

## ГЛАВА 7. ДОПУСКИ І ПОСАДКИ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

Підшипники кочення є найбільш розповсюдженими стандартними складальними одиницями, які виготовляють на спеціалізованих заводах. Вони мають повну зовнішню взаємозамінність за приєднувальними поверхнями, що визначаються зовнішнім діаметром  $D$  зовнішнього кільця та внутрішнім діаметром  $d$  внутрішнього кільця. Між кільцями та тілами кочення існує неповна взаємозамінність (кільця та тіла кочення складають селективним методом). Зношені підшипники кочення легко замінюються та демонтуються новими в корпусах та на валах.

### 7.1 Класи точності підшипників кочення

Точність підшипників кочення характеризується точністю їхнього виготовлення і складання. Допуски на виготовлення посадкових поверхонь підшипників не збігаються з допусками за квалітетами, тому для градації точності підшипників кочення встановлені класи точності.

Стандартом ГОСТ 520-89 передбачено для підшипників кочення 5 класів точності, позначених у порядку підвищення точності: P0, P6, P5, P4, P2. В позначенні підшипників допускається опускати літеру P, тобто позначати 0, 6, 5, 4, 2.

Клас точності підшипника вказують перед позначенням типу (номера) підшипника, наприклад P4 - 250. Клас "0" найбільш розповсюджений в загальному машинобудуванні, тому позначення P0 чи 0 на підшипниках цього класу не проставляють. Приведений приклад позначення підшипника має вид: 205, де 2 - серія підшипника - легка (існують: середня - 3, важка - 4 тощо); дві останні цифри, помножені на п'ять, дорівнюють діаметру отвору внутрішнього кільця підшипника кочення (205 - підшипник шариковий радіальний однорядний легкої серії для посадки на вал діаметром 25 мм).

Основні розміри підшипників кочення встановлює ГОСТ 3478-79, типи та конструктивне виконання -ГОСТ 3395-89.

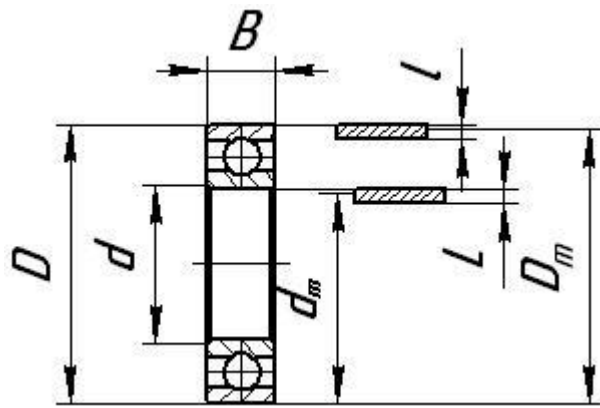
Найточніші підшипники класу 2 чи P2 призначені для:

- гіроскопічних машин і приладів;
- мікроскопічних приладів, електричних мікромашин;
- прецизійних верстатів.

Підшипники класів 5 і 4 використовують при:

- високих частотах обертання;
- у випадках, коли потрібна висока точність при обертаннях (наприклад, для шпинделів шліфувальних верстатів);
- в прецизійних металорізальних верстатах.

Приєднувальними поверхнями підшипників кочення є наступні (див. рис. 7.1).



**Рисунок 7.1**  
*Присднувальні поверхні підшипників кочення*

$D$  – зовнішній діаметр (зовнішнього кільця);

$d$  – внутрішній діаметр (внутрішнього кільця);

$B$  – ширина кілець;

$D_m$  – середній діаметр зовнішнього кільця підшипника:

$$D_m = 0,5(D_{max} + D_{min}),$$

$D_{max}$  – найбільше значення зовнішнього діаметра, виміряне в двох крайніх перетинах;

$D_{min}$  – найменше значення зовнішнього діаметра, виміряне в двох крайніх перетинах;

$d_m$  – середній діаметр внутрішнього кільця підшипника:

$$d_m = 0,5(d_{max} + d_{min}),$$

де  $d_{max}$  – найбільше значення внутрішнього діаметра, виміряне в двох крайніх перетинах;

$d_{min}$  – найменше значення внутрішнього діаметра, виміряне в двох крайніх перетинах.

Для розмірів  $d$ ,  $d_m$ ,  $D$ ,  $D_m$  введені граничні відхилення, що представлені у ГОСТ 3325-85.

Введення в стандарт граничних відхилень середніх діаметрів  $d_m$  і  $D_m$  викликане особливостями визначення їхньої придатності у складанні, тому що кільця малих типорозмірів підшипників легко деформуються внаслідок малої товщини. Розміри кілець підшипників до монтажу і після складання з валами і корпусами не співпадають. Наприклад, кільце підшипника, що має до складання овальність чи розміри, які вийшли за припустимі межі, після складання може прийняти правильну геометричну форму і мати розміри, що лежать у межах допуску.

У зв'язку з викладеним, придатними є кільця підшипників, дійсні значення середніх діаметрів яких не виходять за межі значень середніх діаметрів  $d_m$  і  $D_m$ .

## 7.2 Посадки підшипників кочення

З'єднання підшипників кочення з валами та корпусами виконують згідно з ГОСТ 3325-85.

Діаметри зовнішнього  $D$  і внутрішнього  $d$  кілець підшипника прийняті за номінальні діаметри основного вала й основного отвору.

Тому:

- посадка зовнішнього кільця в корпус здійснюється за системою вала;
- посадка внутрішнього кільця на вал - за системою отвору. У підшипникових посадках прийняте "перевернуте" щодо нульової лінії розташування поля допуску основного отвору. Тому поле допуску діаметра  $d$  підшипника розташоване нижче нульової лінії (див. рис. 7.2).

Поля допусків посадкових розмірів внутрішніх і зовнішніх кілець підшипників відрізняються як розташуванням, так і величиною від тих, що встановлені для основного вала й отвору гладких циліндричних з'єднань. На рис. 7.2 приведена схема розташування полів допусків посадкових розмірів підшипника та спряжених з ним валів і отворів.

## 7.3 Види навантажень кілець

Вибір посадок підшипників кочення проводять із врахуванням:

- типу;
- розміру;
- класу точності підшипника;
- характеру навантаження;
- режиму роботи підшипникового вузла.

При цьому визначальним є вид навантаження кілець підшипника.

Розрізняють три види навантажень кілець:

- місцеве (М);
- циркуляційне(Ц);
- коливальне(К).

Вид навантаження залежить від того:

- яке кільце підшипника нерухоме;
- яке обертається;
- як при цьому діє на підшипник навантаження.

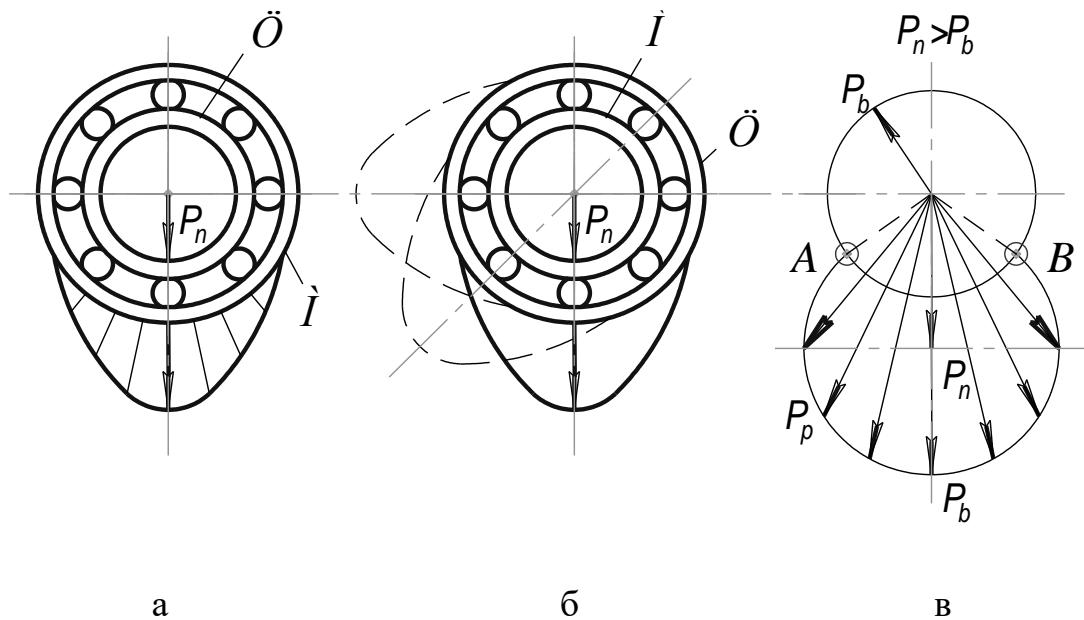
**Місцевим навантаженням кільця (М)** називається такий вид навантаження, при якому діюче на підшипник радіальне навантаження  $P_n$  постійно сприймається однією і тією ж самою обмеженою ділянкою доріжки кочення цього кільця (у межах зони навантаження) і передається відповідній ділянці посадкової поверхні вала чи корпусу (рис. 7.3, а).

Такий вид навантаження має місце, наприклад, від натягу приводного ременя, сили тяжіння конструкції тощо.

При цьому:

- внутрішнє кільце є нерухомим відносно дії навантаження, або
- кільце і навантаження беруть участь у спільному обертанні.





**Рисунок 7.3**

*Епюри навантажень кілець підшипників*

Кільця підшипників з місцевим навантаженням потрібно монтувати в підшипниковий вузол із зазором таким чином, щоб кільце під впливом поштовхів і вібрацій поступово проверталось по посадковій поверхні.

**Циркуляційним навантаженням кільця ( $\mathcal{C}$ )** називається такий вид навантаження, при якому кільце сприймає результуючу радіального навантаження  $P_n$  послідовно всією окружністю доріжки кочення і передає її послідовно всій посадковій поверхні вала або отвору корпусу (рис. 7.3, б).

Такий вид навантаження виникає, наприклад:

- коли кільце обертається відносно постійного напрямку дії радіального навантаження;
- коли навантаження обертається відносно нерухомого кільця;
- коли навантаження обертається відносно рухомого кільця.

У цьому випадку монтаж підшипника на вал чи в корпус виконують по посадці з натягом, щоб виключити можливість обкатування і проковзування кільця по посадковій поверхні при роботі під навантаженням.

Зазор при циркуляційному навантаженні не допускається.

Посадки призначають за результатами розрахунків із врахуванням перенавантаження конструкції вала і корпусу, значення діючого навантаження на підшипник, розмірів підшипника тощо.

**Коливальним навантаженням кільця ( $\mathcal{K}$ )** називається такий вид навантаження, при якому нерухоме кільце підшипника піддається одночасному впливу двох радіальних сил (навантажень), одна з яких є постійною за напрямком ( $P_n$ ), а друга обертається ( $P_b$ ).

Рівнодіюча  $P_p$  сил  $P_n$  і  $P_b$  виконує періодичний коливальний рух

(подібно маятнику годинника між точками А і В (рис. 7.3, в), симетричний щодо напрямку постійної сили  $P_n$ .

Коливальне навантаження має місце також у тому випадку, якщо обертова сила  $P_b$  менша за величиною, ніж постійна сила  $P_n$ :  $P_b < P_n$

Може мати місце випадок  $P_b > P_n$ . При цьому:

- кільце, що обертається, має місцеве навантаження;
- нерухоме кільце - циркуляційне.

Посадки на вал при коливальному ( $K$ ) навантаженні відповідають полям допусків при циркуляційному ( $Ц$ ) навантаженні.

На рис. 7.3 показані епюри навантажень кілець підшипників.

Приклади механізмів:

- з місцевим навантаженням кілець підшипників кочення:
- з обертанням вала:
  - електродвигуни, насоси, шпинделі металорізальних верстатів;
  - колісні пари потягів.
- з коливальним навантаженням кілець підшипників кочення:
- з обертанням вала або вала та корпусу:
  - шпинделі металорізальних верстатів;
  - шліфувальні шпинделі та невеликі електродвигуни;
  - високошвидкісні електродвигуни для обладнання та високоточних приладів.
- з циркуляційним навантаженням кілець підшипників кочення:
- з обертанням корпусу:
  - ролики стрічкових транспортерів;
  - колеса мостових підйомних кранів;
  - передні колеса автомобілів, тягачів, колінчасті вали;
  - колеса літаків.

#### 7.4 Вибір посадок підшипників кочення

Встановлені стандартом поля допусків для валів та отворів корпусів під підшипники розраховані на такі умови:

- вали повинні бути суцільними або пустотілими товстостінними;
- матеріал валів - сталь, корпусів - сталь або чавун;
- підшипники при роботі не повинні перегріватися вище  $100^{\circ}\text{C}$ .

При визначенні полів допусків на вал та отвір корпусу відповідно під внутрішнє та зовнішнє кільце підшипника кочення необхідно враховувати:

- обертається кільце разом із валом або корпусом чи нерухоме;
- величину, напрямок і характер діючих на підшипник навантажень;
- режим роботи;
- тип, розміри та клас точності підшипника.

Вибір посадок кілець підшипників визначається характером їхнього

навантаження, яке залежить від наявності обертального руху даного кільця відносно діючого на нього радіального навантаження. Під радіальним навантаженням розуміють результуючу всіх радіальних навантажень.

Посадки для підшипників кочення потрібно вибирати так, щоб:

- одне обертове кільце підшипника, на яке діє циркуляційне навантаження, було змонтовано з натягом;
- інше кільце, на яке діє місцеве навантаження, було змонтовано із зазором.

При посадці із зазором для місцево навантажених кілець виключається заклинювання шариків, а кільце, змонтоване з зазором, під дією поштовхів і вібрацій поступово повертається по посадковій поверхні, що призводить до рівномірного зношення доріжок.

При циркуляційному навантаженні поля допусків слід вибирати по інтенсивності радіального навантаження  $P_R$  на посадковій поверхні кільця, що характеризується величиною радіального навантаження, яке приходить на одиницю ширини внутрішнього кільця:

$$P_R = \frac{R}{b} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (7.3)$$

де  $R$  – розрахункова радіальна реакція опори, Н;  
 $b$  – робоча ширина посадкового місця, мм;  
 $B$  – ширина підшипника, мм;

для шарикових підшипників  $b = B - 2r$ ;

$r$  – радіус заокруглення кільця підшипника, мм;

для роликів підшипників  $b = B - (r + r_1)$ ;

$K_1$  – динамічний коефіцієнт посадки:

$K_1 = 1$  – при навантаженні із помірними поштовхами, перенавантаження до 150%;

$K_1 = 1,8$  – навантаження із сильними ударами та вібрацією, перенавантаження до 300%;

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує степінь послаблення посадкового натягу при пустотілому валі чи тонкостінному корпусі:  $K_2 = 1$  при суцільному валі;  
 $K_2 = 1...3$ ;

$K_3$  – коефіцієнт нерівномірності розподілу радіального навантаження між рядами роликів у дворядних конічних роликотіпідшипниках, чи між подвоєними радіальноупорними шариковими підшипниками, при наявності осевого навантаження на опору;  $K_3 = 1...2$ .

За розрахованою величиною  $P_R$  і розміром кільця з циркуляційним навантаженням за таблицею знаходять рекомендоване поле допуску розглянутого елемента.

Посадку, призначену для циркуляційнонавантаженого кільця, слід перевірити на наявність **посадкового зазору**  $S$  :

$$S = S_{em} - \Delta d_1 \cdot (\Delta D_1), \quad (7.4)$$

де  $S$  – посадковий радіальний зазор, мм;

$S_{em}$  – середній початковий радіальний зазор, що дорівнює напівсумі граничних початкових зазорів:

$$S_{em} = 0,5 \cdot (S_{max} + S_{min}), \quad (7.5)$$

$\Delta d_1$  – діаметральна деформація доріжки кочення циркуляційно навантаженого внутрішнього кільця після посадки його на вал чи до корпусу, мкм;

$\Delta D_1$  – діаметральна деформація доріжки кочення циркуляційно навантаженого зовнішнього кільця після посадки його на вал чи до корпусу, мкм:

$$\Delta d_1 = N_a/d_0; \quad \Delta D_1 = N_a/D_0, \quad (7.6)$$

де  $N_a$  – дійсний натяг, мкм, обумовлений найбільшим граничним натягом:

$$N_a = 0,85 \cdot N_{max}, \quad (7.7)$$

де  $d_0$  – приведений зовнішній діаметр внутрішнього кільця, мкм:

$$d_0 \approx \frac{d + (D - d)}{4}, \quad (7.8)$$

де  $D_0$  – приведений внутрішній діаметр зовнішнього кільця, мм:



$$D_0 = \frac{D - (D - d)}{4}; \quad (7.9)$$

### 7.5 Позначення посадок підшипників кочення на кресленнях

Підшипникові посадки відрізняються від посадок гладких циліндричних з'єднань також і позначеннями на кресленнях.

Отвори в корпусах, що призначені для встановлення в них підшипників 0 і 6 класів точності, слід, як правило, обробляти з точністю 7-го квалітету ( $q_{отв} = 7$ ), - а вали - 6-го квалітету ( $q_{вала} = 6$ ).

Відхилення форми і розташування поверхонь валів і отворів корпусів, що з'єднуються з підшипниками кочення, призводять до деформації кілець і порушення нормальної роботи підшипникового вузла. Тому допуск циліндричності не повинен перевищувати для підшипників:

- P0, P6 - 1/4 допуску на розмір  $T_{p-p}$ ;

- P5, P4 - 1/8 допуску на розмір  $T_{p-p}$ ;

- допуск биття торців повинен дорівнювати відповідним величинам биттів для циліндричних поверхонь, при цьому відхилення овальності та конусності валів і корпусів в місцях встановлення підшипників кочення не повинні перевищувати  $0,5T_d$  чи  $0,5T_D$ .

Шорсткість також обмежена і залежить від:

- номінального розміру;

- класу точності підшипника

і визначається для валів, отворів у корпусі, торців заплечиків.

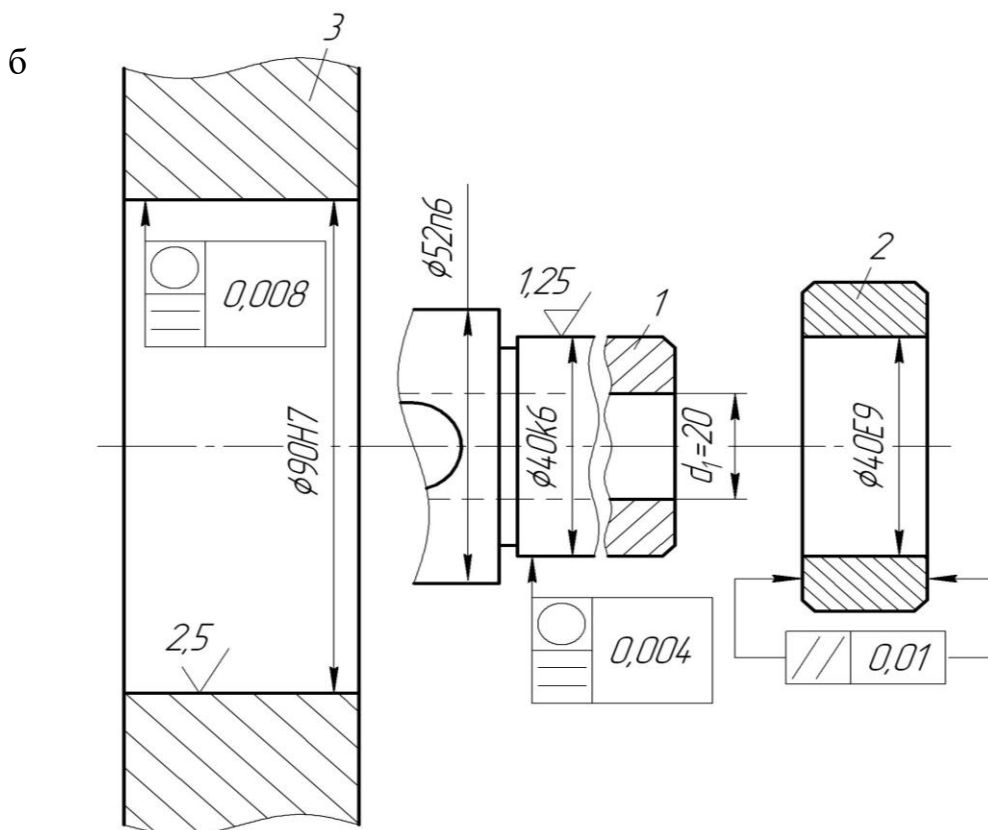
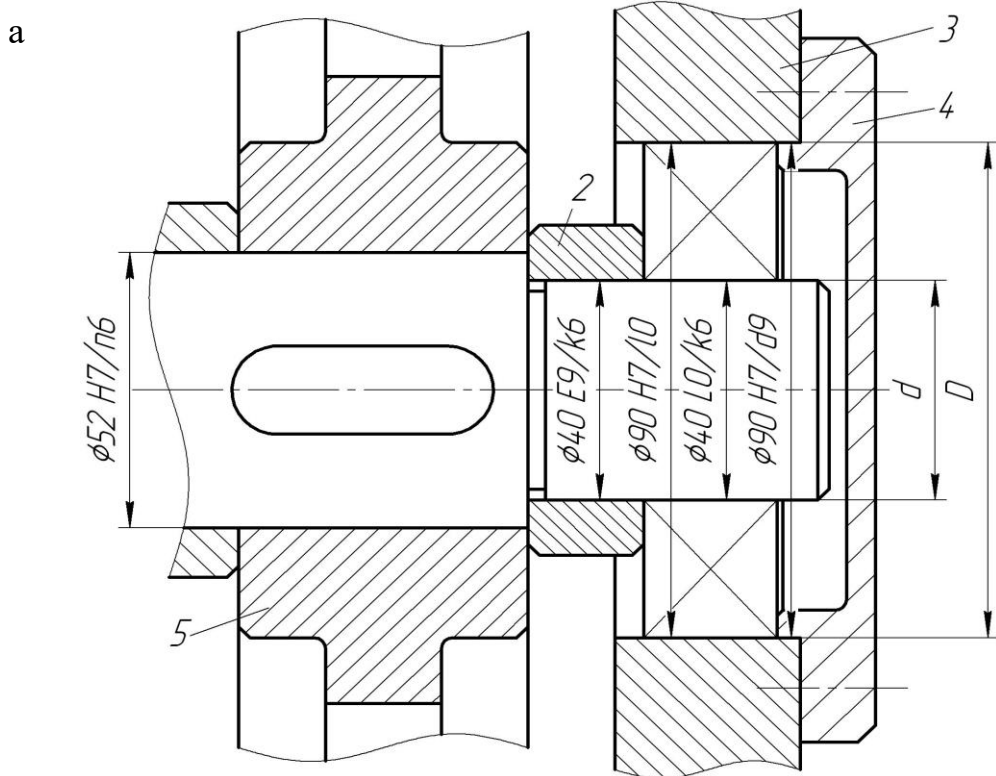
Шорсткість і точність форми посадкових поверхонь валів і корпусів для з'єднання із шарико- та роликотпідшипниками наведена у табл. 7.1.

**Таблиця 7.1**

*Шорсткість і точність форми посадкових поверхонь*

	Клас точності	Шорсткість, $R_a$	
		$D, d < 80$	$D, d > (80...500)$
Валів	0	1,25	2,5
	5 і 6	0,63	1,25
	4	0,32	0,63
Отворів корпусів	0	1,25	2,5
	6; 5 і 4	0,63	1,25
Торців заплечиків і отворів корпусів	0	2,5	2,5
	6; 5 і 4	1,25	2,5

Оскільки використання системи отвору для з'єднання внутрішніх кілець підшипників з валами і системи вала для з'єднання зовнішніх кілець з корпусами є обов'язковим, на складальних кресленнях посадки кілець підшипників прийнято позначати одним полем допуску так, як на рис. 7.4.



## **Рисунок 7.4**

*Позначення посадок підшипників кочення на складальних кресленнях (а) та полів допусків на кресленнях деталей (б)*

### **7.6 Контрольні запитання**

1. Класи точності підшипників кочення. Приклади використання.
2. Назвати параметри, в залежності від яких призначаються класи точності підшипників кочення.
3. Особливості розташування полів допусків на приєднувальні розміри кілець підшипників кочення.
4. Назвати умови, які визначають характер посадок підшипників на вал, в корпус.
5. Визначити поняття "місцеве", "циркуляційне" та "коливальне" навантаження.
6. Визначити поняття "інтенсивність радіального навантаження".
7. Як позначаються підшипникові посадки на кресленнях?
8. Які поля допусків використовують для посадок підшипників кочення на вал, в отвір корпусу?

### **7.7 Теми для самостійного вивчення**

1. Використання підшипникових вузлів у техніці та рекомендовані у кожному випадку поля допусків для встановлення підшипників кочення на вал, в отвір корпусу [6, С. 288 - 296].
2. Ознайомлення з конструюванням підшипникових вузлів та їх складальними кресленнями [8, С. 79 - 118].