

При проектування шпindelних вузлів з підшипниками, що змащуються пластичним матеріалом, потрібно визначити мінімально необхідний для опори об'єм матеріалу, виконати прогноз його строку роботи, передбачити надійне ущільнення вузла як зі сторони коробки швидкостей, так і з зовнішньої сторони. Надмірний змащувальний матеріал у опорі викликає її підвищений нагрів, тому об'єм матеріалу у опорі не повинен перевищувати потрібного мінімуму.

Об'єм масла, що потрібно закласти у опорі шпинделя, визначають за виразом (см<sup>3</sup>):

$$Q = d_m B k,$$

де  $d_m$  — середній діаметр підшипника, мм;

$B$  — ширина підшипника, мм (для упорних та упорно-радіальних підшипників замість  $u$  вираз для об'єму масла підставляють висоту підшипника);

$k$  — коефіцієнт, що дорівнює 0,01; 0,015; 0,02; 0,03; 0,04 для підшипників, які мають діаметр отвору відповідно 40...100 мм, 100...130; 130...160; 160...200, більше 200 мм.

Періодично у опорі необхідно подавати додаткові об'єми масла, см<sup>3</sup>:

$$Q = D B k_1,$$

де  $D$  та  $B$  — зовнішній діаметр та ширина підшипника, мм;

$k_1$  — коефіцієнт, що залежить від періодичності поповнення підшипника змащувальним матеріалом: при щотижневому  $k_1 = 0,0015...0,002$ ; при поповненні раз на місяць  $k_1 = 0,002...0,003$ ; при поповненні раз на рік  $k_1 = 0,003...0,0045$ .

Об'єми змащувального матеріалу, що подаються додатково, можуть бути збільшені у випадку несприятливих зовнішніх факторів, що діють на підшипник, або при відсутності безпеки переповнення підшипника.

Застосовується мінімальне змащення малими дозами літєвого або барій-літєвого змащувального матеріалу, здатного працювати при високій частоті обертання підшипника. Під дією відцентрових сил зайвий змащувальний матеріал витискається з доріжок кочення у передбачені для нього порожнини. На доріжках кочення лишається усього декілька кубічних міліметрів мастила, що забезпечують максимальну швидкохідність підшипників, яка тільки на 30-35% нижче швидкохідності при використанні рідкого змащувального матеріалу.

Періодичність заміни змащувального матеріалу у опорах шпинделів визначають в залежності від класу точності верстата, граничної частоти обертання шпинделя, типу підшипників.

### 3.7 Ущільнення опор шпиндельних вузлів

Ущільнення захищають підшипники від забруднень та змащувально-охолоджувальної рідини, перешкоджають витіканню змащувального матеріалу з опор. Ущільнення опори конструюють з урахуванням положення шпинделя у просторі (горизонтальне чи вертикальне), колової швидкості поверхні його шийок, ступеня забруднення простору опори. У конструкції ущільнювального пристрою передбачають елементи різного призначення: пиловідбійні, які захищають опору від попадання змащувально-охолоджувальної рідини, що забезпечують внутрішню герметичність (не пропускають змащувальний матеріал з порожнини опори у навколишнє середовище), що забезпечують зовнішню герметичність (перешкоджають проникненню у опору змащувально-охолоджувальної рідини та пилу, а також забрудненого масла з коробки швидкостей), дренажні отвори для відведення з опори витоків масла.

Ущільнення, призначені для створення внутрішньої та зовнішньої герметичності, поділяють на безконтактні та контактні. Безконтактні бувають статичними та динамічними. Статичні ущільнення виконують у вигляді щілини або лабіринту, у яких відбувається дроселювання змащувального матеріалу. Аксіальне щілинне ущільнення створюється циліндричними поверхнями (В на рисунку 3.5,а), радіальне — паралельними площинами. Аксіальне лабіринтне ущільнення статичного типу утворюється двома циліндричними поверхнями: рівною та з кільцевими канавками напівкруглого профілю (Г і Д на рисунку 3.5,а) або трикутного профілю (А на рисунку 3.5,а). Такі ущільнення найбільш придатні в умовах змащення пластичним матеріалом.

Для покращення герметичності на вхід ущільнення іноді подають добре очищене повітря із цехової мережі. Ущільнення, що складається із кілець 1 та 2 (рисунок 3.5,б), має фасонну щілину Ж зі змінним радіусом, придатне при змащуванні підшипників пластичним або рідким матеріалом, а також масляним туманом.

Опори шпинделів з динамічними ущільненнями мають кращу герметичність. Зигзагоподібні лабіринтні ущільнення радіального типу застосовують у опорах як з пластичним, так і з рідким змащувальним матеріалом (рисунок 3.6, таблиця 3.21). Такі ущільнення виконують свої функції тим краще, чим вище частота обертання шпинделя.

Контактні ущільнення з гумовою армованою манжетою 1 та пружиною 2 застосовують при відносно малих колових швидкостях поверхні шийки шпинделя (рисунок 3.7,а). При відсутності абразивного пилу, доброму змащенні рідким матеріалом підшипників та ущільнення гумові манжети використовують при швидкості до 8...10 м/с.

Рідкий змащувальний матеріал утворює на поверхні шпинделя масляну плівку, яка здатна переміщуватись вздовж його осі та проходити через ущільнення. Для скидання її у порожнину шпиндельної бабки

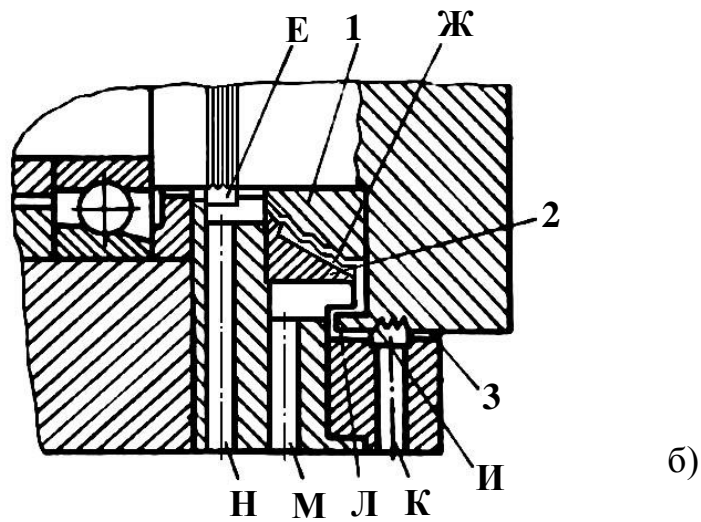
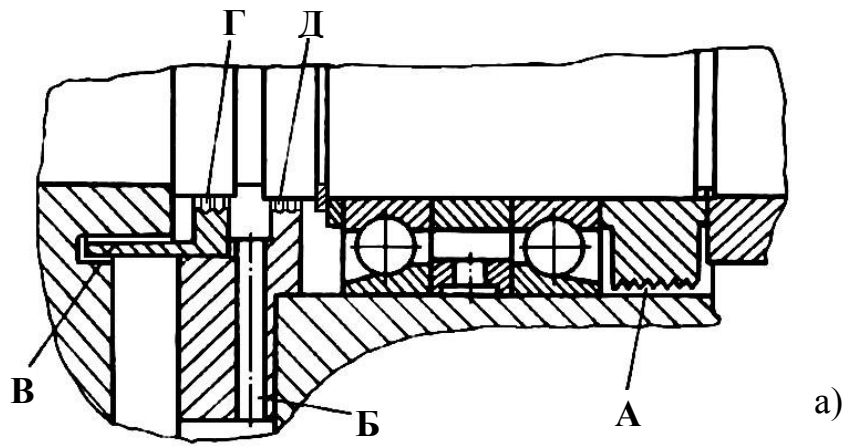


Рисунок 3.5 — Ущільнення опор шпинделя

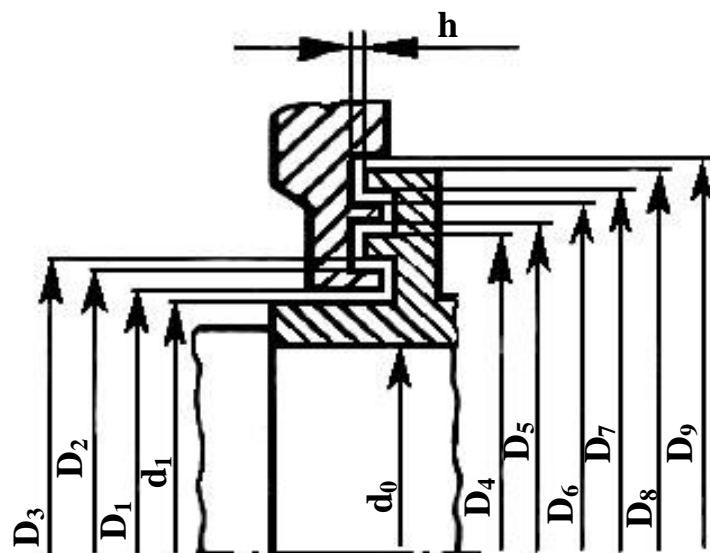


Рисунок 3.6 — Конструкція та розміри лабіринтних ущільнень

Таблиця 3.21 — Розміри лабіринтних ущільнень, мм

<b>d<sub>0</sub></b>	<b>d<sub>1</sub></b>	<b>h</b>	<b>D<sub>1</sub></b>	<b>D<sub>2</sub></b>	<b>D<sub>3</sub></b>	<b>D<sub>4</sub></b>	<b>D<sub>5</sub></b>	<b>D<sub>6</sub></b>	<b>D<sub>7</sub></b>	<b>D<sub>8</sub></b>	<b>D<sub>9</sub></b>
25	40	2,5±1	40,6	54,4	55	69,4	70	—	—	—	—
30	45		45,6	59,4	60	74,4	75	—	—	—	—
35	50		50,6	64,4	65	79,4	80	—	—	—	—
40	55		55,6	69,4	70	84,4	85	—	—	—	—
45	60		60,8	74,2	75	89,2	90	—	—	—	—
50	65		65,8	79,2	80	94,2	95	—	—	—	—
55	70		70,8	84,2	85	99,2	100	—	—	—	—
60	80		80,8	94,2	95	109,2	110	—	—	—	—
65	85		85,8	99,2	100	114,2	115	129,2	130	144,2	145
70	90		90,8	104,2	105	119,2	120	134,2	135	149,2	150
75	95	3±1	95,8	109,2	110	124,2	125	139,2	140	154,2	155
80	100		100,8	114,2	115	129,2	130	144,2	145	159,2	160
90	110		110,8	124,2	125	139,2	140	154,2	155	169,2	170
95	120		121	134	135	149	150	164	165	179	180
100	130		131	144	145	159	160	174	175	189	190
110	140		141	159	160	179	180	199	200	219	220
120	150		151	169	170	189	190	209	210	229	230
130	160		161	179	180	199	200	219	220	239	240
140	170		171	189	190	209	210	229	230	249	250
150	180		181	199	200	219	220	239	240	259	260
160	190	191	209	210	229	230	249	250	269	270	
170	200	201	219	220	239	240	259	260	279	280	

П р и м і т к а. Розміри **d<sub>1</sub>**, **D<sub>2</sub>**, **D<sub>4</sub>**, **D<sub>6</sub>** та **D<sub>8</sub>** по h11. Розміри **D<sub>1</sub>**, **D<sub>3</sub>**, **D<sub>5</sub>**, **D<sub>7</sub>**, та **D<sub>9</sub>** по H11. Глибина кільцевих пазів — 8 мм.

ставлять маслоскидальні ущільнення, що мають гострі кромки, з яких масло зривається від дії відцентрових сил (рисунок 3.7,б). Такі ущільнення працюють більш ефективно, коли знаходяться у кільцевій камері А, що з'єднується дренажним каналом Б з порожниною шпindelної бабки.

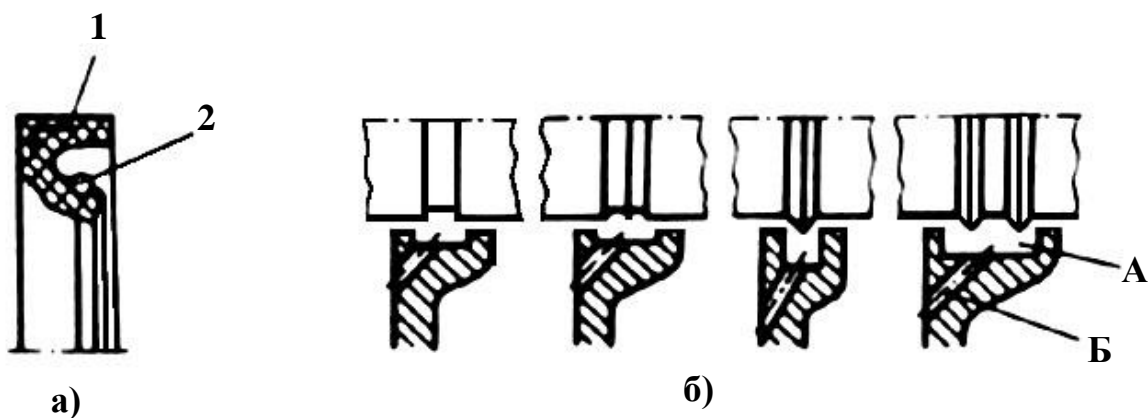


Рисунок 3.7 — Елементи ущільнень опор шпинделя

Ущільнювальний пристрій компонується з елементів різного функціонального призначення. Наприклад, задня опора шпинделя, що змащується пластичним матеріалом, за допомогою щільного ущільнення В (рисунок 3.5,а), лабіринтового Г та дренажного отвору Б захищена від проникнення у неї рідкого мастила, забрудненого продуктами зносу деталей шпиндельної бабки. Внутрішня герметичність цієї опори забезпечена ущільненнями А і Д. Для створення внутрішньої герметичності у передній опорі, що змащується рідким матеріалом, передбачені ущільнення Е та Ж з дренажними каналами Н та М, а також лабіринтне ущільнення Л (рисунок 3.5,б). Проникненню у опору змащувально-охолоджуючої рідини перешкоджає щільне ущільнення З та ущільнення И разом з дренажним отвором К.

### 3.8 Типові компонування шпиндельних вузлів

Зменшення трудомісткості конструювання, виготовлення та експлуатації шпиндельних вузлів, створення їх у вигляді окремих агрегатних модулів досягають застосуванням розроблених типових конструктивних компонувань. Особливість їх полягає в тому, що осьове навантаження сприймається передньою опорою, а задня опора виконується плаваючою, тобто не закріплюється у осьовому напрямку. Це підвищує радіальну жорсткість вузла та зменшує теплові деформації переднього кінця шпинделя. Типові компонування шпиндельних вузлів відрізняються застосованими підшипниками, типи яких призначають в залежності від параметра швидкохідності та потрібної жорсткості шпинделя. Великою жорсткістю відрізняються роликові підшипники, але у них мала гранична частота обертання, тому на їх основі компонують шпинделі низькошвидкісні з великим навантаженням. Шарикові підшипники мають велику граничну частоту обертання, але малу жорсткість, яка залежить від кута контакту, тому їх використовують у високошвидкісних шпинделях з

невеликим навантаженням. Середньошвидкісні шпинделі можуть містити роликові та шарикові підшипники.

Нижче наведені приклади деяких типових компоновань шпиндельних вузлів з їх параметрами та характерними групами верстатів, де їх застосовують.

Шпиндельні вузли з дворядним підшипником типу 3182100К та упорно-радіальним шариковим підшипником типу 178800 застосовують у середніх та важких токарних, фрезерувальних, фрезерувально-розточувальних та шліфувальних верстатах (рисунок 3.8, а). У передній опорі перший підшипник призначений для сприйняття радіальних навантажень, другий — для осьових. Діаметр шпинделя у передній опорі  $d = 60 \dots 200$  мм. Вузол характеризується відносно високою швидкохідністю:  $d n_{\max} = (1,5 \dots 4,5) \cdot 10^5$  мм·хв<sup>-1</sup>, де  $n_{\max}$  — найбільша частота обертання.

Шпиндельні вузли з дворядним роликовим конічним підшипником типу 697000 у передній опорі та однорядним роликовим конічним підшипником з широким зовнішнім кільцем типу 17000 у задній опорі призначені для середніх і важких токарних та фрезерувальних верстатів, що виготовляються великими партіями (рисунок 3.8, б). Передня опора має високу жорсткість, попередній натяг у ній створюється за допомогою проставного кільця, у задній — пружинами. Діаметр шпинделя у передній опорі — 60...200 мм. Гранична частота обертання відносно невисока, характеристика швидкохідності  $(1,6 \dots 2) \cdot 10^5$  мм·хв<sup>-1</sup>.

Шпиндельні вузли з однорядним конічним підшипником типу 67700 у передній опорі та однорядним роликовим конічним підшипником з широким зовнішнім кільцем типу 17000 у задній застосовують у невеликих та середніх токарних та фрезерувальних верстатах, що виготовляють великими партіями (рисунок 3.8, в). Діаметр шпинделя у передній опорі — 40...160 мм. Характеристика швидкохідності —  $(2 \dots 3) \cdot 10^5$  мм·хв<sup>-1</sup>. Найбільша частота обертання вища, ніж для попередньої конструкції, але радіальна та осьова жорсткість нижчі.

Шпиндельні вузли з радіально-упорними шарикопідшипниками типу 36000К чи 46000К призначені для легких та середніх токарних, фрезерувальних, фрезерувально-розточувальних та шліфувальних верстатів (рисунок 3.8, г). Діаметр шпинделя у передній опорі — 30...120 мм. У випадку високого осьового навантаження встановлюють радіально-упорні підшипники з більшим кутом контакту. Для забезпечення осьового температурного зміщення задньої опори передбачають осьовий зазор між зовнішніми кільцями підшипників та корпусом шпиндельної бабки. Шпинделі допускають високу частоту обертання, характеристика швидкохідності —  $(4 \dots 6) \cdot 10^5$  мм·хв<sup>-1</sup>.

Шпиндельні вузли з радіально-упорними шарикопідшипниками типу 46000К у передній опорі та дворядним роликовим підшипником типу 3182100К у задній застосовують у легких токарних автоматах, алмазно-

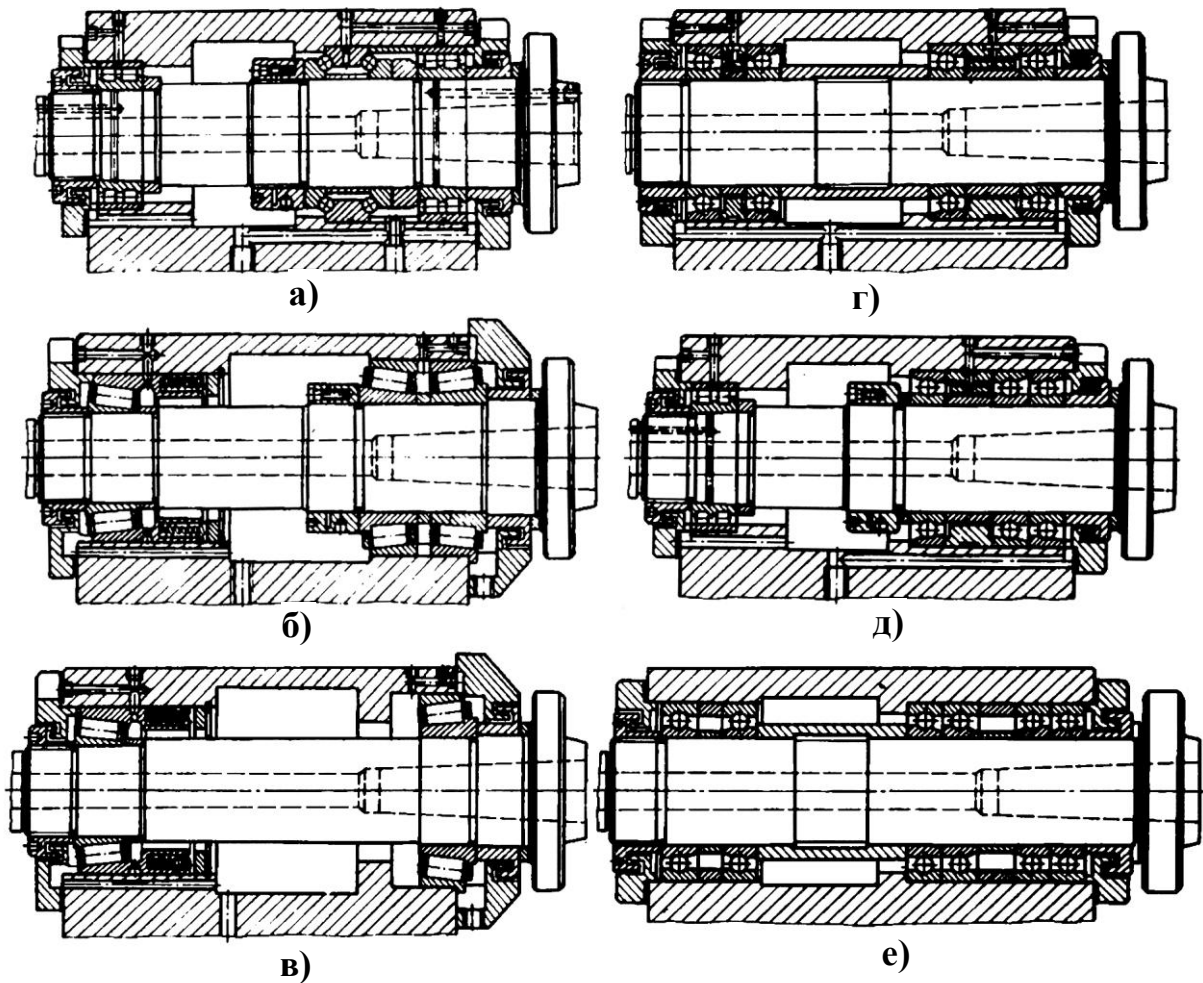


Рисунок 3.8 — Типові компонування шпиндельних вузлів

розточувальних та швидкісних фрезерувальних верстатах, а також у силових головках агрегатних верстатів (рисунок 3.8, д). Діаметр шпинделя у передній опорі — 20...80 мм. Частота обертання шпинделя достатньо висока, характеристика швидкохідності —  $(7...11) \cdot 10^5$  мм·хв<sup>-1</sup>. Якщо необхідно підвищити осьову жорсткість, можна встановити радіально-упорні підшипники з більшим кутом контакту. Осьовий зазор між зовнішнім кільцем підшипника задньої опори та корпусом непотрібний, оскільки роликівий підшипник компенсує температурні деформації.

Шпиндельні вузли з радіально-упорними шарикопідшипниками типів 46000К×2 або 36000К×2 та 36000К застосовують у середніх та важких круглошліфувальних та плоскошліфувальних верстатах. Діаметр передньої шийки шпинделя — 60...140 мм, характеристика швидкохідності —  $(4...6) \cdot 10^5$  мм·хв<sup>-1</sup>.

Значення характеристики швидкохідності можуть змінюватись в залежності від властивостей змащувального матеріалу та особливостей змащувальної системи.