, и для каждой смазочной точки может регулироваться отдельно. По каналам А, Б и другим, расположенным по обе стороны каждого подшипника, отработанное масло сливается или отсасывается из опоры. Для того чтобы масло распределялось по поверхности трубопровода, он должен быть достаточно длинным (более 0,5 м). Масло должно подводиться непосредственно к смазываемым поверхностям. Для этого дюзу размещают в смазочном отверстии наружного кольца или у дорожки качения наружного кольца. Используют также насосный эффект радиально-упорных подшипников. Избыточное давление, возникающее в опоре, защищает ее от загрязнений. Так как в опоре отсутствует масляный туман, то воздушная среда в цехе им не загрязняется.

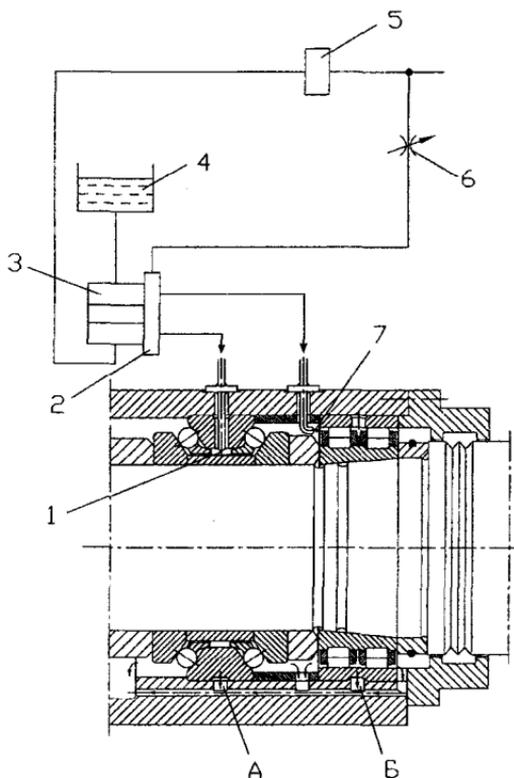


Рис. 3.3 Схема системы смазывания масломоздушной смесью

Расход масла ( $\text{мм}^3/\text{ч}$ ) вычисляется по зависимости

$$Q = 0,03dB,$$

где  $d$  – диаметр отверстия подшипника, мм;

$B$  – ширина подшипника, мм.

Вязкость масла должна быть достаточной для образования в подшипнике разделительного слоя. При чрезмерной вязкости увеличиваются потери на трение. Необходимую вязкость определяют по диаграммам, в зависимости от частоты вращения шпинделя, нагрузки на опору и ее температуры. Учитывая параметры подшипников и условия их работы, находят минимально допустимый расход смазочного материала. Особенности подвода масляной струи и отвода отработанного масла описаны в [4] и специальной литературе.

Расчетное значение  $Q$  корректируется по результатам экспериментальных исследований. Масловоздушное смазывание применяется для опор высокоскоростных шпинделей.

### **Смазывание масляным туманом**

Масляный туман образуется в генераторе (рис. 3.4), когда сжатый воздух, прошедший через фильтр, влагоотделитель и трубку Вентури, захватывает и распыляет масло, поднимающееся по трубке из резервуара. Тяжелые частицы масла возвращаются в резервуар, а частицы размером  $0,5 \dots 5$  мкм вместе с воздухом по трубопроводам перемещаются к смазочным точкам. Расход масла регулируется путем дросселирования воздушного потока.

Смазывание масляным туманом применяется при высоких скоростях вращения шпинделя, защищает опору от загрязнений. Недостатком способа является возможность загрязнения туманом воздушной среды.

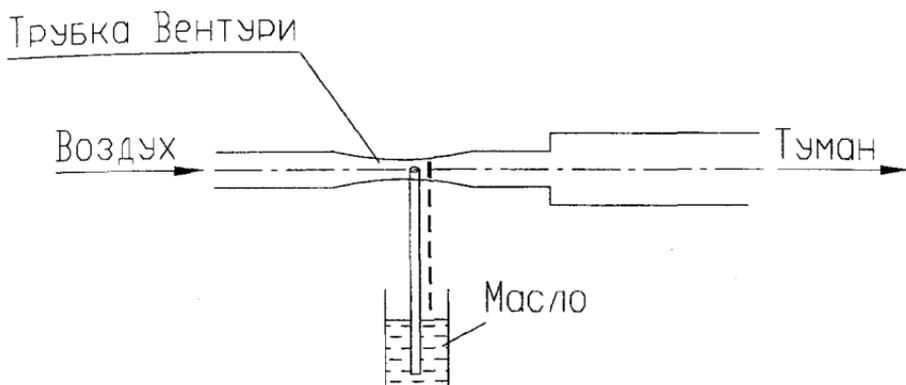


Рис. 3.4. Схема генератора масляного тумана

### **Циркуляционное смазывание жидким материалом**

Жидкие масла хорошо отводят тепло от опор шпинделя, уносят из них продукты изнашивания, делают ненужными надзор и периодический уход за подшипниками.

### **Смазывание пластичным материалом**

Обильное смазывание пластичным материалом обеспечивает достаточно высокий параметр быстроходности (всего на 30 % ниже, чем при смазывании жидким маслом) и надежную защиту от проникновения в опору загрязнений и от коррозии. Такое смазывание наиболее пригодно для автономных шпиндельных узлов, а также для опор шпинделей, расположенных наклонно или вертикально, когда при смазывании жидким маслом требовались бы уплотнения сложной конструкции.

При проектировании опор, смазываемых пластичным материалом, определяют его вязкость и минимальный объем, требуемый для опоры. Так как под действием нагрузок и тепла пластичное масло постепенно теряет смазочные свойства, то периодически в опоры надо вводить дополнительные объемы масла [4]. Для этого предусматривают пресс-масленки 1 и 2 (рис. 3.5) и систему каналов в шпиндельной бабке.

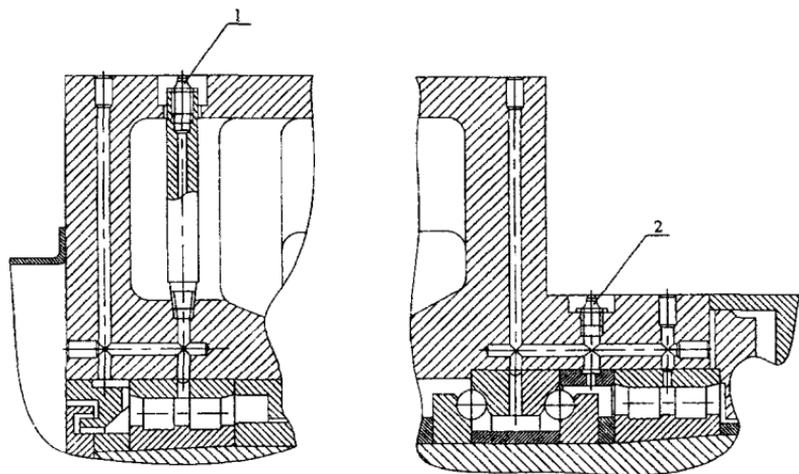


Рис. 3.5. Элементы для подвода пластичного материала в подшипники

### 3.3. Уплотнения опор

Уплотнения защищают подшипники от загрязнений и смазочно-охлаждающей жидкости, препятствуют вытеканию смазочного материала из опор. Уплотнение проектируют с учетом метода смазывания опоры, положения шпинделя (горизонтальное и вертикальное), окружной скорости на поверхности его шеек, степени загрязнения пространства у опоры. В уплотнительном устройстве предусматривают конструктивные элементы разного назначения: пылеотбойные, предохраняющие опоры от попадания смазочно-охлаждающей жидкости, обеспечивающие внутреннюю герметичность (не пропускают смазочный материал из плоскости опоры во внешнюю среду), обеспечивающие внешнюю герметичность (препятствуют проникновению в опору смазочно-охлаждающей жидкости и пыли, а также масла, загрязненного продуктами износа деталей коробки скоростей), дренажные отверстия для отвода утечек смазочного материала и смазочно-охлаждающей жидкости.

Уплотнения, предназначенные для создания внутренней и внешней герметичности, можно разделить на бесконтактные, контактные и комбинированные.

## Бесконтактные статические уплотнения

Аксиальное щелевое уплотнение А и Б (рис.3.6) образуется цилиндрическими поверхностями, радиальное В – параллельными плоскостями. Аксиальное лабиринтное уплотнение статического типа образуется двумя цилиндрическими поверхностями: гладкой и имеющей кольцевые канавки Г полукруглого профиля или треугольного профиля Д. Значительное сопротивление потоку создает уплотнение с канавками треугольного профиля (рис. 3.7). Бесконтактное уплотнение с зазором в несколько сотых миллиметра образуется с помощью металлического кольца 5 (рис. 3.8), которое при вращении шпинделя притирается к торцу внутреннего кольца подшипника. Здесь 1 – гайка, фиксирующая осевое положение конструктивных элементов шпиндельного узла; 2 – шкив зубчатого ременного привода датчика резбонарезания; 3 и 4 – гильзы, обеспечивающие постоянство натяга в подшипниках задней опоры при нагревании шпинделя; А – зазор, обеспечивающий возможность теплового смещения задней опоры.

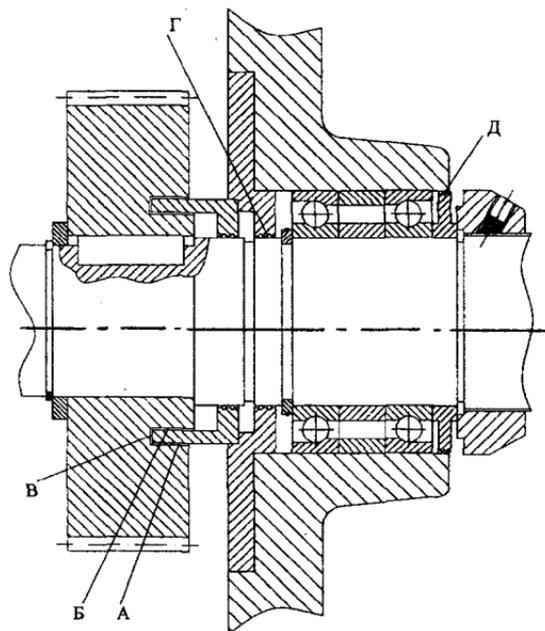


Рис. 3.6. Опора шпинделя с уплотнениями

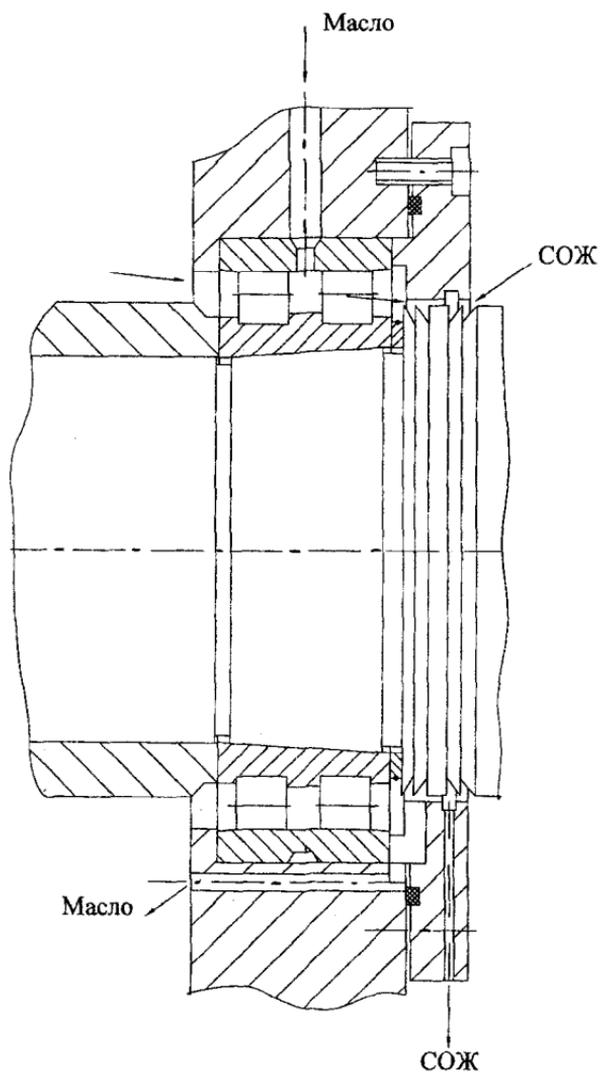


Рис. 3.7. Опора шпинделя с уплотнениями

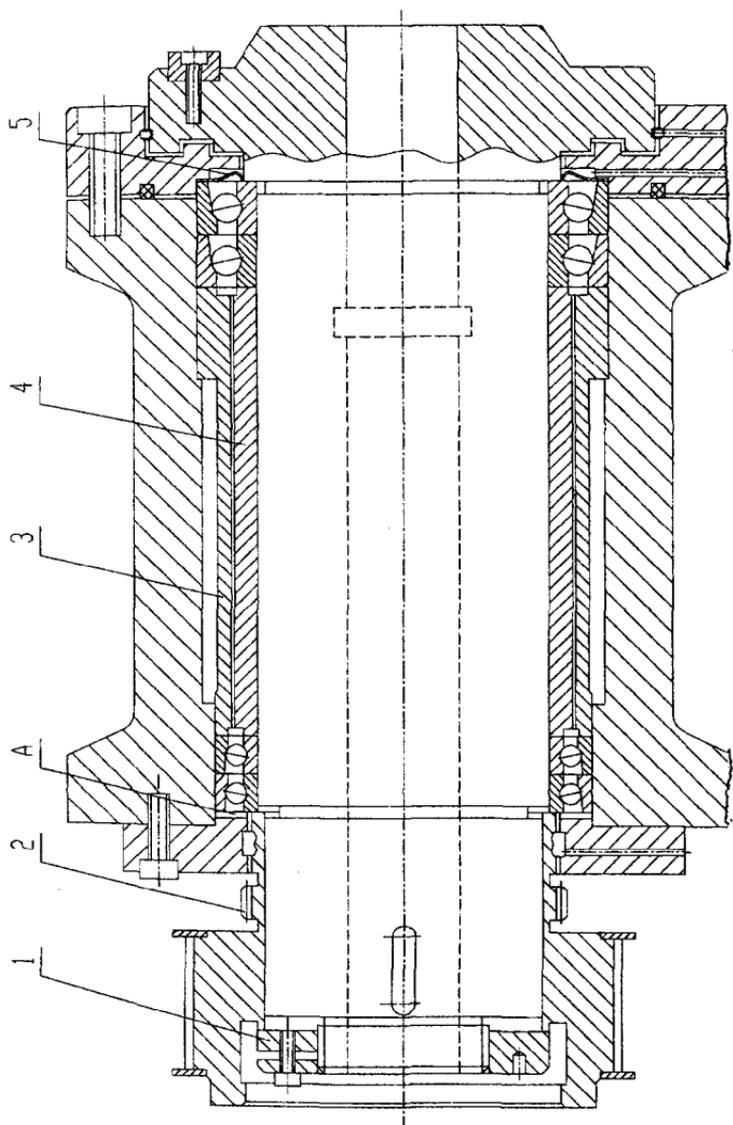


Рис. 3.8. Шпиндельный узел с бесконтактными уплотнениями опор

Рассмотренные бесконтактные уплотнения наиболее пригодны при использовании пластичных смазочных материалов.

### **Бесконтактные динамические уплотнения**

Эти уплотнения имеют более высокую герметичность по сравнению со статическими, что обуславливается центробежными силами, действующими на поток масла.

*Зигзагообразные лабиринтные уплотнения радиального типа* (рис. 3.9, а) применяют в опорах как с пластичным, так и с жидким смазочным материалом. Эти уплотнения выполняют свою функцию тем лучше, чем выше частота вращения шпинделя. При диаметре шейки шпинделя  $d_0 \leq 60$  мм рекомендуется применять уплотнения с диаметрами  $d_0, d_1, D_1, \dots, D_5$ , а при  $d_0 > 60$  – с диаметрами  $d_0, d_1, D_1, \dots, D_9$ . Ширину кольцевых пазов принимают равной 8 мм. Радиальный  $h_r$  и аксиальный  $h_a$  зазоры (в мкм) в лабиринтных уплотнениях рекомендуется определять в зависимости от диаметра  $d_n$  лабиринтной щели:  $h_r = (1,5 \pm 0,5) d_n$  для станков классов точности Н и П;

$h_r = (1 \pm 0,5) d_n$  для станков классов точности В, А и С;  $h_a \approx (10 \pm 5) d_n$ . В лабиринтно-дисковом уплотнении (рис. 3.9, б) лабиринтный зазор образован дисками и кольцами. В таком уплотнении  $h_r = (5 \pm 1,5) d_n$ ,  $h_a = (1 \dots 1,5) d_n$ .

Пример конструктивного исполнения передней опоры с радиальным зигзагообразным уплотнением приведён на рис. 3.10.

К бесконтактным динамическим уплотнениям относятся также канавочные уплотнения, применяемые при высоких скоростях вращения шпинделя и достаточно высокой вязкости смазочного материала. Одна из конструкций уплотнений представляет собой совокупность колец 1 и 2 с канавками треугольного профиля (рис. 3.11). В другой конструкции (рис. 3.12) применены два уплотнения с дренажными каналами: 1 – для предохранения опоры от проникновения в неё СОЖ, 2 – для предотвращения вытекания масла из опоры. Внутреннее кольцо уплотнений изготавливается из стали, наружное – из алюминия или полимерного материала. Полимерное кольцо получается склеиванием ленты. Более простым способом изготавливают уплотнения с фасонной щелью переменного радиуса (позиция Ж на рис. 3.15). Оно件годно при смазывании опоры пластичным и жидким материалом, а также масляным туманом.

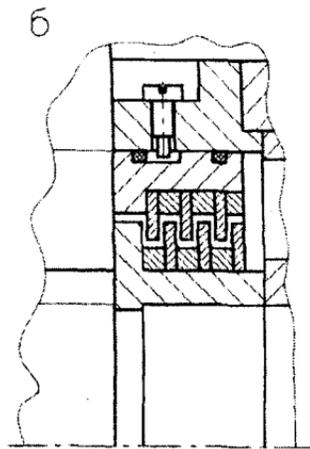
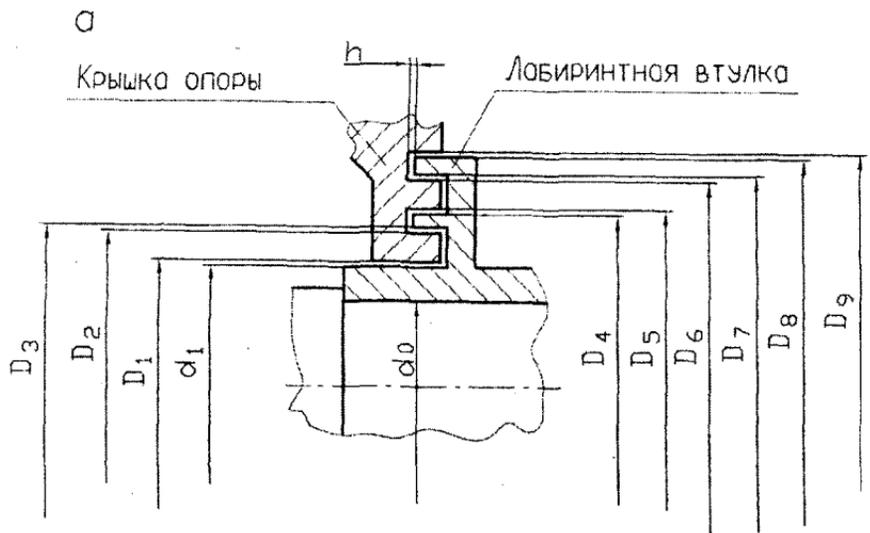
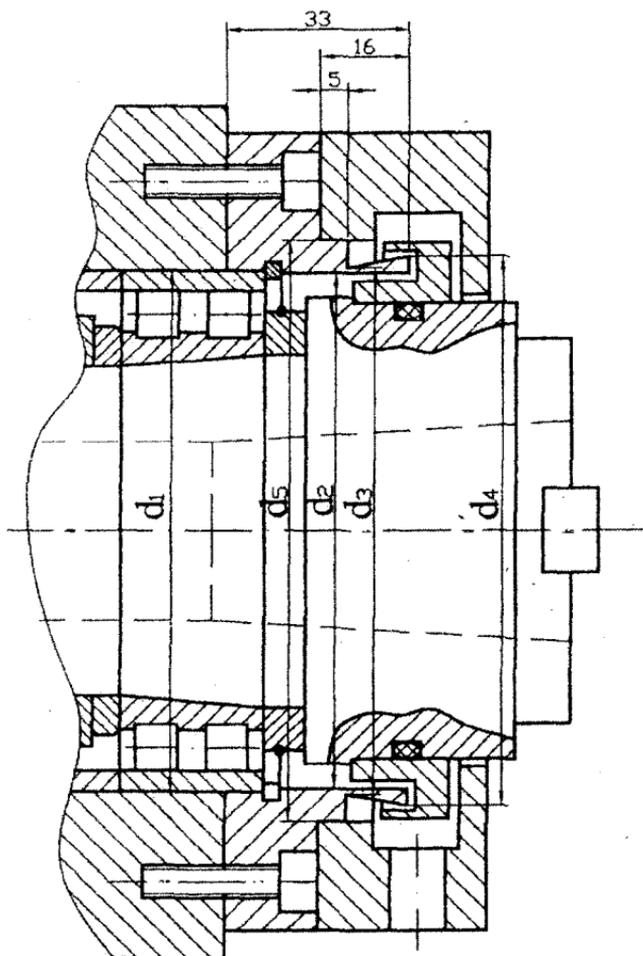


Рис. 3.9. Схемы лабиринтных уплотнений



$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$
<b>Предельные отклонения</b>				
<i>H9</i>	+0,2	-0,2	-0,2	<i>h8</i>
80	66	69	73	80
125	112	116	120	180
150	137	141	145	160

Рис. 3.10. Передняя опора с лабиринтным уплотнением

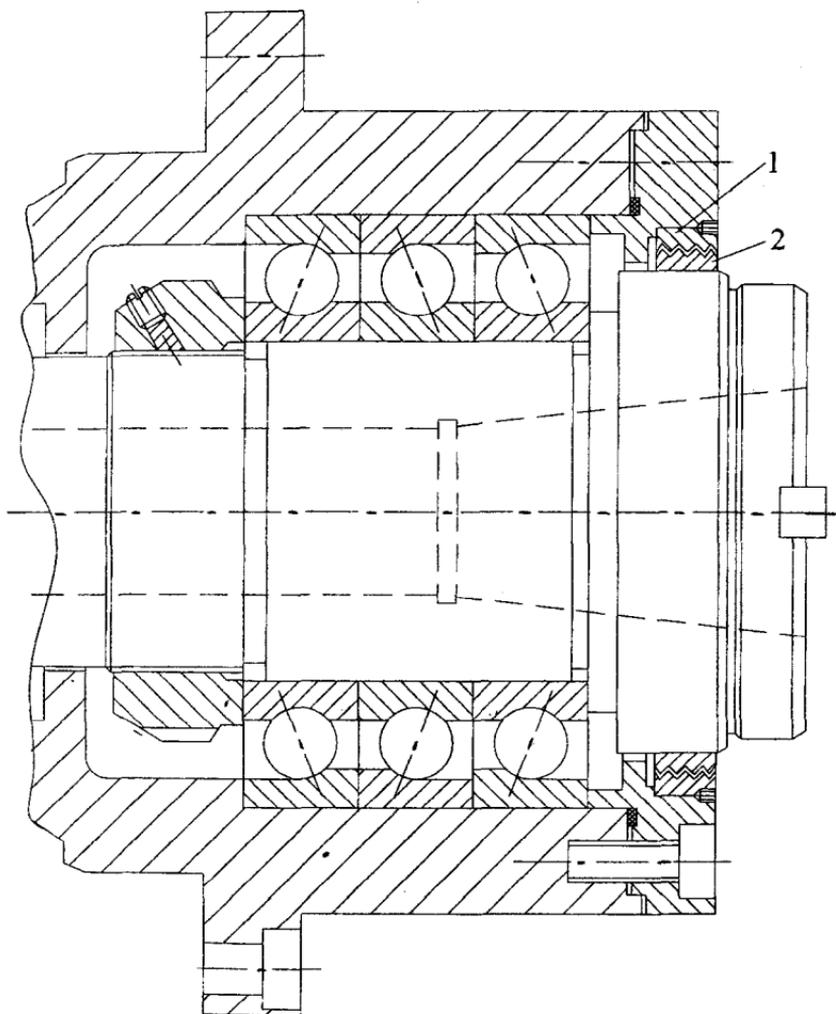


Рис. 3.11. Передняя опора с канавочным уплотнением

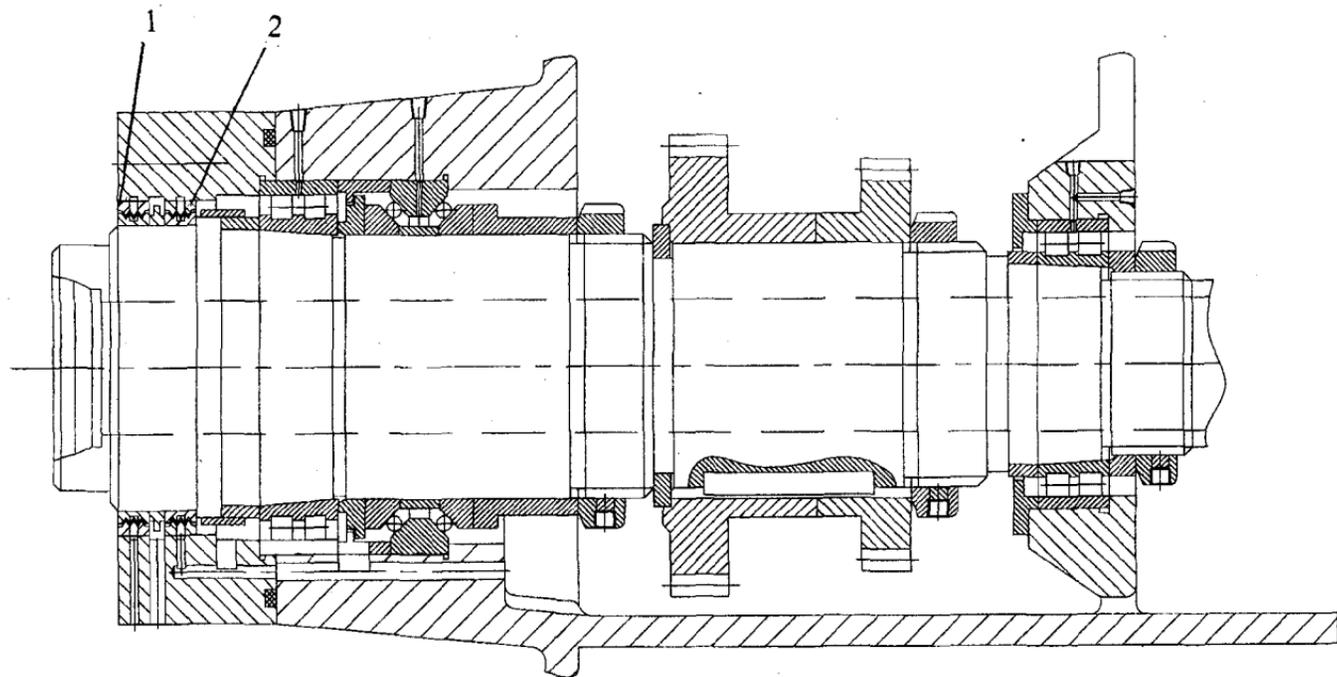


Рис. 3.12. Шпиндельный узел с канавочными уплотнениями передней опоры

## Маслосбрасывающие уплотнения

Жидкий смазочный материал образует на поверхности шпинделя масляную плёнку, которая способна перемещаться вдоль его оси и проходить через уплотнения. Для сброса её в полость шпиндельной бабки служат маслосбрасывающие уплотнения (рис. 3.13), имеющие острые кромки, с которых масло срывается под действием центробежных сил. Эти уплотнения работают более эффективно, когда находятся в кольцевой камере, соединённой дренажным каналом с полостью шпиндельной бабки. Аналогичные уплотнения применяются и для дренажа СОЖ.

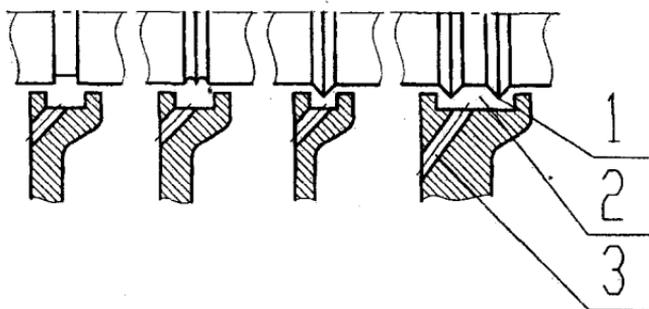


Рис. 3.13. Маслосбрасывающие уплотнения

## Уплотнения с воздушным барьером

Для улучшения защиты от проникновения СОЖ и пыли из воздушной среды цеха в уплотнение опоры подводится хорошо очищенный воздух от цеховой сети. Ту же функцию выполняет и масляный туман, который к тому же смазывает и охлаждает подшипники. Так как масляный туман загрязняет атмосферу цеха, то использование его в качестве барьера следует допускать в станках, хорошо изолированных от внешней среды.

## Контактные уплотнения

Благодаря минимальному зазору между сопряженными элементами эти уплотнения обладают высокой герметичностью и в то же время

пониженной износостойкостью. Из-за трения в месте контакта с уплотнением шпindel при высокой скорости вращения нагревается.

*Торцовое уплотнение с V-образной резиновой манжетой 1* (рис. 3.14, а) в случае смазывания опоры жидким материалом применяется при скорости в контакте до 15 ... 20 м/с. Оно пригодно и при смазывании пластичным материалом. Когда шпindel не вращается, уплотнение действует как торцовое манжетное и не выпускает смазочный материал из опоры (выполняет функцию стояночного уплотнения). При определенной частоте вращения усик манжеты под действием центробежных сил отходит от торцевой поверхности кольца 2, возникает радиальное бесконтактное щелевое уплотнение. Уплотнительное устройство может оснащаться двумя (рис. 3.14, б) и тремя V-образными манжетами.

*Уплотнения с резиновой армированной манжетой* (рис. 3.14, в) применяют при циркуляционном смазывании жидким материалом, окружной скорости на поверхности шейки шпинделя не более 5 м/с и охлаждении подшипников и уплотнения.

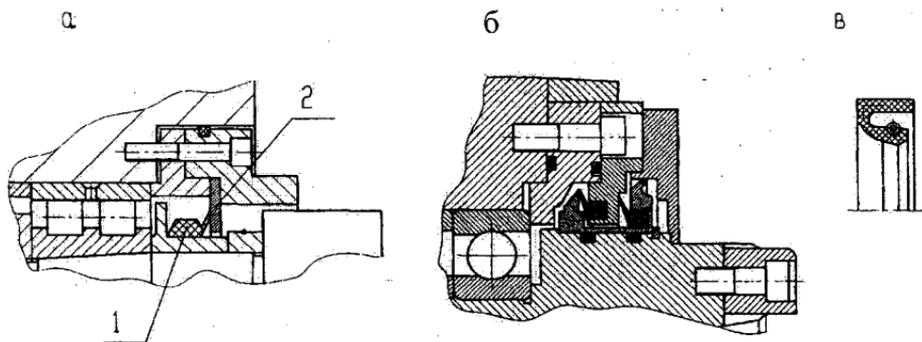


Рис. 3.14. Контактные уплотнения

### Рекомендации по конструированию и выбору уплотнений

Уплотнительное устройство обычно компонуют из элементов разного функционального назначения. Например, задняя опора, смазываемая пластичным материалом (рис. 3.15, а), с помощью щелевого уплотнения В, лабиринтного Г и дренажного отверстия Б защищена от проникновения в неё жидкого материала, загрязнен-

ного продуктами износа деталей шпиндельной бабки. Внутренняя герметичность этой опоры обеспечена уплотнениями А и Д. Для создания внутренней герметичности в передней опоре, смазываемой жидким материалом (рис. 3.15,б), предусмотрены уплотнения Е и Ж с дренажными каналами Н и М, а также лабиринтное уплотнение Л. Внешняя герметичность обеспечена щелевым уплотнением П, уплотнением И, сбрасывающим СОЖ, и дренажным отверстием К. Тип уплотнений опор качения шпиндельного узла (рис. 3.16) можно выбрать по табл. 3.9 [7] в зависимости от его расположения, метода смазывания подшипника, параметра быстроходности шпинделя  $dn_{\max}$  (здесь  $d$  – диаметр передней шейки шпинделя, мм;  $n_{\max}$  – максимальная частота вращения, об/мин); места расположения привода и других параметров. В табл. 3.9 использованы обозначения:

А – передний конец шпинделя обращен вверх;

Б – передний конец шпинделя обращен вниз;

І – внешняя среда загрязнена мало (стружка сливная, СОЖ отсутствует);

ІІ – внешняя среда загрязнена средне (наличие любой стружки и капель СОЖ);

ІІІ – внешняя среда загрязнена сильно (наличие любой стружки, абразива и большого количества СОЖ).

Наиболее часто применяются лабиринтные уплотнения (примерно в 90 % случаев). Они пригодны как при низких, так и при высоких частотах вращения.

Если в зону лабиринтного уплотнения попадает много СОЖ или стружки, его дополняют щелевым уплотнением, а при смазывании пластичным материалом – контактным уплотнением.

Бесконтактные щелевые уплотнения применяются при смазывании пластичным материалом и масляным туманом, когда на них не действуют СОЖ и стружка. Если подшипники вращаются с высокой частотой при обильном циркуляционном смазывании, бесконтактное щелевое уплотнение дополняют уплотнением в виде масло-сбрасывающих канавок с дренажным отверстием. Если в зону уплотнительного устройства попадает СОЖ, для создания внешней герметичности предусматривают ещё одно уплотнение.



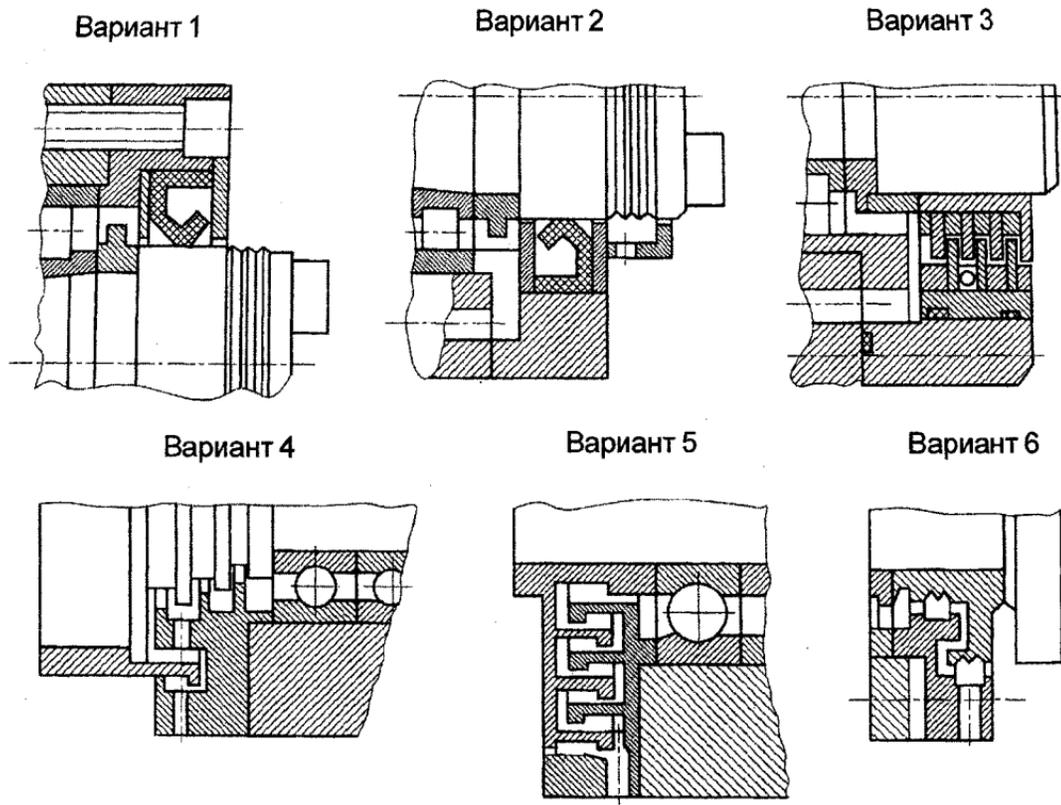


Рис. 3.16. Схемы уплотнений шпиндельных опор

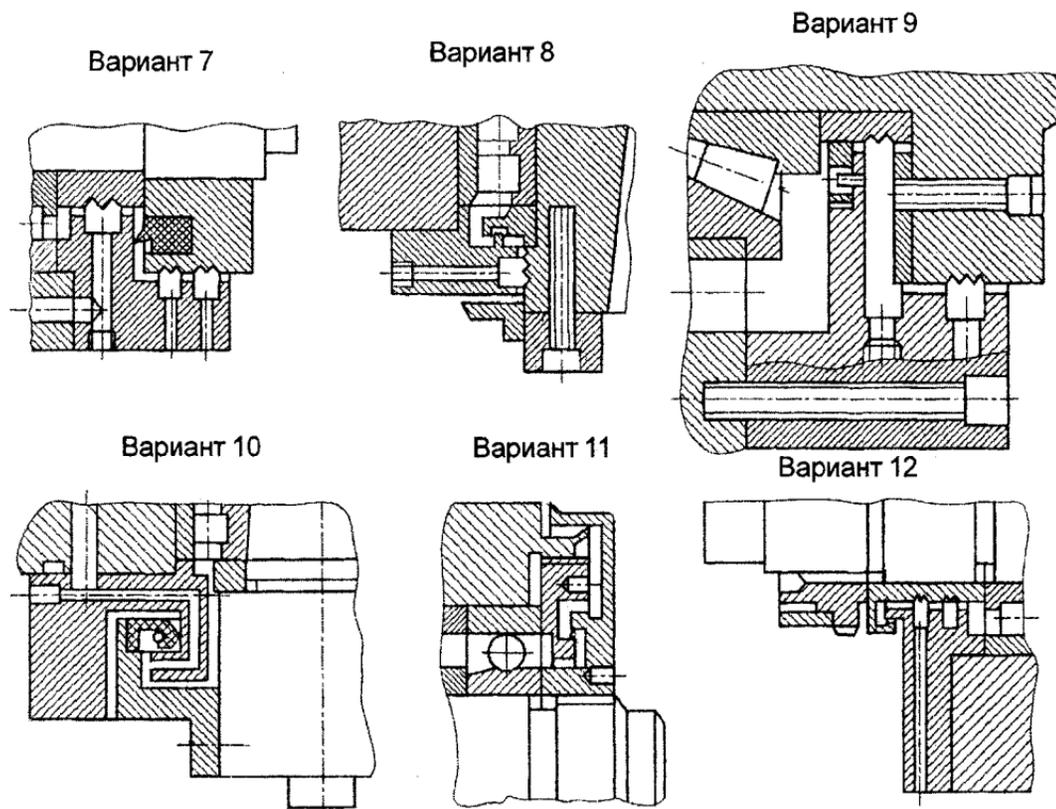
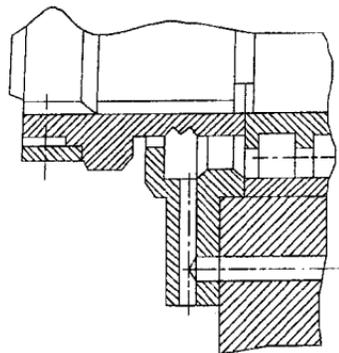
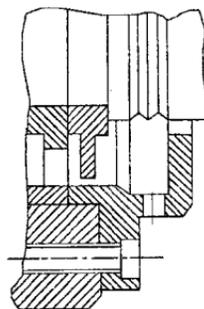


Рис. 3.16 (продолжение)

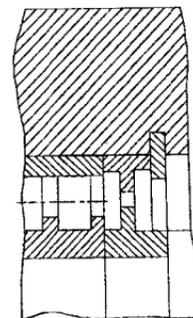
Вариант 13



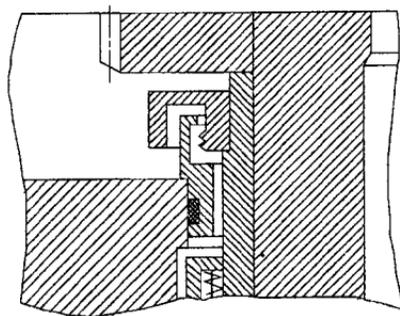
Вариант 14



Вариант 15



Вариант 16



Вариант 17

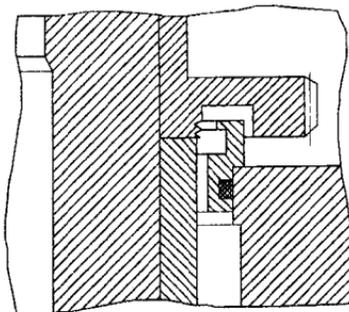


Рис. 3.16 (окончание)

## Рекомендации по выбору уплотнений в зависимости от условий их эксплуатации

Вариант уплотнений	Опора		Расположение уплотнений		Метод смазывания опоры					$Dn_{\max}$ мм · об/мин			Расположение осей вращения опоры			Внешняя среда			Место расположения привода		
	передняя	задняя	наружное	внутреннее	пластичным материалом	капельное	циркуляционное	масляным туманом	выпрыскиванием	менее $1,5 \cdot 10^5$	от $1,5 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^5$	более $5 \cdot 10^5$	горизонтальное	вертикальное А	вертикальное Б	I	II	III	между опорами	шкворень, муфта на заднем конце	зубчатое колесо на заднем конце
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	+		+			+	+			+			+		+		+	+	+	+	+
2		+	+			+	+			+			+	+			+	+	+	+	+
3	+	+	+		+	+				+	+	+	+				+	+	+	+	+
4	+		+		+	+		+		+	+	+	+			+	+		+	+	+
5	+		+		+	+		+		+	+	+	+		+	+	+		+	+	+
6		+	+		+	+		+		+	+	+	+	+	+	+	+			+	
7	+		+		+	+		+		+	+	+	+			+	+		+	+	+

Окончание табл. 3.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
8		+	+		+	+		+		+	+	+	+	+	+	+	+			+	+
9	+		+				+			+	+		+			+	+		+	+	+
10	+		+		+	+				+	+		+			+	+		+	+	+
11	+		+		+	+		+		+	+	+	+		+	+	+		+	+	+
12	+		+			+	+	+	+	+	+		+		+	+	+	+	+	+	+
13	+		+			+	+		+	+	+						+	+	+	+	+
14	+		+		+	+				+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
15	+		+					+		+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+
16		+	+		+	+		+		+	+	+	+			+	+	+	+	+	
17			+		+	+		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

## **4. КОМПОНОВКИ И КОНСТРУКЦИИ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ**

### **4.1. Принципы проектирования компоновок шпиндельных узлов**

Наиболее часто применяются двухопорные шпиндельные узлы. Трехопорные узлы имеют более высокую жесткость и точность, но дороже двухопорных. Как правило, передняя опора воспринимает не только радиальную, но и осевую нагрузку. При этом задняя опора имеет возможность перемещения в осевом направлении («плавать»), не препятствуя тепловому удлинению шпинделя. Для упрощения конструкции, сборки и обслуживания шпинделя иногда плавающей выполняют переднюю опору.

Передняя опора нагружена больше задней, поэтому ее делают более жесткой, для чего komponуют из нескольких подшипников. Погрешности передней опоры влияют на точность обработанных на станке деталей в большей степени, чем погрешность задней. В связи с этим в передней опоре устанавливают подшипники более точные по сравнению с подшипниками задней опоры.

### **4.2. Шпиндельные узлы с шариковыми радиально-упорными подшипниками в передней опоре**

Для обеспечения требований к жесткости шпиндельного узла опоры komponуют из нескольких радиально-упорных шариковых подшипников.

По схеме дуплекс-тандем два подшипника установлены так, что линии действия силы (линии контактов) параллельны между собой (рис. 4.1, а). Эта пара подшипников воспринимает осевую нагрузку только одного направления.

В компоновке дуплекс-Х (рис. 4.1, б) линии действия силы пересекаются с осью шпинделя в точках, находящихся близко друг к другу. Натяг обеспечивается при сжатии комплекта подшипников внешней силой, так как торцовые плоскости наружных колец, обращенные друг к другу, подшлифованны по сравнению с внутренними. Опора воспринимает осевую нагрузку обоих направлений, а также радиальную нагрузку.

В схеме дуплекс-О (рис. 4.1, в) линии действия силы пересекаются с осью шпинделя в далеко расположенных друг от друга точках, что обуславливает повышенную жесткость опоры. Она воспринимает осевую нагрузку обоих направлений. Подшлифованный обращенные друг к другу торцы внутренних колец.

Схема триплекс тандем-О (рис. 4.1, г) образована тремя радиально-упорными подшипниками, два из которых установлены по схеме тандем, третий – по схеме О. Опора воспринимает нагрузку обоих направлений. Диаметр посадочного отверстия в корпусе под третий подшипник увеличивают на  $\Delta = 0,2$  мм. При отсутствии зазора  $\Delta$  этот подшипник, имеющий более высокий натяг, чем два других, нагревался бы больше их, что сопровождалось бы дополнительным возрастанием натяга. При наличии зазора  $\Delta$  диаметр наружного кольца третьего подшипника при нагреве свободно увеличивается и натяг в нем остается стабильным.

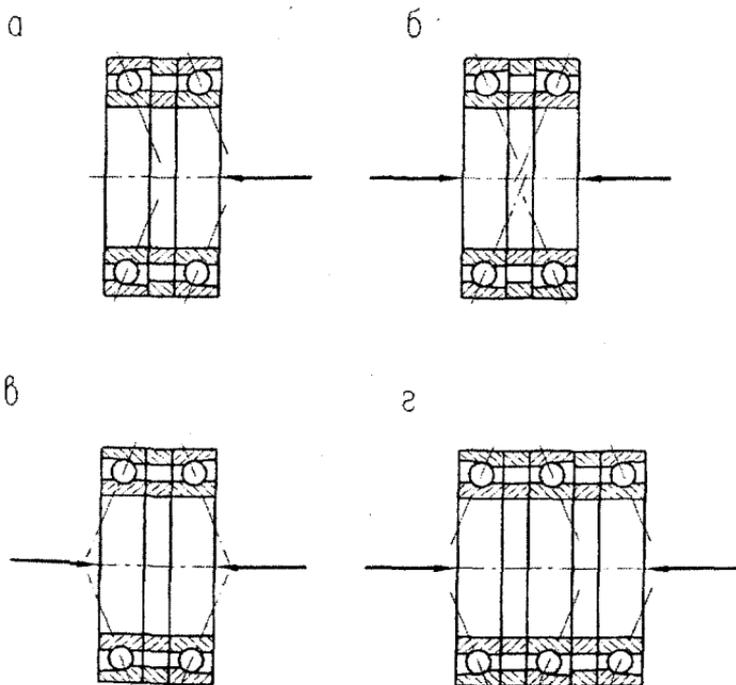


Рис. 4.1. Компоновки опор шпинделя из радиально-упорных подшипников

Схема установки подшипников существенно влияет на работоспособность опоры.

### Коэффициенты изменения показателей работоспособности радиально-упорных шариковых подшипников

Схема установки подшипников в опоре	Коэффициент изменения ширины опоры	Коэффициент изменения стати-ческой и динамической нагрузки	Коэффициент изменения предельной частоты вращения при натяге		
			Лег-ком	Среднем	Тяже-лом
По одному в опоре	1	1	1	0,8	0,5
По два в опоре по схеме дуплекс-О	2	1,62	0,8	1,65	0,4
По два в опоре по схеме дуплекс-Х	2	1,62	1	0,8	0,5
По три в опоре по схеме триплекс-тандем-О	3	1,62	0,8	0,5	0,3

Разработано несколько компоновок шпиндельных узлов.

*Шпиндельные узлы с одним шариковым подшипником в передней опоре.*

В этом случае в задней опоре устанавливается также один радиально-упорный подшипник и опоры образуют компоновку О (рис.4.2). Натяг подшипников регулируется автоматически при изменении давления масла, поступающего по каналу Б в полость 1, и соответствующем смещении втулки 2. Подшипники смазываются маслом, поступающим по каналам А и В. Шпиндель отличается высокой быстроходностью:  $dn_{\max} = (10...18) \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ , имеет диаметр от 20 до 80 мм, применяется в высокоскоростных расточных головках и шлифовальных станках.

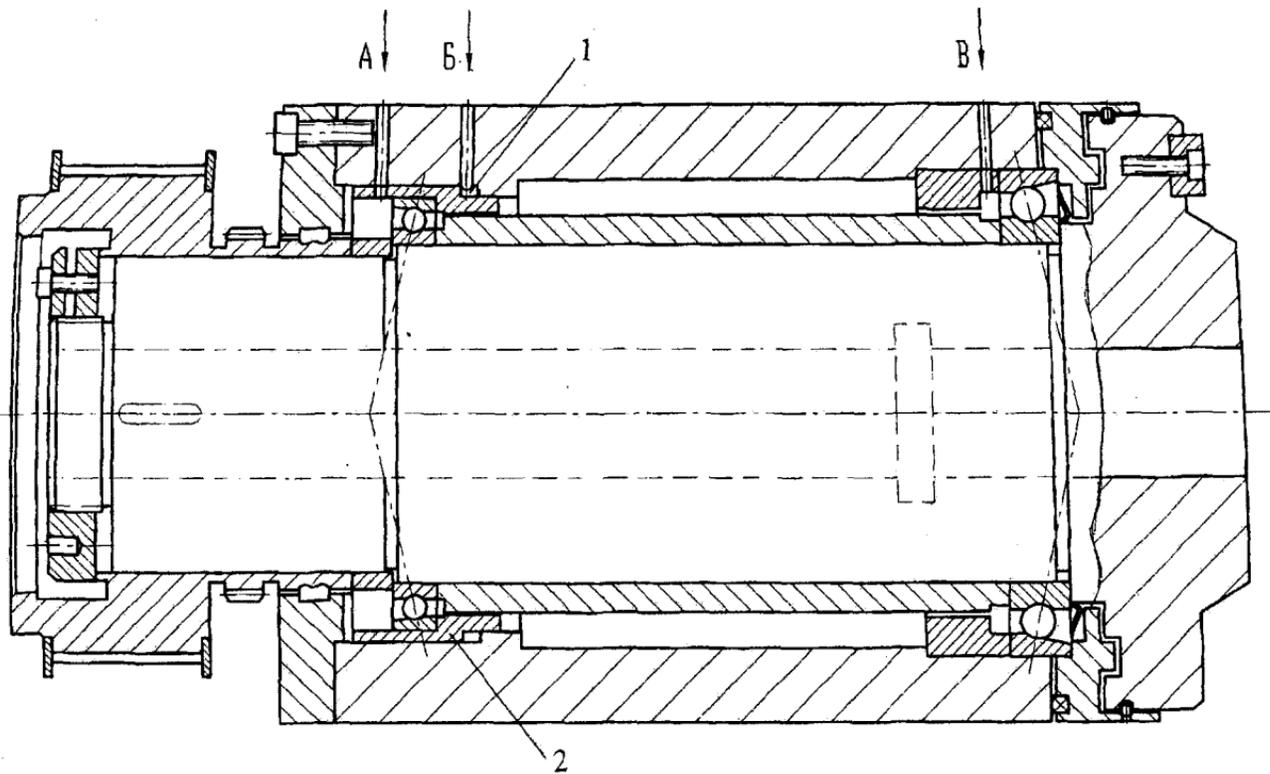


Рис. 4.2. Шпиндельный узел с одним радиально-упорным подшипником в передней опоре

*Шпиндельные узлы с двумя радиально-упорными шарикоподшипниками в передней опоре, установленными по схеме дуплекс-тандем.*

В задней опоре могут быть установлены подшипники разных типов. Это вместе со способом создания и величиной предварительного натяга, способами смазывания и охлаждения опор определяет жесткость и быстроходность шпиндельного узла.

Если в задней опоре установлен один радиально-упорный шариковый подшипник, то натяг в нем может быть мягким (создается пружинами или маслом) или жестким. В узле, изображенном на рис. 4.3, натяг в подшипнике 2 обеспечивается втулкой 4. Благодаря втулке 3 натяг в задней опоре при нагревании шпинделя не изменяется. Для автоматического контроля износа и выкрашивания инструмента использованы силоизмерительные подшипники 2 и 5, оснащенные датчиками силы. С помощью кабеля 1 сигнал вводится в электронное устройство обработки результатов измерения.

Если натяг в задней опоре, состоящей из одного радиально-упорного шарикоподшипника, мягкий и в опоры впрыскивается охлажденное масло, то быстроходность шпиндельного узла весьма высокая: частота вращения может достигать 12000 об/мин.

Для повышения жесткости в задней опоре устанавливаются два шариковых радиально-упорных подшипника по схеме дуплекс-тандем. Натяг в ней регулируется так же, как и в шпинделе на рис. 4.2. Параметр быстроходности узла  $dn_{\max} = (3,6 \dots 4,2) \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ .

Если в передней опоре создается мягкий натяг и обе опоры охлаждаются маслораздушной смесью (рис. 4.4, а), то быстроходность узла может быть значительно выше:  $dn_{\max}$  до  $11 \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ .

При охлаждении гильзы 1 и распорной втулки 2 (рис. 4.4, б) избыточная температура шпиндельного узла не превышает  $8 \dots 18^\circ \text{C}$  и обеспечивается температурная стабилизация натяга в опорах. Можно достичь частоты вращения 6300 об/мин даже при смазывании пластичными материалами.

Шпиндельные узлы, задней опорой в которых являются радиально-упорные шариковые подшипники, установленные по схеме дуплекс-О (рис. 4.4, в), при диаметре 20...80 мм обладают высокой быстроходностью:

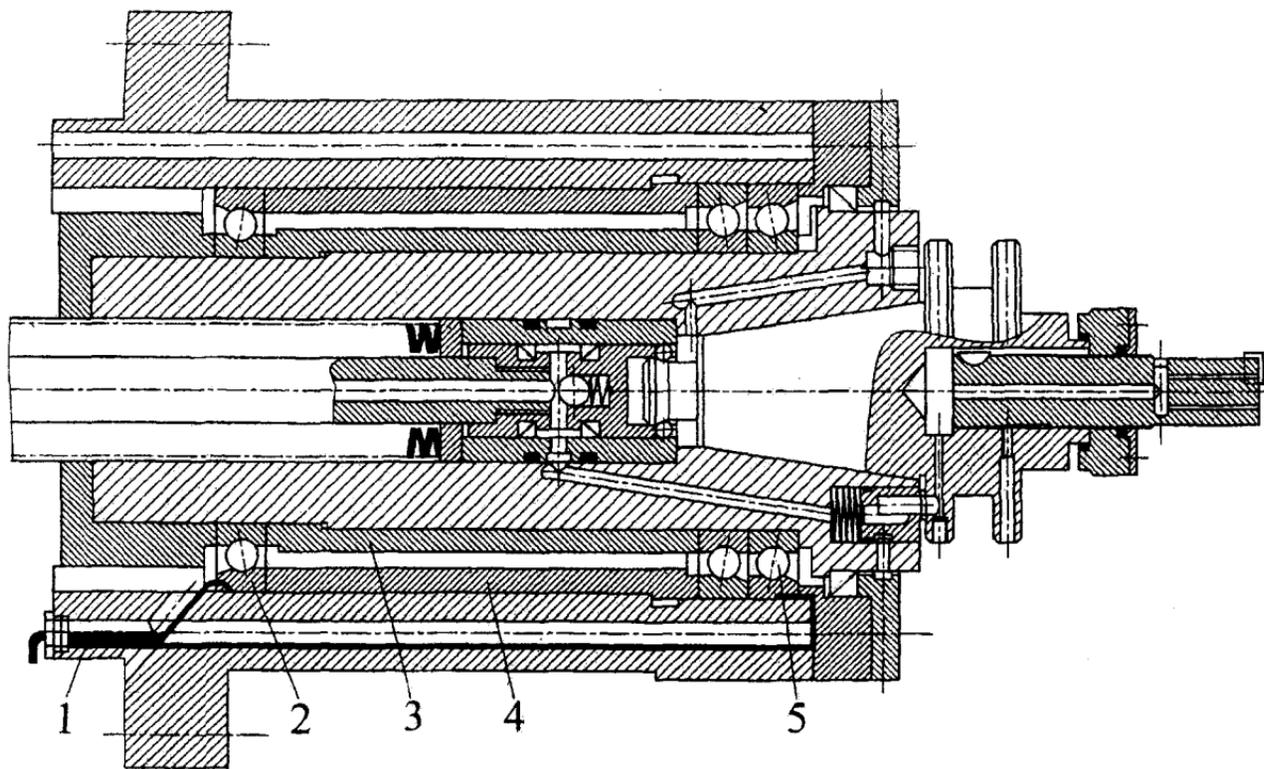


Рис. 4.3. Шпиндель с силоизмерительными подшипниками

$dn_{\max} = (8...12) \cdot 10^5$  мм·мин<sup>-1</sup>. Применяются в шлифовальных станках и расточных бабках. Способность шпинделя воспринимать осевую нагрузку, направленную слева направо, обеспечивается пружиной 1.

*Шпиндельные узлы с двумя радиально-упорными шарикоподшипниками в передней опоре, установленными по схеме дуплекс-О.*

Задней опорой таких шпинделей часто является пара радиально-упорных шариковых подшипников, также установленных по схеме дуплекс-О (рис. 4.5). Параметр быстроходности таких узлов при диаметре шпинделя 20-100 мм  $dn_{\max} = (6...11) \cdot 10^5$  мм·мин<sup>-1</sup>. Область применения – шлифовальные станки и расточные бабки для работы на сверхвысоких скоростях.

*Шпиндельные узлы с тремя радиально-упорными подшипниками в передней опоре.*

Эта опора комплектуется по схеме триплекс-тандем-О и воспринимает осевую нагрузку обоих направлений. Шпиндельные узлы различаются конструкцией задней опоры.

Многие фрезерные, фрезерно-расточные, легкие и средние токарные станки оснащаются шпиндельными узлами, в задней опоре которых находится роликовый двухрядный радиальный подшипник с короткими цилиндрическими роликами (рис.4.6,а). Такие шпиндельные узлы с диаметром шпинделя в передней опоре от 30 до 120 мм имеют параметр быстроходности  $d_m n_{\max} = (4...6) \cdot 10^5$  мм·мин<sup>-1</sup>.

Если в задней опоре установлен роликовый однорядный подшипник с цилиндрическими роликами, то она вследствие меньших потерь на трение нагревается меньше, чем опора шпинделя по схеме 4.6, а. Частота вращения шпинделя может быть повышена, а задний подшипник можно отрегулировать с меньшим зазором или даже без зазора.

Если задняя опора представляет собой комплект двух шариковых радиально-упорных подшипников, установленных по схеме дуплекс-О (рис. 4.6, б), то шпиндель имеет повышенную жесткость и параметр быстроходности  $dn_{\max} = (4...6) \cdot 10^5$  мм·мин<sup>-1</sup>. Повышенная быстроходность шпинделя объясняется тем, что быстроходность опоры по схеме дуплекс-О всего на 10 % ниже по сравнению с одиночным подшипником.

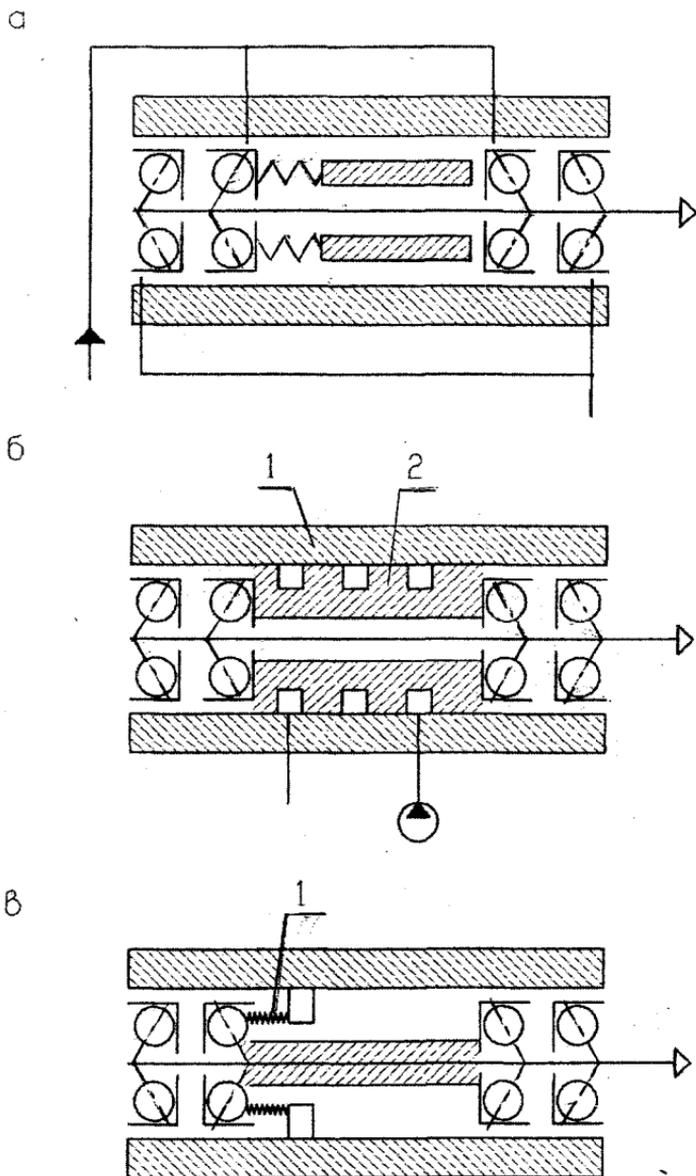


Рис. 4.4. Схемы шпиндельных узлов с радиально-упорными шарикоподшипниками

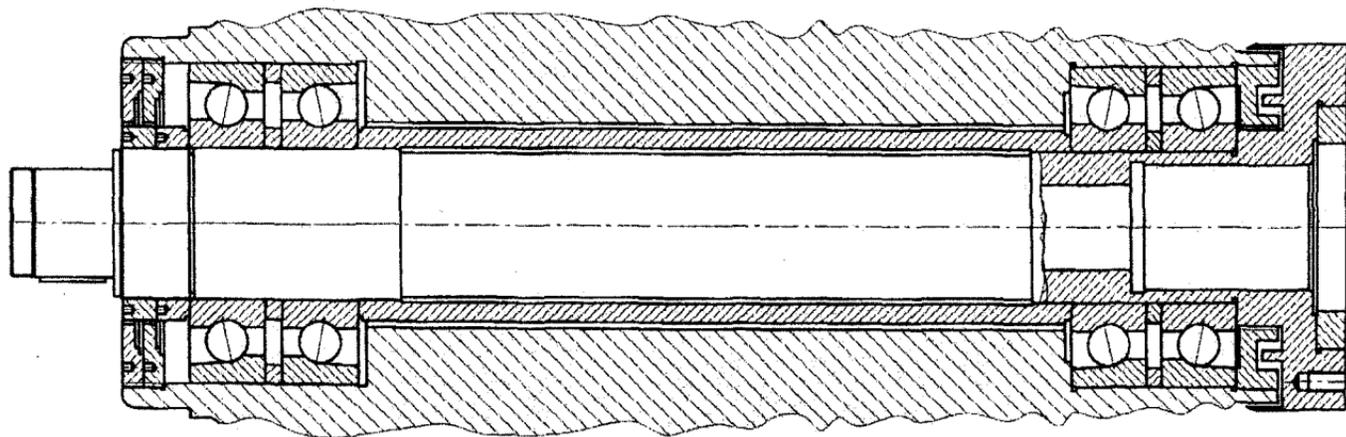


Рис. 4.5. Шпиндельный узел с шариковыми радиально-упорными подшипниками

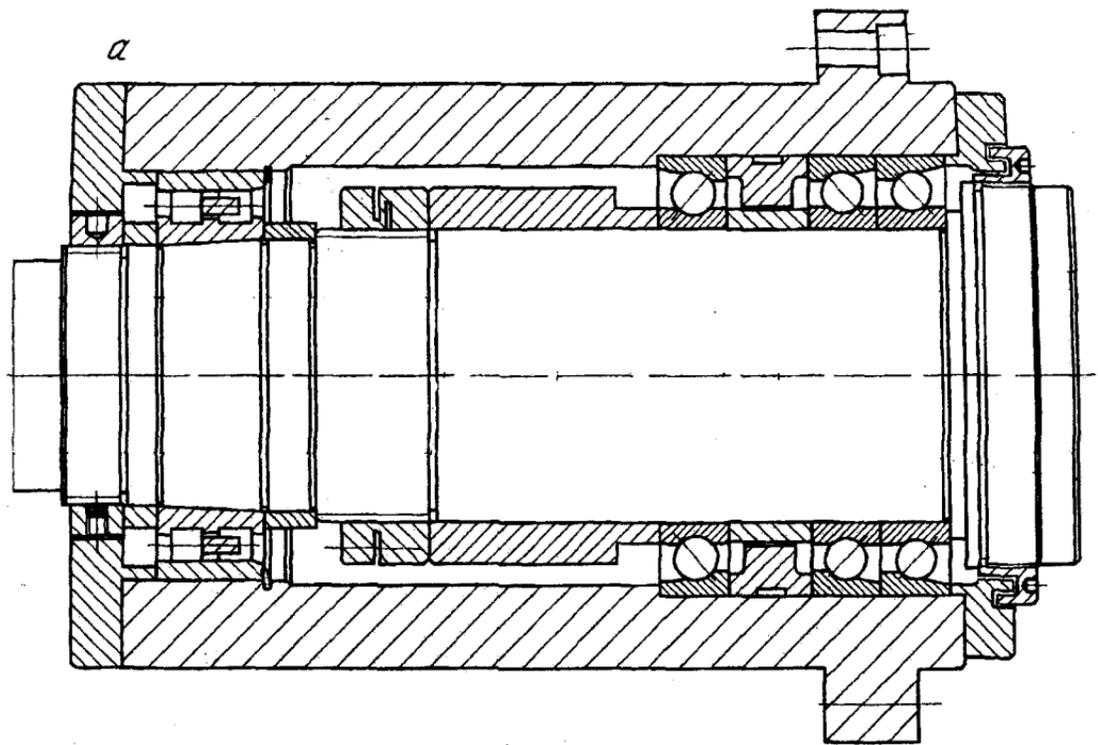


Рис. 4.6. Шпиндельные узлы с шариковыми радиально-упорными подшипниками, установленными в передней опоре по схеме триплекс

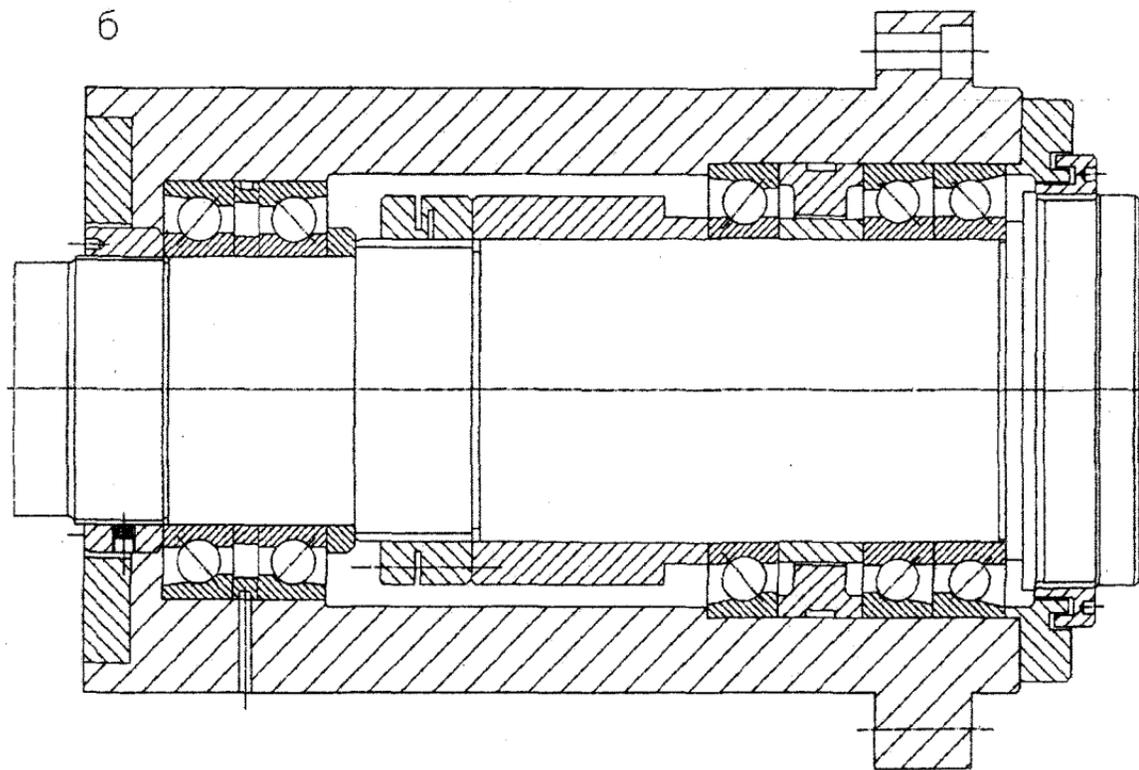


Рис. 4.6. (окончание)

*Шпиндельные узлы с четырьмя радиально-упорными подшипниками в передней опоре.*

В передней опоре установлены две пары подшипников по схеме дуплекс – О (рис. 4.7). Подшипники в паре образуют схему тандем. Для обеспечения высокой быстроходности шпинделя ( $dn_{\max} = (4 \dots 6) \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ ) и повышенной жесткости задняя опора комплектуется из радиально-упорных шариковых подшипников по схеме дуплекс – О. Область применения – тяжелые шлифовальные станки.

### **Примеры конструкций**

*Шпиндельный узел внутришлифовального станка.*

Шпиндель 4 приводится во вращение плоским ремнем через шкив 5. Передняя и задняя опоры шпинделя (рис. 4.8 и 4.9 соответственно) одинаковые. Каждая состоит из четырех радиально-упорных высокоскоростных шарикоподшипников. Такая конструкция опор обеспечивает необходимую жесткость шпиндельного узла. Жесткий предварительный натяг в подшипниках создается проставочными кольцами, ширина которых между наружными и внутренними кольцами подшипников различна, и гильзой 3.

Комплект подшипников передней опоры зажат между корпусом шпиндельной бабки и крышкой, при этом осевая сила, действующая на шпиндель, воспринимается корпусом. Благодаря тарельчатым пружинам 6 задняя опора сделана плавающей, что дает возможность шпинделю свободно удлиняться при нагревании в процессе работы станка (в противном случае шпиндель должен был бы изгибаться).

Смазывание опор шпинделя возможно двумя способами. В первом используется жидкий смазочный материал. К рабочим поверхностям подшипников (в зазор между сепаратором и меньшим диаметром внутреннего кольца) он подводится через штуцер, трубку 2, продольное отверстие Б, радиальные отверстия малого диаметра В, И и другие в проставочных кольцах 1 и других. При этом масло впрыскивается на рабочие поверхности подшипников. Отработавшее масло сливается через радиальные отверстия Е, продольное Г и отверстие Д, соединенное с резервуаром. Подшипники опор можно смазывать и другим способом: пластичный смазочный материал в небольшом объеме помещается на дорожки качения подшипников при сборке станка. При этом вход в канал Б и выход из отверстия Г заглушаются пробками.

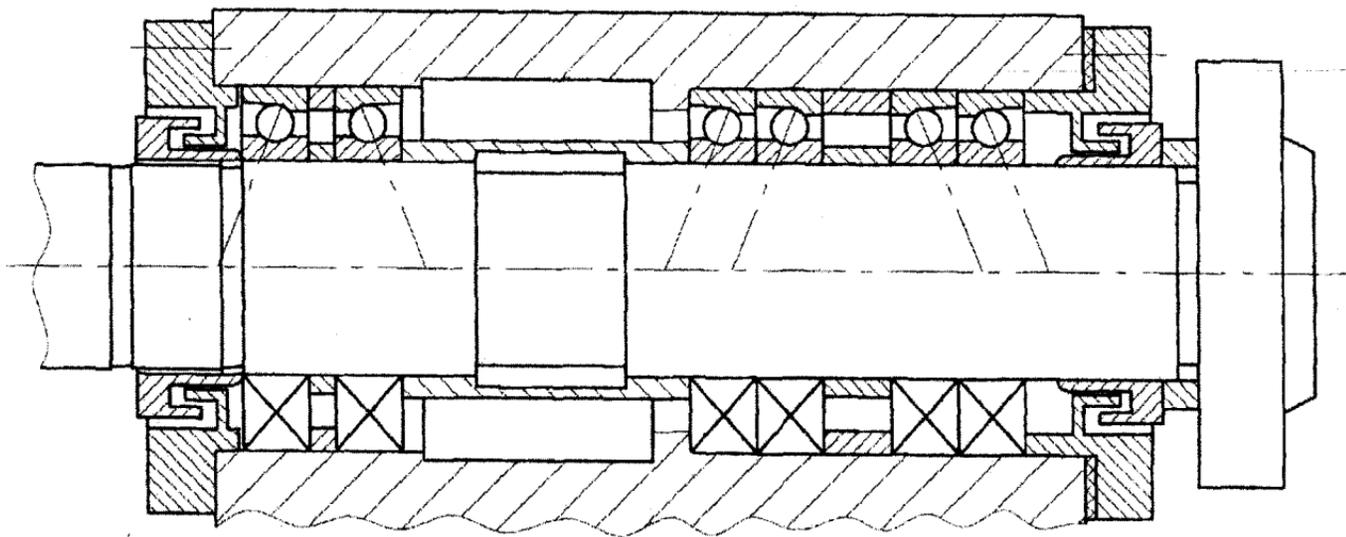


Рис. 4.7. Шпиндельный узел с четырьмя шариковыми радиально-упорными подшипниками в передней опоре

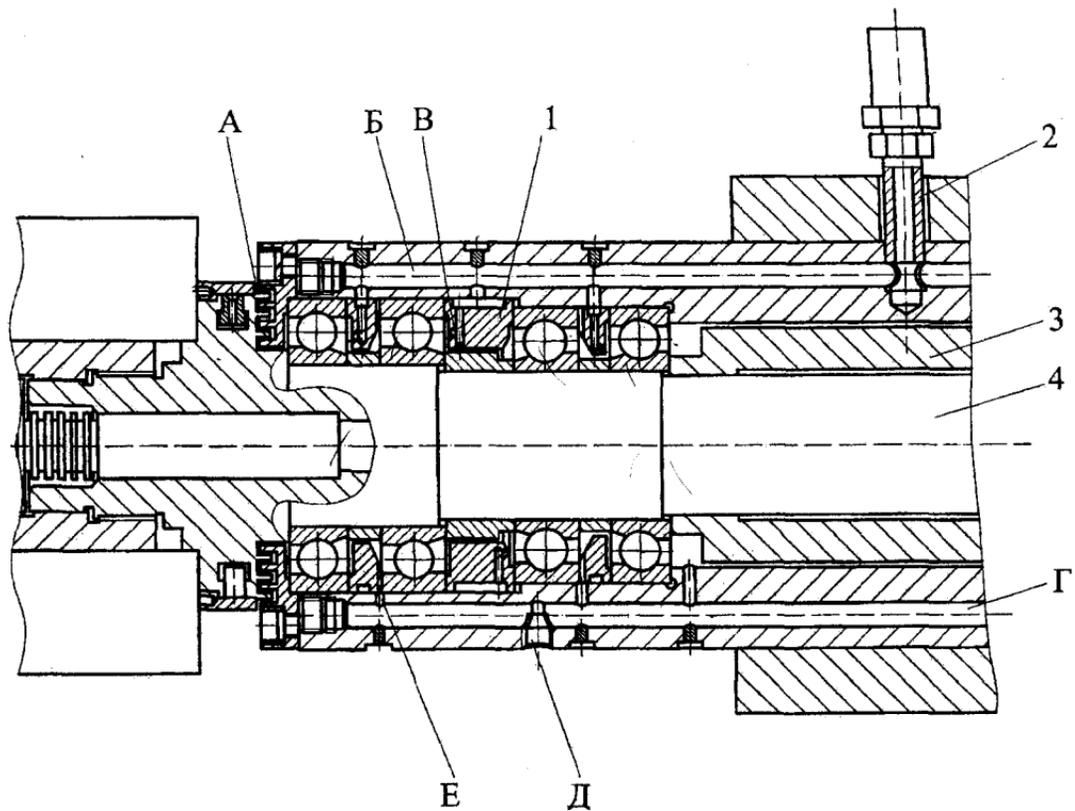


Рис. 4.8. Передняя опора шпинделя

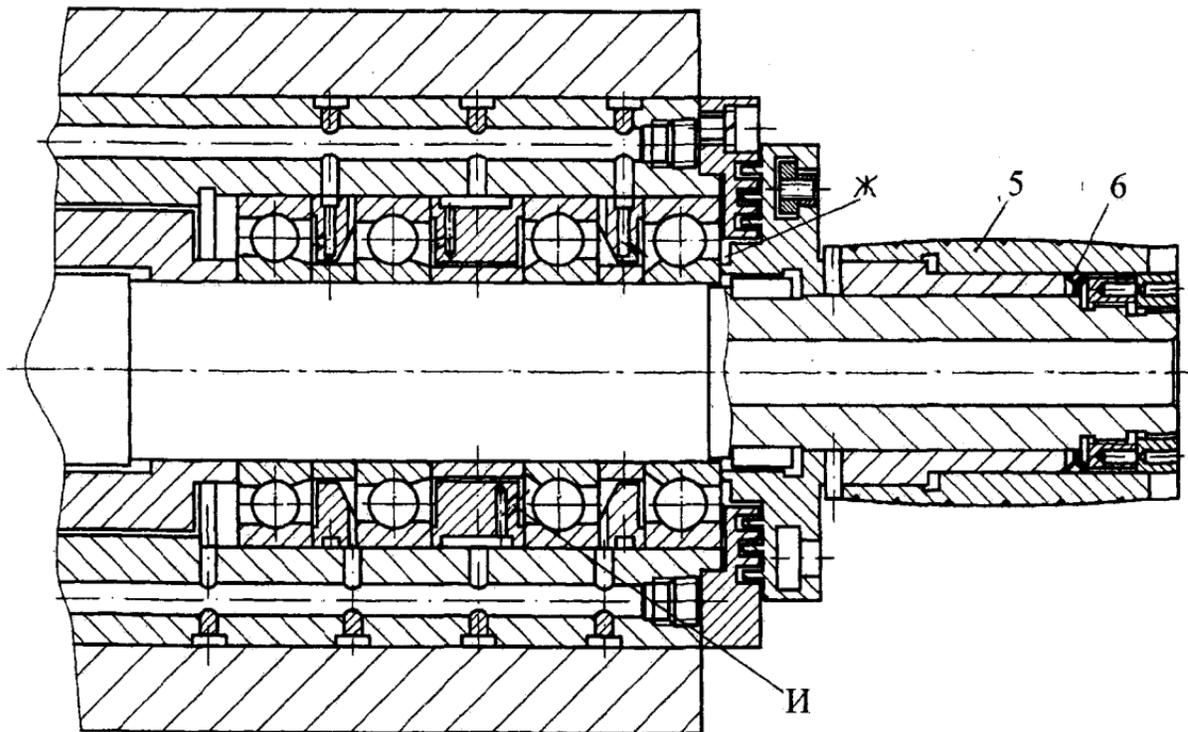


Рис. 4.9. Задняя опора шпинделя

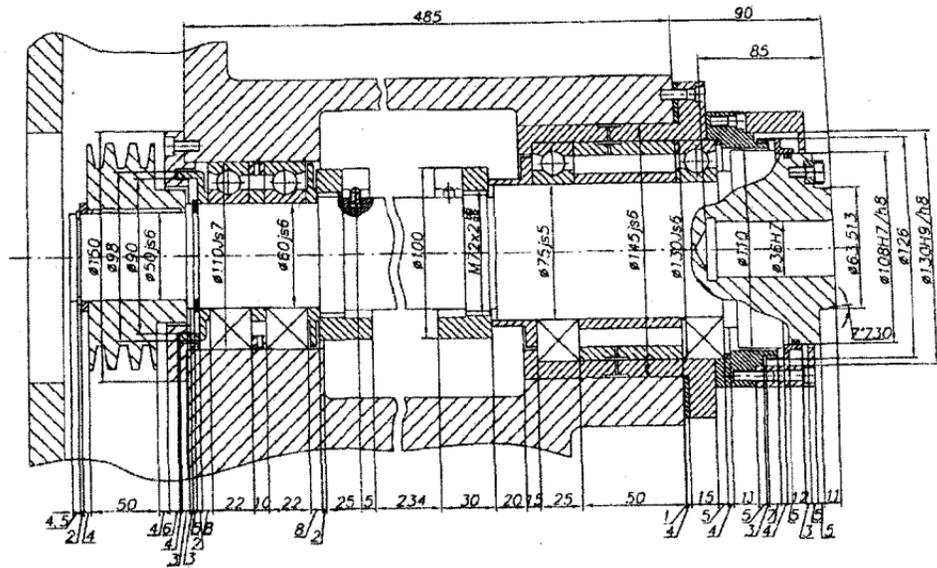
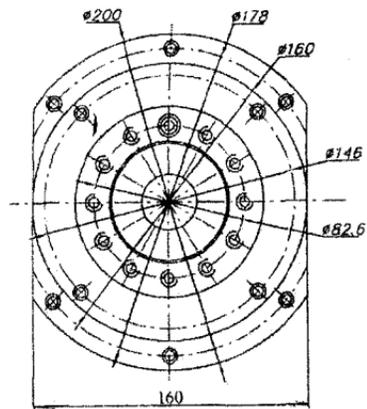


Рис. 4.10. Шпиндельный узел расточной бабки

Передняя и задняя опоры защищены радиальными зигзагообразными лабиринтными уплотнениями А и Ж.

*Шпиндельный узел расточной бабки.*

Расточная оправка базируется по торцу шпинделя и коническому пояску на нем (рис. 4.10). Для повышения жесткости системы «шпиндель – оправка» хвостовик оправки вводят в отверстие Ø36Н7. Момент на оправку передается торцевой круглой шпонкой. Опоры шпинделя составлены из шариковых радиально-упорных подшипников по схеме тандем – О. Задняя опора является плавающей. Подшипники смазываются пластичным материалом (его подвод на рисунке не показан). Уплотнения опор лабиринтные.

### **4.3. Шпиндельные узлы с роликовыми радиально-упорными подшипниками в передней опоре**

Шпиндельные узлы с роликовыми однорядными подшипниками в передней и задней опорах (рис. 4.11, а) имеют параметр быстроходности  $dn_{\max} = 3,4 \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ . Применяются в легких и средних токарных, фрезерных и шлифовальных станках.

Если в передней опоре установлен роликовый однорядный подшипник, а в задней – роликовый подшипник с широким наружным кольцом (рис. 4.11, б), то параметр быстроходности снижается:  $dn_{\max} = (2,5 \dots 3) \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ . Диаметр шпинделя в передней опоре находится в интервале от 40 до 160 мм. Область применения: легкие и средние токарные, фрезерные и шлифовальные станки.

Применение в передней опоре роликового двухрядного конического подшипника, а в задней – роликового подшипника с широким наружным кольцом (рис. 4.11, в) сопровождается снижением параметра быстроходности до  $dn_{\max} = (2 \dots 2,5) \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$  и существенным повышением жесткости шпиндельного узла. Такие узлы с диаметром шейки шпинделя в передней опоре от 60 до 200 мм применяются в средних и тяжелых токарных станках. Пружины обеспечивают постоянство предварительного натяга.

Для уменьшения влияния тепловых деформаций на предварительный натяг в роликоподшипниках расстояние между ними должно быть таким, чтобы оси роликов обоих подшипников пересекались с осью шпинделя в одной точке.

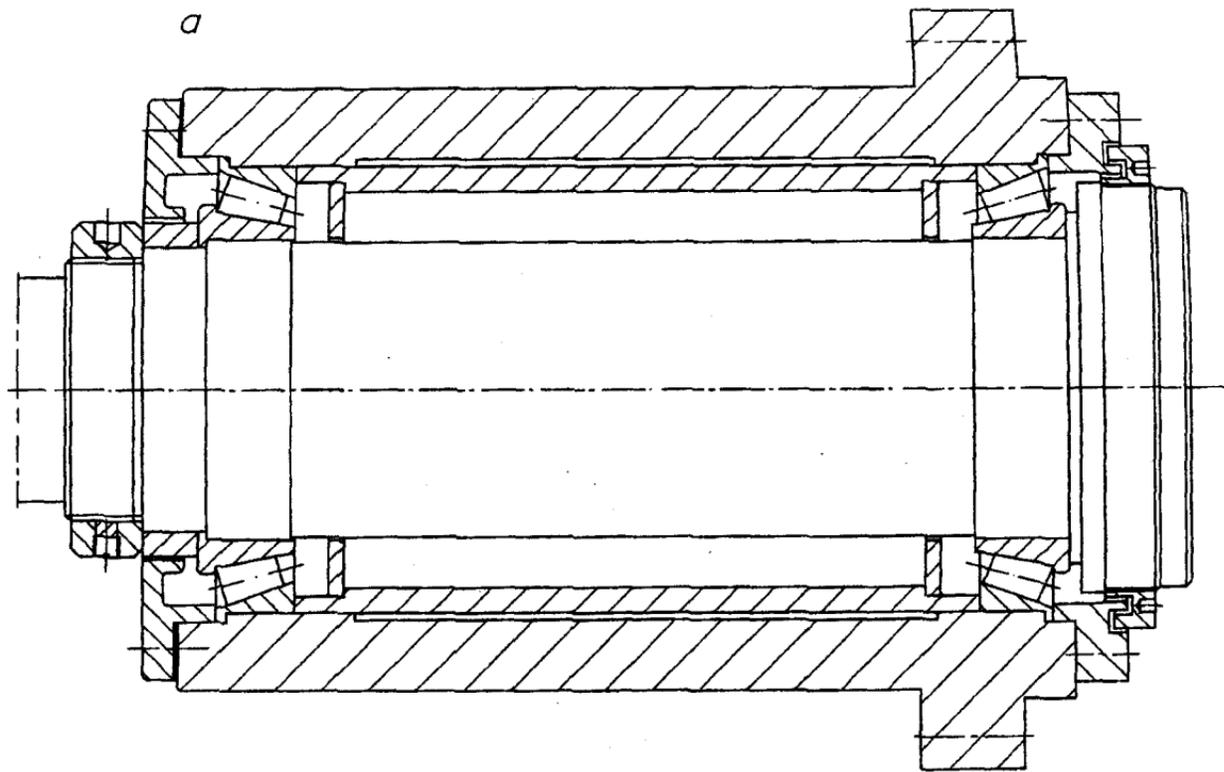


Рис. 4.11. Шпиндельные узлы с роликовыми радиально-упорными подшипниками

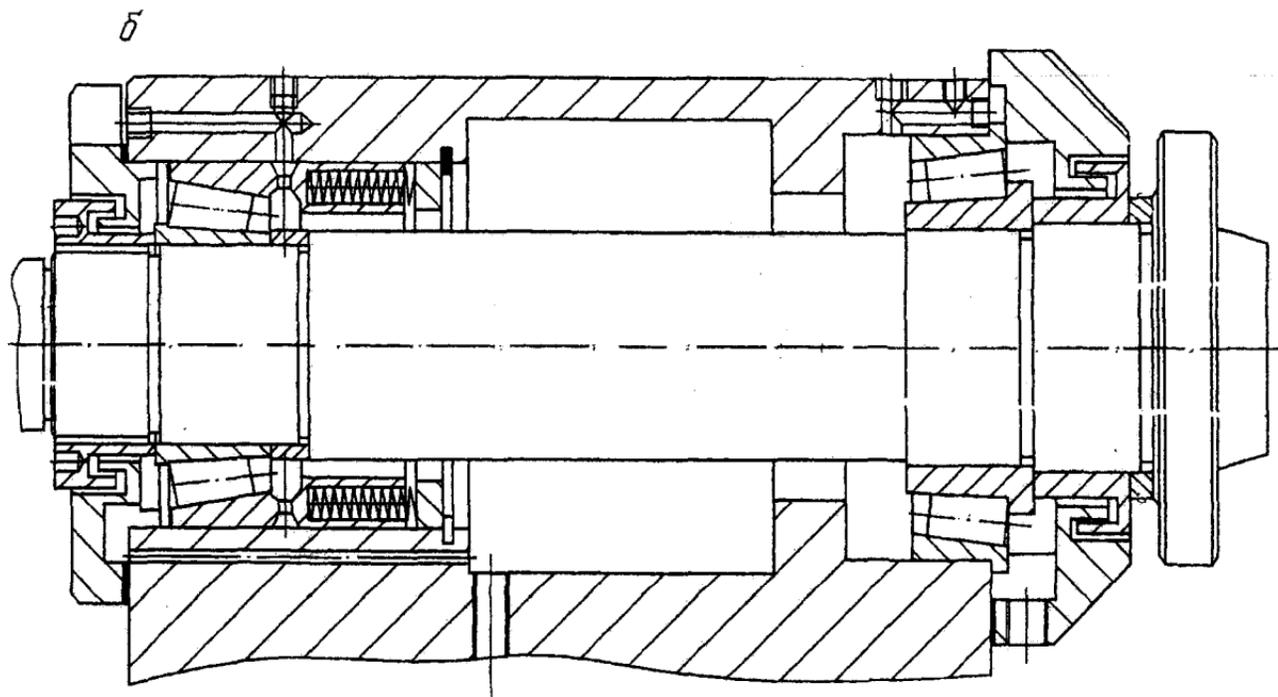


Рис. 4.11. (продолжение)

б

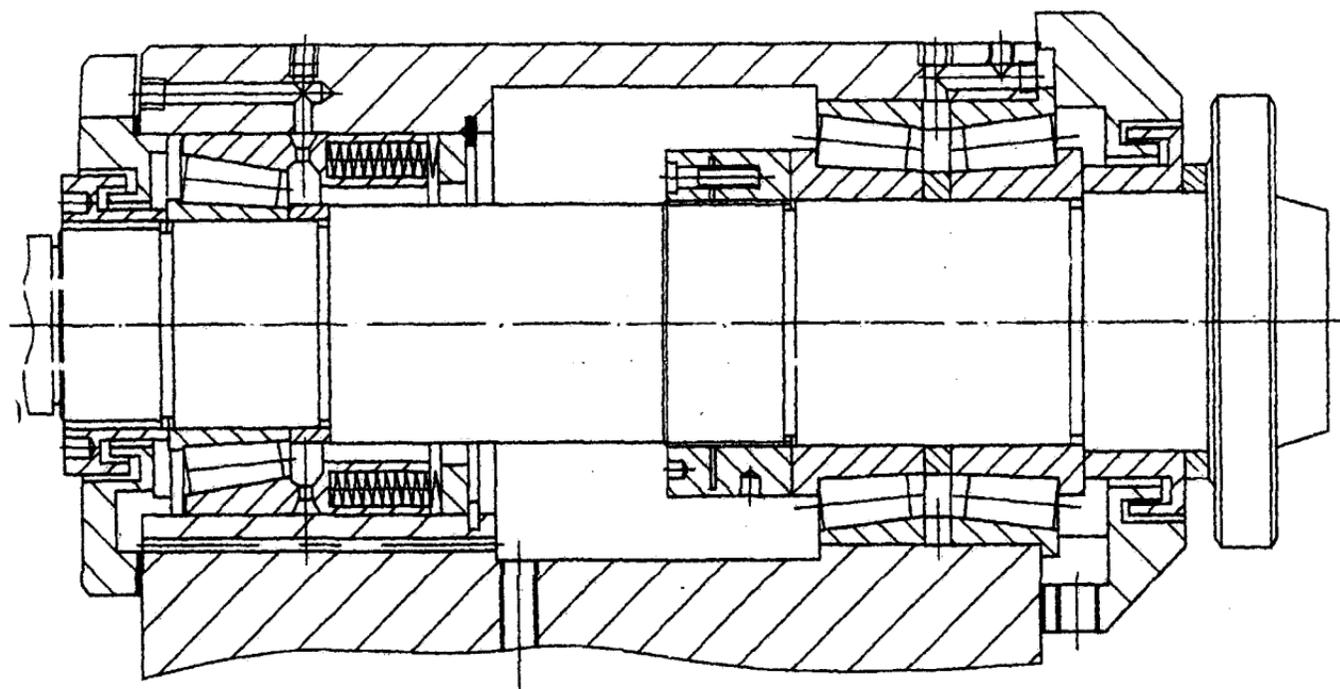


Рис. 4.11. (окончание)

#### 4.4. Шпиндельные узлы с роликовым радиальным двухрядным подшипником в передней опоре

Роликовый радиальный двухрядный подшипник с короткими роликами воспринимает нагрузку, действующую на опору шпинделя. Радиальный зазор в подшипнике регулируют при осевом перемещении внутреннего кольца, имеющего коническое отверстие, относительно конической шейки шпинделя; при этом диаметр дорожек качения внутреннего кольца из-за его деформации увеличивается. В шпинделе изготавливают отверстие 2 (рис.4.12), через которое с помощью ручного насоса масло подается в кольцевую канавку 1, находящуюся на конической поверхности шпинделя. Масло разжижает внутреннее кольцо подшипника, благодаря чему можно в несколько раз уменьшить осевую силу, прилагаемую к нему при монтаже и демонтаже. Отверстие 3 служит для подвода к подшипнику пластичного материала. Обычно диаметр  $d$  посадочной шейки шпинделя в передней опоре – от 60 до 200 мм. Параметр быстроходности подшипника  $dn_{\max} = (2,5 \dots 4) \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$  (меньшее значение  $dn_{\max}$  – при смазывании пластичным материалом).

Для восприятия осевой нагрузки в переднюю опору устанавливают шариковый двухрядный упорно-радиальный подшипник или два радиально-упорных подшипника, скомпонованных по схеме дуплекс-О.

В задней опоре помещают роликовый радиальный двухрядный подшипник с короткими роликами или шариковые радиально-упорные подшипники, скомпонованные по схеме дуплекс-О. С учетом теплового изменения шпинделя заднюю опору с шариковыми радиально-упорными подшипниками делают плавающей.

Шпиндельные узлы с роликовым радиальным двухрядным подшипником в передней опоре характеризуются повышенной жесткостью и относительно низкой быстроходностью. Они применяются в средних и тяжелых токарных, фрезерных, фрезерно-расточных, шлифовальных станках.

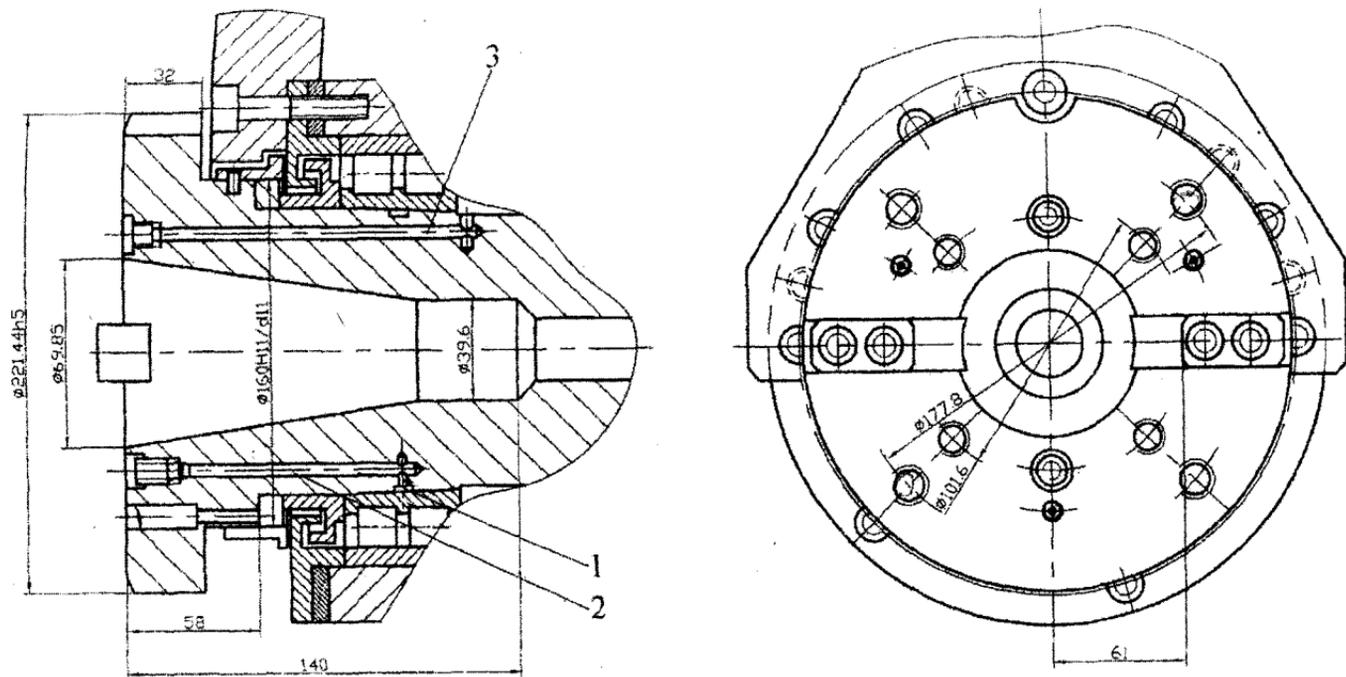


Рис. 4.12. Передний конец шпинделя

## Примеры конструкций

Шпиндельная бабка вертикального токарного полуавтомата с ЧПУ (рис. 4.13).

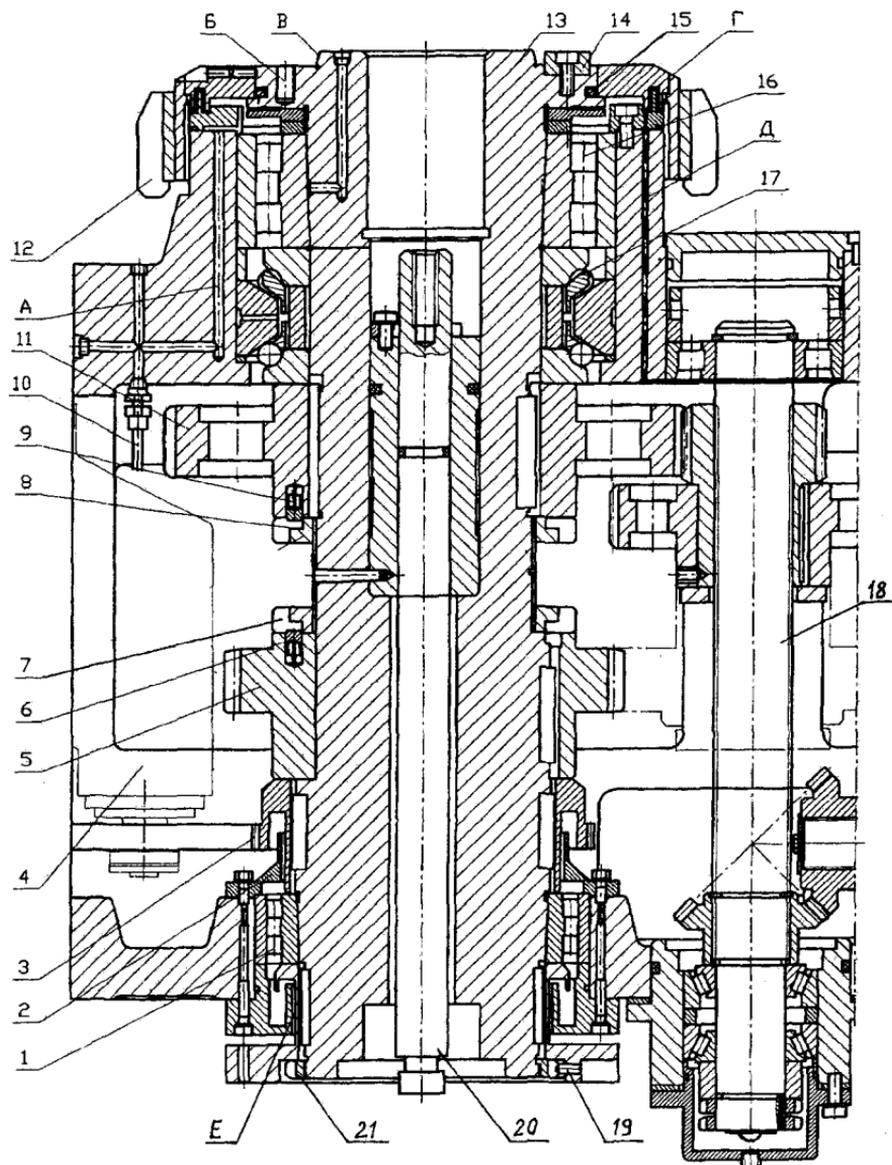


Рис. 4.13. Шпиндельный узел вертикального токарного полуавтомата с ЧПУ

Привод шпинделя этого станка осуществляется от двигателя постоянного тока. Двухступенчатый редуктор, состоящий из зубчатого блока сборной конструкции, находящегося на шлицевом валу 18, и зубчатых колес 5 и 11, закрепленных на шпинделе 13, обеспечивает два диапазона регулирования частоты вращения шпинделя.

В нижней опоре шпинделя установлен двухрядный роликовый конический подшипник 1 с короткими цилиндрическими роликами, имеющий достаточные для этого станка быстроходность, нагрузочную способность и жесткость. Радиальный натяг в подшипнике регулируется гайками 21 и 7, для стопорения которых служат соответственно винт 19 и подпружиненный фиксатор 6. Для предотвращения вытекания жидкого масла через нижнюю опору шпинделя применены стакан 2 и щелевое уплотнение Е.

Верхняя опора шпинделя состоит из двухрядного роликового подшипника 16 с короткими цилиндрическими роликами, воспринимающего радиальную нагрузку, и упорно-радиального шарикового подшипника 17, воспринимающего осевую нагрузку. Радиальный натяг в подшипнике регулируется гайкой 8, для стопорения которой служит подпружиненный фиксатор 9. Смазывание опор осуществляется жидким маслом с помощью циркуляционной системы. Через трубку 10 и канал А масло подводится к верхнему торцу роликового подшипника 16, самотеком проходит оба подшипника опоры и сливается в корпус шпиндельной бабки. Опора защищена от загрязнений зигзагообразным лабиринтным уплотнением Г, а от проникновения смазочно-охлаждающей жидкости — резиновым кольцом 15. Масло, попавшее в лабиринтное уплотнение, по каналу Д сливается в корпус шпиндельной бабки.

Обрабатываемая на станке заготовка зажимается в патроне, который базируется по конической поверхности В и торцу шпинделя, закрепляется винтами, входящими в резьбовые отверстия Б. Момент на патрон передается цилиндрической шпонкой 14. Патрон приводится в действие гидравлическим цилиндром (на рисунке не показан) через шток 20. К шпинделю прикреплены пластины 12, предназначенные для сброса стружки. С помощью зубчатого колеса 3 шпиндель связан с измерительным преобразователем резбонарезания 4.

*Передняя опора и конец шпинделя многоцелевого фрезерно-сверлильно-расточного станка (рис. 4.14).*

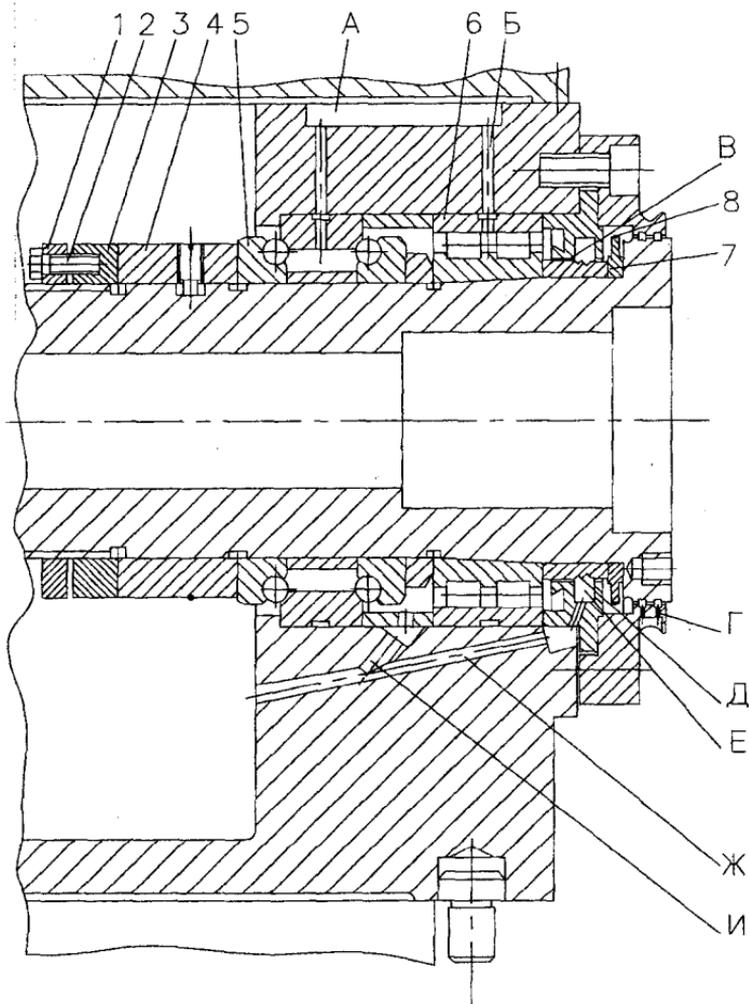


Рис. 4.14. Передняя опора шпинделя

Радиальная нагрузка воспринимается двухрядным роликовым подшипником 6 с короткими цилиндрическими роликами, а осевая — упорно-радиальным сдвоенным шариковым подшипником 5 с углом  $60^\circ$ . Натяг в роликовом подшипнике 6 регулируется гайкой 3 после снятия небольшого слоя металла (шлифованием) с торца кольца 7, состоящего из двух полуколец, стянутых пружинным кольцом 8. Для стопорения гайки 3 служат гайка 1 и винты 2. Гайка

3 действует на комплект подшипников через достаточно длинную втулку 4, торцы которой изготовлены с малым отклонением от перпендикулярности к ее оси. Втулка насажена с малым зазором на цилиндрическую шейку шпинделя. При завинчивании гайки 3 точная втулка 4 оказывает на подшипник 5 приблизительно одинаковое давление во всех точках контакта. Благодаря этому шпиндель предохраняется от изгиба, который мог бы появиться в процессе регулирования натяга подшипника при отсутствии втулки 4.

Использована система обильного смазывания жидким материалом. Из ванны А через отверстия Б масло попадает в подшипники. По каналам Ж, И нагревшееся масло сливается из опоры.

Щелевое уплотнение В обеспечивает герметичность опоры. Масляная пленка, перемещающаяся вдоль шпинделя, сбрасывается кромками канавок Д, находящимися в кольцевой камере Е. Попавшая в уплотнение СОЖ сливается через два отверстия Г.

*Шпиндельный узел многоцелевого сверлильно-фрезерно-расточного станка (рис. 4.15).*

Передняя опора по компоновке подшипников аналогична изображенной на рис. 4.14. Подшипники смазываются пластичным материалом, вводимым через масленку 1. Для облегчения съема двухрядного роликового подшипника, имеющего коническое внутреннее отверстие, с помощью приспособления, ввинченного вместо пробки, в канале А создается повышенное давление масла.

Особенность шпиндельного узла состоит в том, что передняя опора охлаждается жидкостью, подводимой через трубку 2, проходящей по винтовой канавке Б и отводимой через трубку 3. Благодаря охлаждению повышается быстроходность опоры и точность станка.

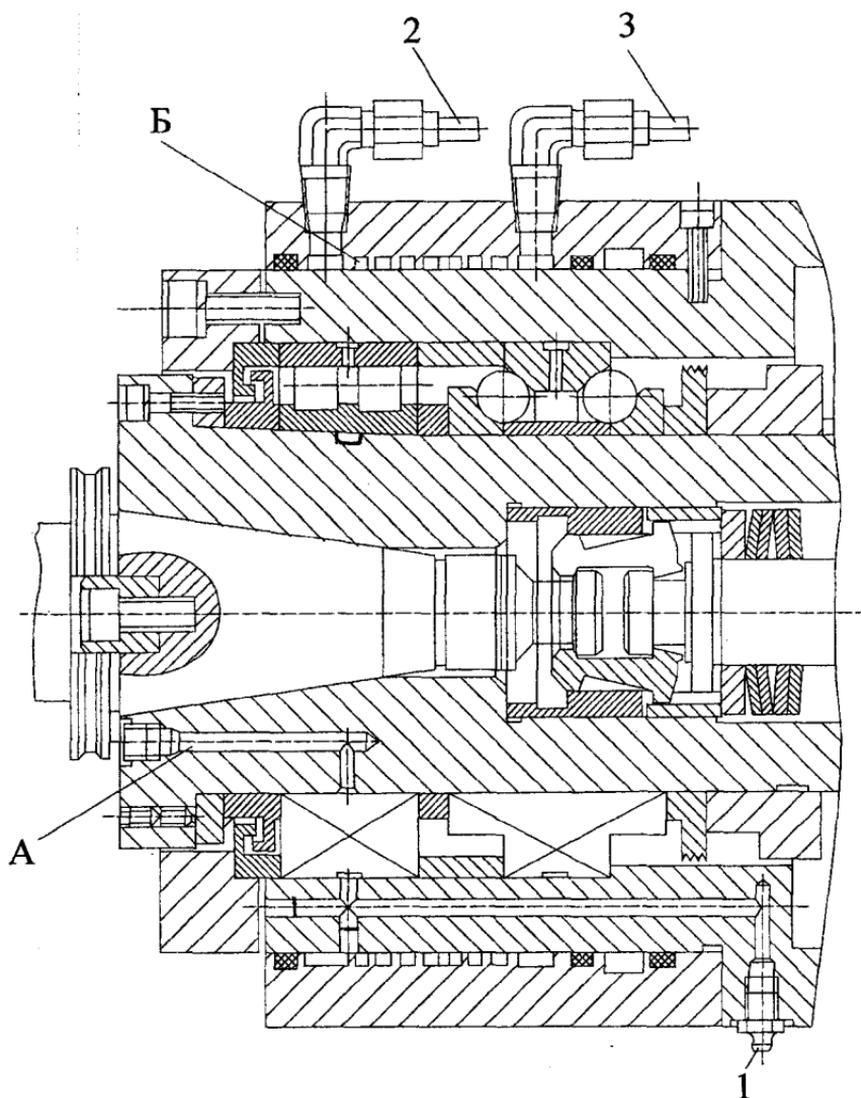


Рис. 4.15. Передняя опора шпинделя

### 4.5. Мотор-шпиндели

Мотор-шпиндель (рис. 4.16) представляет собой узел, в состав которого входит регулируемый электродвигатель (обычно асинхронный) со статором 9 и ротором 10, установленным непосредст-

венно на шпинделе 8. Опоры 6 и 12 шпинделя обычно komponуют из высокоскоростных прецизионных радиально-упорных шарикоподшипников. Они обеспечивают необходимую жесткость и точность вращения шпинделя. Применяют как стальные, так и гибридные подшипники (с керамическими телами качения). Компоновки опор различны. В передней опоре могут находиться 2, 3 или 4 шарикоподшипника, в задней обычно 2. Для компенсации теплового удлинения шпинделя заднюю опору делают плавающей. Предварительный натяг в шариковых подшипниках обеспечивается пружинами или маслом. Подшипники смазывают пластичным материалом (ресурсное смазывание), жидким или масловоздушной смесью. Для подвода и отвода смазочного материала в корпусе 11 предусмотрены продольные отверстия со штуцерами 15, служащими для присоединения соответствующих шлангов. Уплотнения опор – лабиринтные, при этом для передней опоры предусмотрена воздушная блокировка.

Охлаждение двигателей производится следующими способами: охлажденная жидкость проходит по закрытому винтовому каналу, изготовленному в корпусе двигателя; затем пропускается по каналам, предусмотренным в корпусе бабки, в которой монтируется мотор-шпиндель.

Для управления шпинделем по скорости вращения и по положению установлен датчик 13 с полым ротором.

Конструкция переднего конца шпинделя соответствует типу станка, для которого предназначен мотор-шпиндель. В узле, изображенном на рис. 4.16 и предназначенном для сверлильно-фрезерно-расточных многоцелевых станков, передний конец шпинделя выполнен по типу HSK. В других аналогичных конструкциях возможно применение конусов типа SK.

Для затягивания инструментальной оправки 3 служит пакет тарельчатых пружин (на рис. 4.16 не показан), действующих на рычаги 1. Оправка освобождается гидро- или пневмоцилиндром 14. Зажим и освобождение оправки контролируются датчиками (на рис. 4.16 не показаны). Перед закреплением новой оправки конические поверхности ее и гнезда шпинделя, а также их торцы очищаются сжатым воздухом, поступающим по каналам 2 и 5.

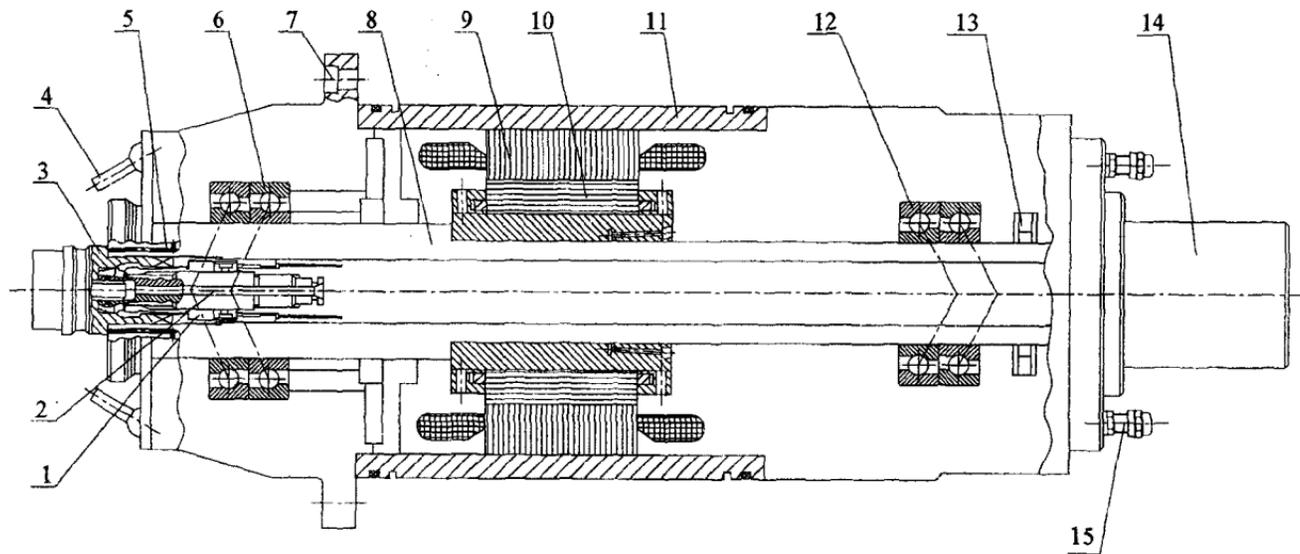


Рис. 4.16. Схема мотор-шпинделя

Сопла 4 служат для подачи смазочно-охлаждающей жидкости. Если охлаждение осуществляется через тело инструмента, то СОЖ поступает по каналу 2.

Отверстия 7 во фланце предназначены для крепления мотор-шпинделя в корпусе шпиндельной бабки.

На заднем фланце находятся штуцеры: для подачи сжатого воздуха для обдува инструментальной оправки; для входа и выхода СОЖ; для подачи сжатого воздуха для создания воздушного уплотнения и другие, а также электровилки: для подвода силового питания и заземления; для питания датчиков механизма зажима инструмента; для питания датчика скорости вращения шпинделя.

Для мотор-шпинделей характерны большая мощность (до 60 кВт), большие значения предельной (до 90000 об/мин) и номинальной частоты вращения, низкий уровень шума и вибраций.

На рис. 4.17 представлена конструкция задней части одного из мотор-шпинделей для многоцелевых сверлильно-фрезерно-расточных станков. Здесь 1 и 2 – конечные переключатели для контроля зажима и разжима инструментальной оправки; 3 – упоры управления; 4 – пружины для создания натяга в подшипниках задней опоры шпинделя; 5 – подвижная втулка; 6 – шариковая втулка; 7 – датчик скорости вращения и угла поворота шпинделя; 8, 12 и 13 – штуцеры; 9 – датчик исходного углового положения шпинделя; 10 – отверстие для подвода СОЖ при охлаждении инструментов через их тело; 11 – гидроцилиндр для разжима инструментальной оправки.

На рис. 4.18 представлены компоновки мотор-шпинделей для токарных станков с ЧПУ. Неподвижная передняя опора представляет собой пакет радиально-упорных шарикоподшипников, а в задней (плавающей) опоре установлен радиальный двухрядный или однорядный роликоподшипник с цилиндрическими роликами. В однорядных подшипниках потери на трение и соответственно выделение тепла до 50 % меньше, чем в двухрядных. Поэтому применение однорядных роликовых подшипников позволяет повысить частоту вращения шпинделя. Кроме того из-за относительно малого нагрева эти подшипники могут монтироваться с малым зазором или без зазора.

Из трех приведенных на рис. 4.18 компоновок наиболее жесткой является последняя.

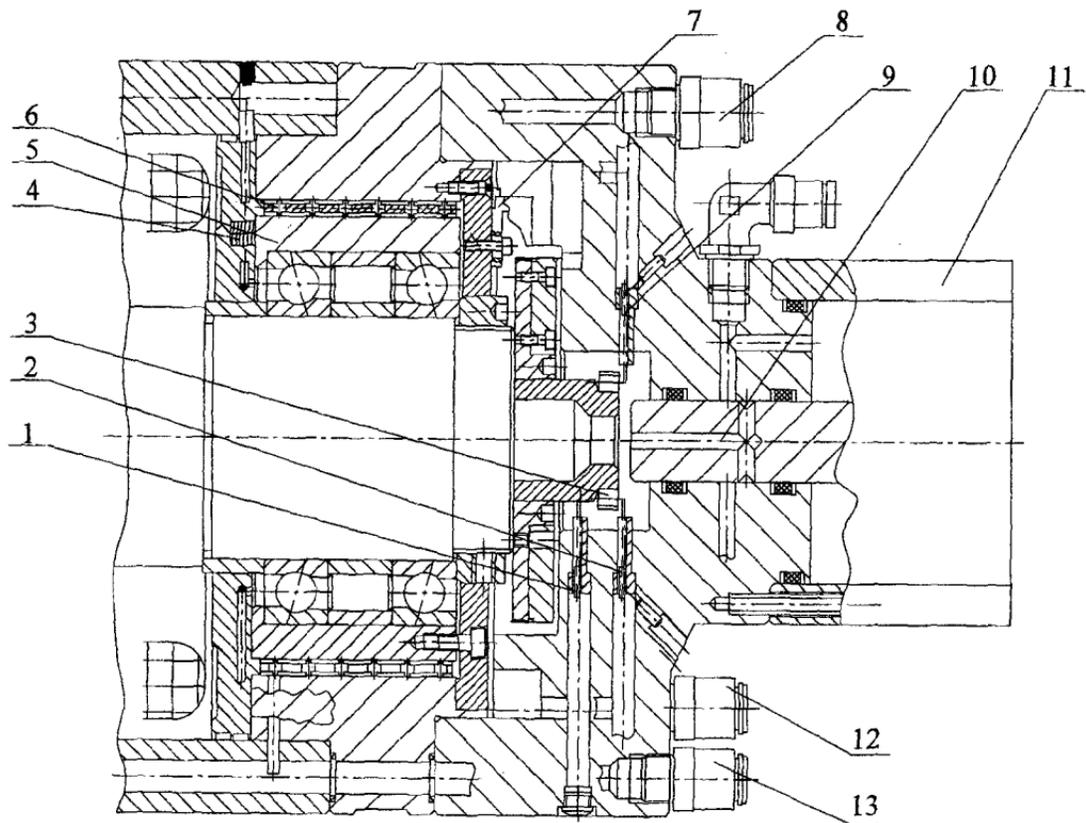


Рис. 4.17. Задняя часть мотор-шпинделя

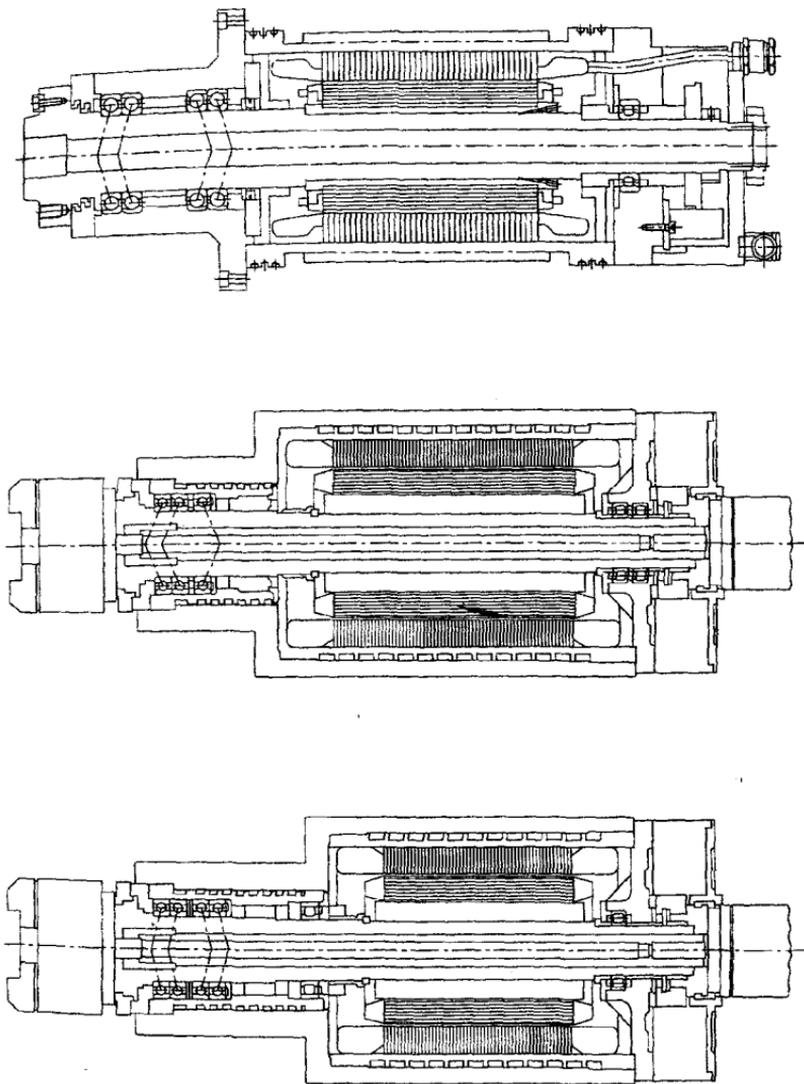


Рис. 4.18. Компоновки мотор-шпинделей  
для токарных станков с ЧПУ

#### 4.6. Определение основных размеров шпинделя

Главными размерами шпинделя, от которых зависят его быстроходность, жесткость и ряд других показателей качества, являются межопорное расстояние  $l$  (рис. 4.19), диаметр в передней опоре  $d$ , вылет шпинделя  $a$  и диаметры  $d_0, d_1, d_2$ .

Диаметр шпинделя в передней опоре  $d$  на стадии эскизного проектирования определяют по критериям нагрузочной способности, быстроходности и жесткости.

Нагрузочная способность шпинделя характеризуется допустимым моментом  $M$  и мощностью на шпинделе  $P$  (кВт). Для оценки минимального диаметра  $d$  по критерию нагрузочной способности следует воспользоваться рекомендациями:

1) для токарных, фрезерных, расточных и многоцелевых станков [9]

$$d_{\min} = (3 \dots 7)P;$$

2) для токарных станков с ЧПУ и многоцелевых сверлильно-фрезерно-расточных станков – статистическими данными (рис. 4.20, 4.21), полученными в результате анализа параметров существующих станков.

Большой разброс значений минимального диаметра шпинделя в передней опоре объясняется большим диапазоном нагрузочной способности применяемых опор и различными диаметрами отверстия в шпинделе. Быстроходность шпиндельного узла определяет производительность станка.

Она зависит от типа подшипников, их быстроходности, компоновки опор и шпиндельного узла, способа смазывания и охлаждения опор. Поэтому надо выбрать наиболее подходящую компоновку шпиндельного узла, обосновать условия его функционирования и тип подшипников. Для выбранной компоновки находят характерные для нее параметры быстроходности:

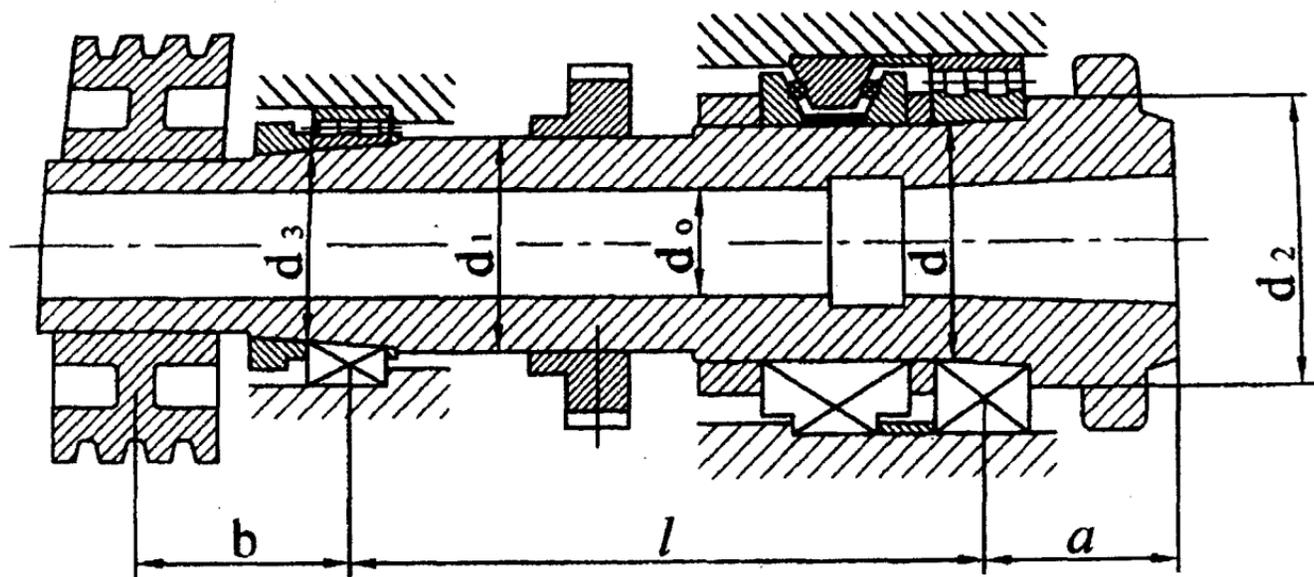


Рис. 4.19. Схема шпиндельного узла

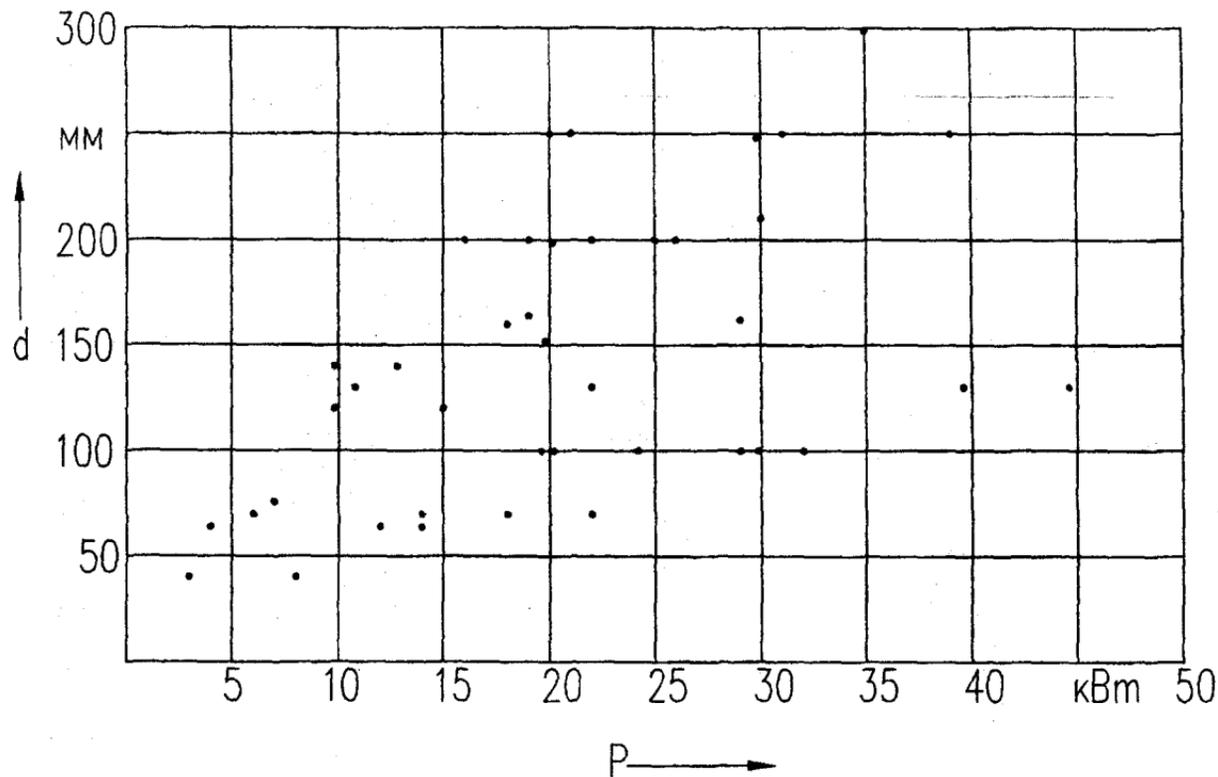


Рис. 4.20. Зависимость между мощностью на шпинделе многоцелевых токарных станков и диаметром передней шейки шпинделя

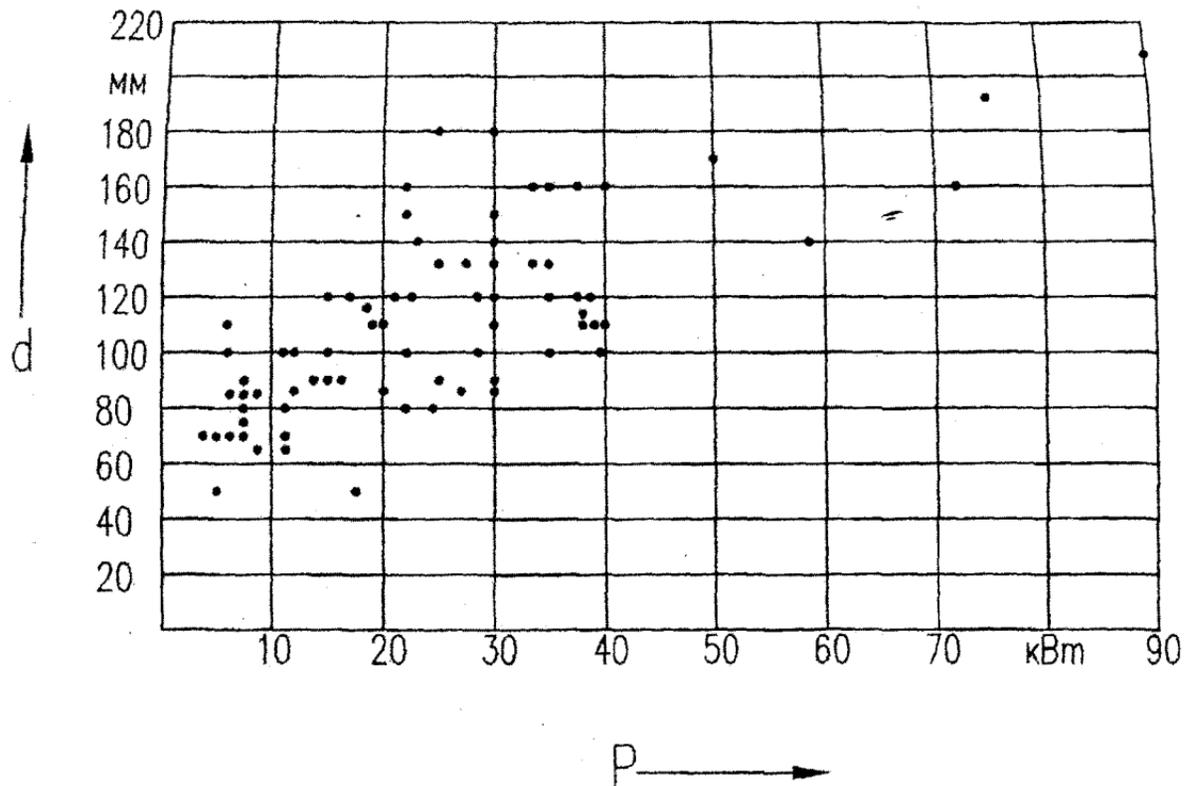


Рис. 4.21. Зависимость между мощностью на шпинделе многоцелевых сверлильно-фрезерно-расточных станков и диаметров передней шейки шпинделя

$$K_1 = dn_{\max} \text{ или } K_2 = d_m n_{\max},$$

где  $n_{\max}$  – наибольшая заданная частота вращения шпинделя, об/мин;

$d_m$  – средний диаметр подшипника в передней опоре, мм ( $d_m = (D+d)/2$ ,

$D$  – наружный диаметр,  $d$  – внутренний диаметр).

Зная  $K_1$  или  $K_2$  и  $n_{\max}$ , находят максимальный возможный диаметр шпинделя в передней опоре :

$$d_{\max} = \frac{K_1}{n_{\max}} \text{ или } d_{\max} = \frac{K_2}{n_{\max}}.$$

Зная оценки диаметра  $d$  шпинделя в передней опоре, найденные по критериям нагрузочной способности и быстроходности, проектируют его передний конец. Он служит для базирования и закрепления режущего инструмента или приспособления, в котором зажимается заготовка. Так как присоединительные размеры инструментов, инструментальных оправок, приспособлений стандартизованы, то и передний конец шпинделей выполняют по государственным стандартам, которые в соответствии со стандартами на основные размеры станков определяют размеры и форму переднего конца.

Диаметр переднего конца  $d_2$  или задается государственным стандартом или принимается  $d_2 = (1,0...1,2)d$ .

Вылет шпинделя  $a$  есть расстояние от середины подшипника передней опоры или комплекта подшипников, определяющих её радиальную жесткость, до торца переднего конца. Вылет зависит от ширины передней опоры, размеров её уплотнения и параметров элементов переднего конца, служащих для крепления инструмента или приспособления. Вылет  $a$  определяется по чертежу переднего конца, который следует выполнять после определения диаметра шпинделя в передней опоре.

Межопорное расстояние  $l$  принимают равным  $3a$ . Соотношение  $l = 3a$  оптимально по критерию минимального влияния радиального биения подшипников на радиальное биение переднего конца шпинделя. Но оно может быть неоптимальным по критерию жесткости.

Поэтому межопорное расстояние корректируют по результатам расчета на жесткость.

Диаметр шпинделя между опорами существенно влияет на его жесткость. Поэтому его назначают возможно большим:  $d_{1i} = (0,8 \dots 1,0) d$ , для внутришлифовальных головок  $d_1 = 1,4d$  [9].

Диаметр шпинделя в задней опоре  $d_3 = (0,8 \dots 0,9)d$ .

### Рекомендуемая литература

1. Бушуев, В.В. Основы конструирования станков. – М.: Станкин, 1992.
2. Вареник, Л.И., Новиков, А.Н. Шпиндельные узлы металлорежущих станков. – М.: ВНИИТЭМР, 1991.
3. Зверев, И.А., Самохвалов, Е.И., Левина, З.М. Автоматизированные расчеты шпиндельных узлов // Станки и инструмент. – 1984. – №2.
4. Кочергин, А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1991.
5. Кочергин, А.И. Конструкции металлорежущих станков: методическое пособие по курсовому проектированию. – Мн.: ДизайнПРО, 1997.
6. Лизогуб, В.А., Кушнир, А.П. Современные уплотнительные устройства высокоскоростных шпиндельных узлов металлорежущих станков. Обзорная информация – М.: ВНИИТЭМР, 1985.
7. Лизогуб, В.А., Кушнир, А.П. Выбор уплотнений опор качения шпиндельных узлов станков // Станки и инструмент. – 1991. – № 5.
8. Машиностроение: энциклопедия: В 40 т. Раздел IV. Расчет и конструирование машин. Т.IV-7. Металлорежущие станки и деревообрабатывающее оборудование. – М.: Машиностроение, 1999.
9. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник – учебник. В 3 т. Т.1. Проектирование станков. Т.2. Расчет и конструирование узлов и элементов станков. Т.3. Проектирование станочных систем / Под общей ред. А.С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана; Машиностроение. – Т.1. – 1994. – Т.2. – 1995. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана; Изд-во «Станкин». – Т.3. – 2000.
10. Роботизированные технологические комплексы и ГПС в машиностроении. Альбом схем и конструкций / Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1988.

11. Смирнов, А.И. Оптимизация смазки быстроходных шпиндельных узлов металлорезущих станков. – М.: НИИМаш, 1979.

12. Станочное оборудование автоматизированного производства. В 2 т. / Под ред. В.В. Бушуева. – М.: Изд.-во «Станкин». – Т.1. – 1993. – Т.2. – 1994.

13. Трение, износ и смазка //Трибология и триботехника. / А.В. Чичинадзе [и др]; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003.

14. Шаталова, М.М. Выбор основных размеров шпиндельных узлов с помощью ЭВМ при эскизном проектировании // Станки и инструмент. – 1984. – №2.

Учебное издание

**КОЧЕРГИН Анатолий Иванович**  
**ВАСИЛЕНКО Тамара Васильевна**

## **ШПИНДЕЛЬНЫЕ УЗЛЫ С ОПОРАМИ КАЧЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие  
по курсовому проектированию металлорежущих станков  
для студентов машиностроительных специальностей

Редактор Т.Н. Микулик  
Компьютерная верстка А.Г. Гармазы

---

Подписано в печать 08.01.2007.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 7,2. Уч.-изд. л. 5,6. Тираж 150. Заказ 165.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

220013, Минск, ул. Сургановская, 65.

Научная библиотека