



*Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ЗМ 11. Проектування валів і опор

Рачкевич Руслан

Тематичний план лекції

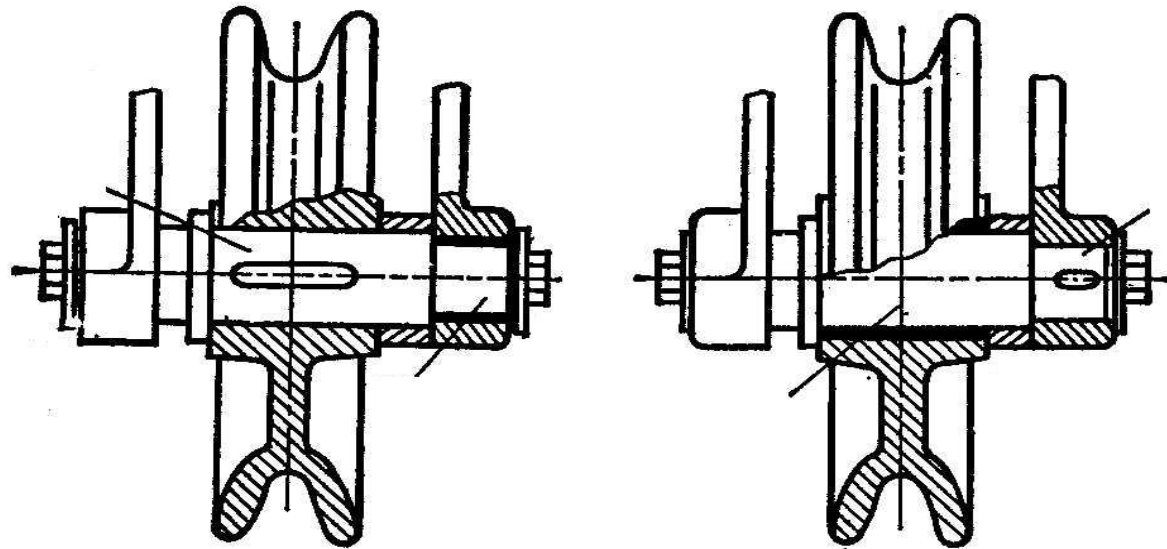
11.1) Загальні відомості. Класифікація, конструкції та матеріали валів і осей.

11.2) Критерії розрахунку валів. Проектний і перевірний розрахунок валу.

11.3) Підбір підшипників кочення за статичною та динамічною вантажністю.

Загальні відомості

Осі та вали призначені для розміщення окремих ланок машин, які здійснюють обертовий рух.



Загальні відомості
Класифікація валів і осей

За геометричною формою осі

Прямі



Колінчаті



Гнучкі



Загальні відомості Класифікація валів і осей

За формою й конструктивними ознаками

Гладкі



Вали-шестірні



Ступінчасті



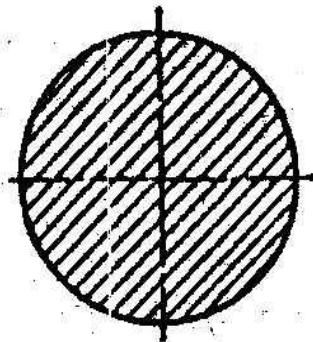
Шліцові вали



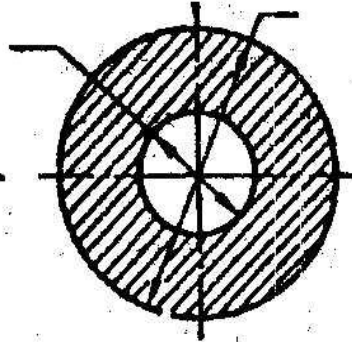
Загальні відомості
Класифікація валів і осей

За видом поперечного перерізу

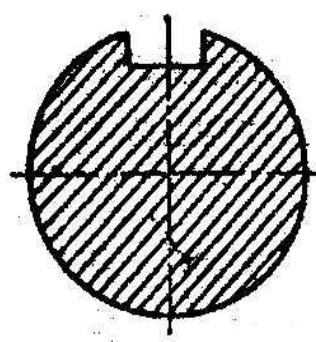
Суцільні



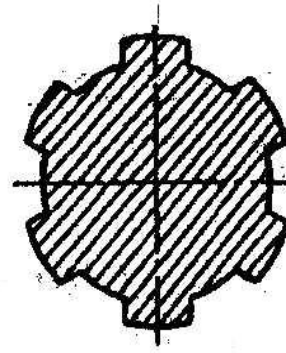
Порожністі



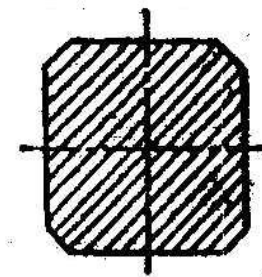
Із шпонковим пазом



Шліцові



Прямокутні



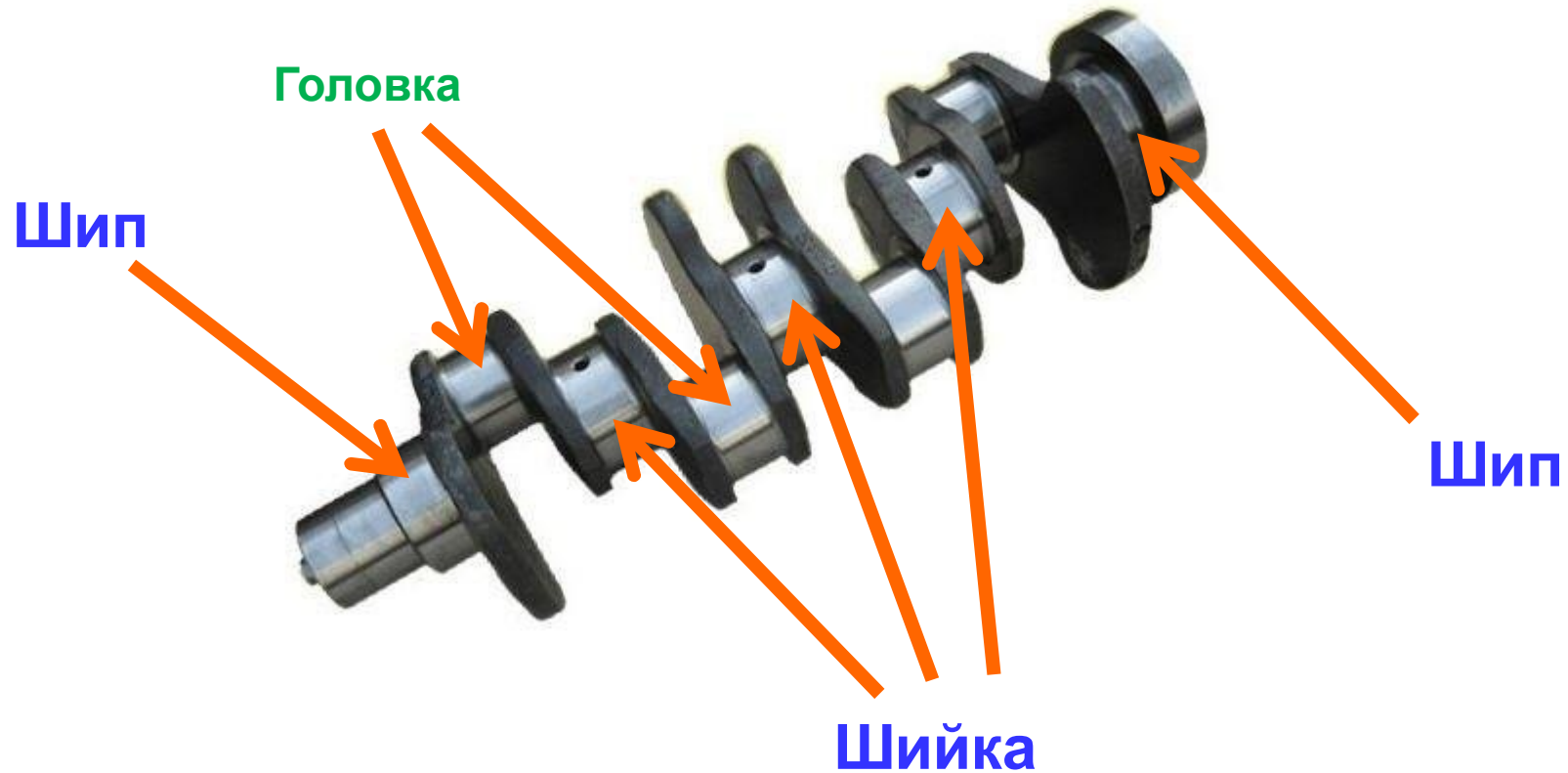
Загальні відомості

Класифікація валів і осей

Опорні ділянки валів та осей називають **цапфами**.

Цапфи, опорні реакції яких перпендикулярні до осі обертання, називають **шипами** (кінцеві цапфи) або **шийками** (проміжні цапфи)

Ділянки осей або валів, на яких закріплено обертові деталі або складальні одиниці (зубчасті колеса, шків, півмуфти, блоки та ін.), називають **голівками** (**підматочинами**).



Загальні відомості Класифікація валів і осей

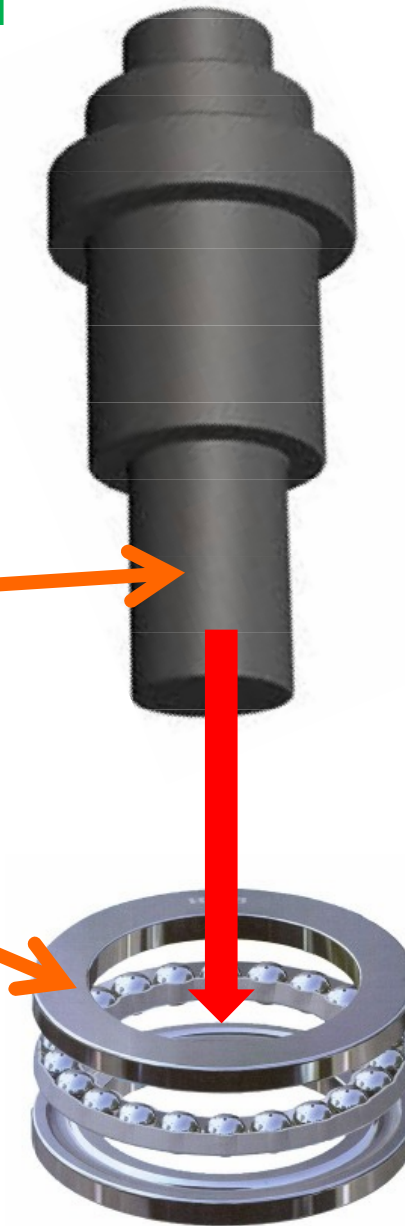
Опорами шипів і шийок є радіальні або радіально-упорні **підшипники кочення** або **підшипники ковзання**.



Загальні відомості Класифікація валів і осей

Цапфи, опорні реакції яких збігаються з віссю обертання або паралельні їй, називають **п'ятами**.

Опорами п'ят є **підп'ятники - упорні підшипники** ковзання або кочення



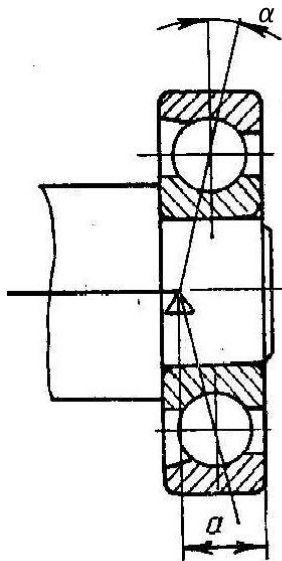
Загальні відомості Класифікація валів і осей

Основними матеріалами для валів є **вуглецеві** та **леговані сталі**. Заготовками для валів діаметром до 150 мм у більшості випадків є круглий прокат, а для валів більшого діаметру — поковки. Поверхні валів, що належать до спряжень з іншими деталями, повинні бути оброблені чисто і точно. Параметри шорсткості поверхонь: підшипники $R_a = (3,2 \dots 0,8)$ мкм, а під підшипники ковзання $R_a = (0,4 \dots 0,1)$ мкм.

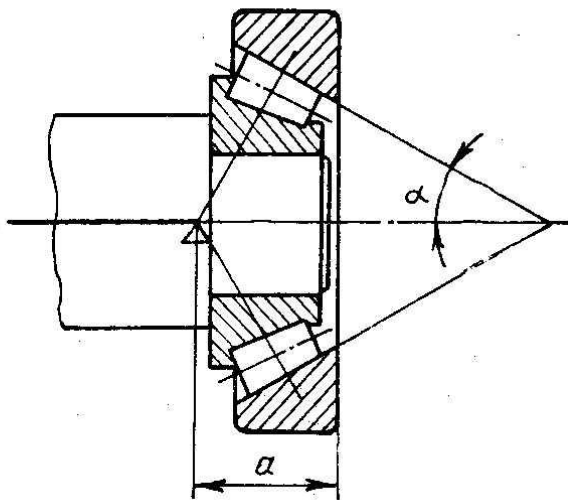
Для валів, розміри поперечних перерізів яких вибирають за умовою жорсткості, переважно використовують сталі **Ст5 і Ст6**. Для більшості інших випадків застосовують **сталі 45, 50, 40Х, 40ХН** та інші. Вали з цих сталей піддаються нормалізації, покращенню або гартуванню з нагрівом СВЧ і низьким відпуском (шліцьові вали, вали, що працюють у підшипниках ковзання).

Критерії розрахунку валів

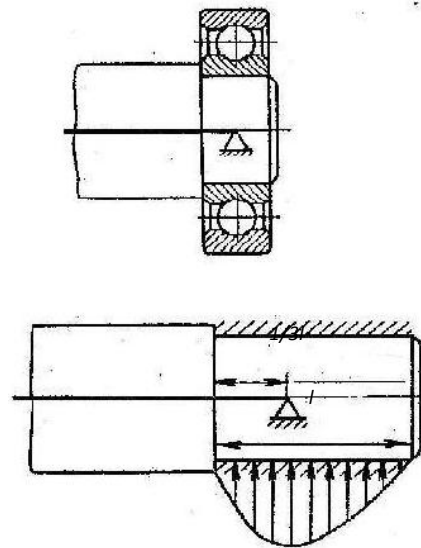
Однорядний
радіально-упорний
кульковий
підшипник



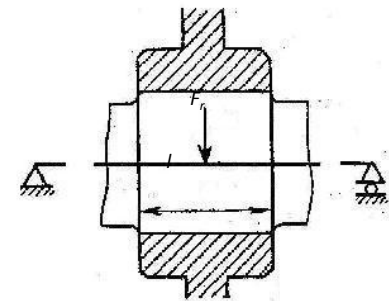
Однорядний
радіально-упорний
роликовий
підшипник



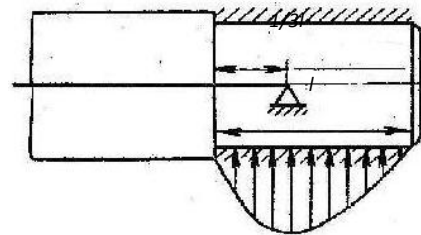
Однорядний
радіальний
кульковий
підшипник



Головка
(підматочина)



Втулка
(підшипник тертя ковзання)



Критерії розрахунку валів

Для однорядних радіально-упорних
кулькових

$$a = 0,5(b + (d + D)tg\alpha)$$

Для дворядних радіально-упорних
кулькових

$$a = 0,5(1,5b + (d + D)tg\alpha)$$

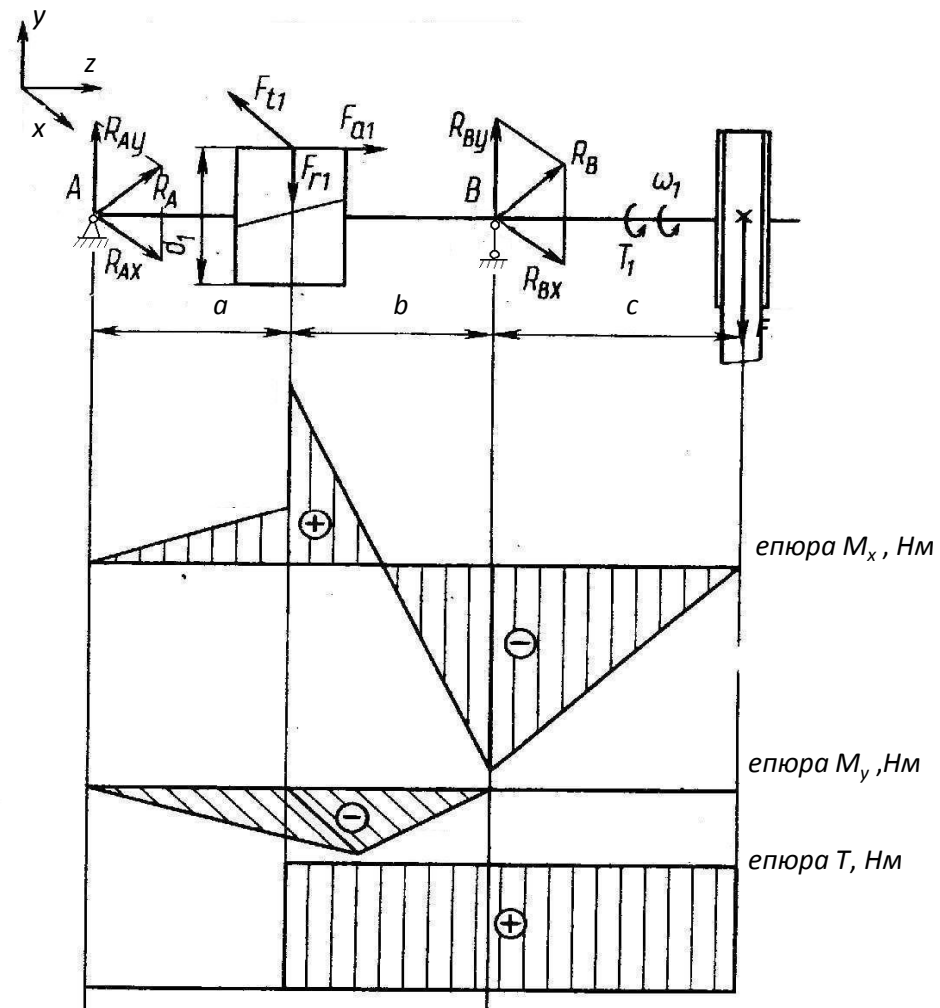
Для однорядних конічних
роликотішипників

$$a = 0,5T + (e/3)(d + D)$$

Для дворядних конічних
роликотішипників

$$a = (3/4)T + (e/3)(d + D)$$

Критерії розрахунку валів



Проектний розрахунок валу

$$\tau = \frac{T}{W_{\rho}} \leq \tau_{adm}$$

$$W_{\rho} = \pi d^3 / 16$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi \tau_{adm}}}$$

$\tau_{adm}=(20\dots25)$ МПа – коли переріз зазнає тільки деформацій кручення

$\tau_{adm}=(15\dots20)$ МПа – коли перерізи, які зазнають тільки деформацій кручення відсутні

Перевірний розрахунок валів
Розрахунок валів на статичну міцність

$$\sigma_{E \max} = \sigma_E K_n \leq \sigma_{Eadm},$$

$\sigma_E = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$

$K_n = T_{\max} / T$

$\sigma_{Eadm} \approx 0,8\sigma_T$

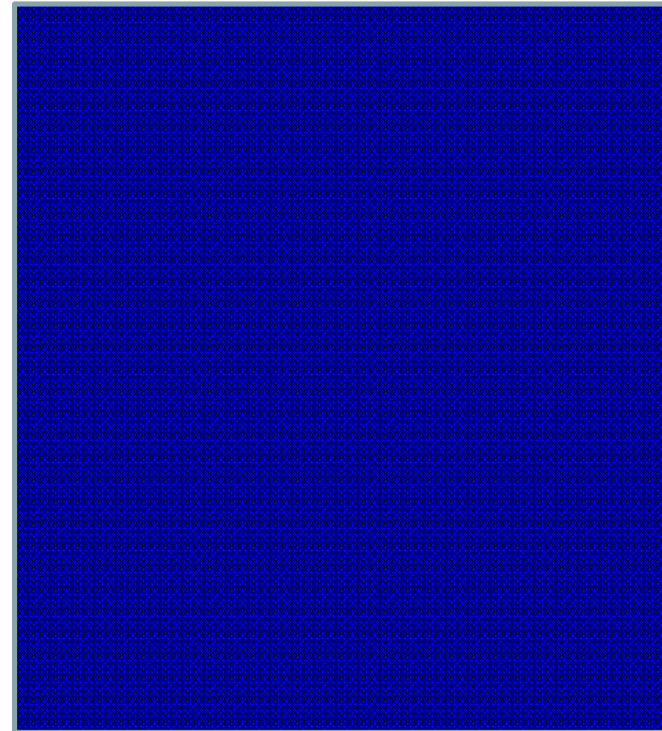
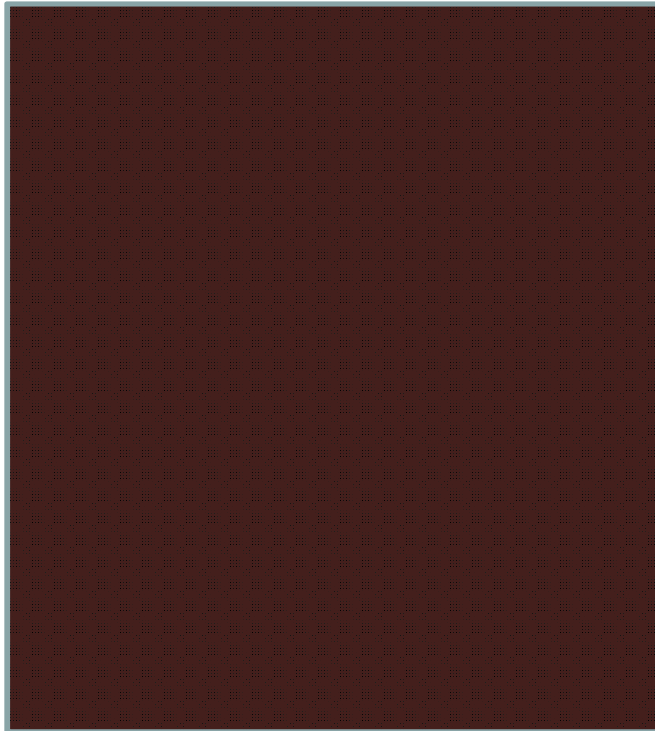
$\sigma = 4F_a / \pi d^2 + 32M_{\max} / \pi d^3;$
 Розтяг-
стиск

$\tau = 16T / \pi d^3.$
 Згин

$\tau = 16T / \pi d^3.$
 Кручення

Перевірний розрахунок валів
Розрахунок валів на втомну міцність

$$S = \frac{S_\sigma S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} \geq [S] = 1,5 \dots 2,5$$



$$\psi_\sigma = 0,02 + 0,0002\sigma_B$$

$$\psi_\tau = 0,5\psi_\sigma$$

Перевірний розрахунок валів
Розрахунок валів на жорсткість

$$y \leq y_{adm}; \quad \theta \leq \theta_{adm}, \quad \varphi \leq \varphi_{adm}.$$

$y_{adm} = 0,01m$ – для перерізів валів під циліндричними зубчастими колесами;

$y_{adm} = 0,005m$ – для валів конічних, гіпоїдних та черв'ячних глобоїдних передач;

$y_{adm} = (0,0002 \dots 0,0003)l$ – для валів загального призначення у верстатобудуванні (l – відстань між опорами вала);

$\theta_{adm} \leq 0,001$ рад – для підшипників ковзання;

$\theta_{adm} \leq 0,01$ рад – для радіальних кулькових підшипників;

$\theta_{adm} \leq 0,05$ рад – для сферичних кулькових підшипників;

$\varphi_{adm} = 5'$ на 1 м довжини – для ходових валів важких верстатів.

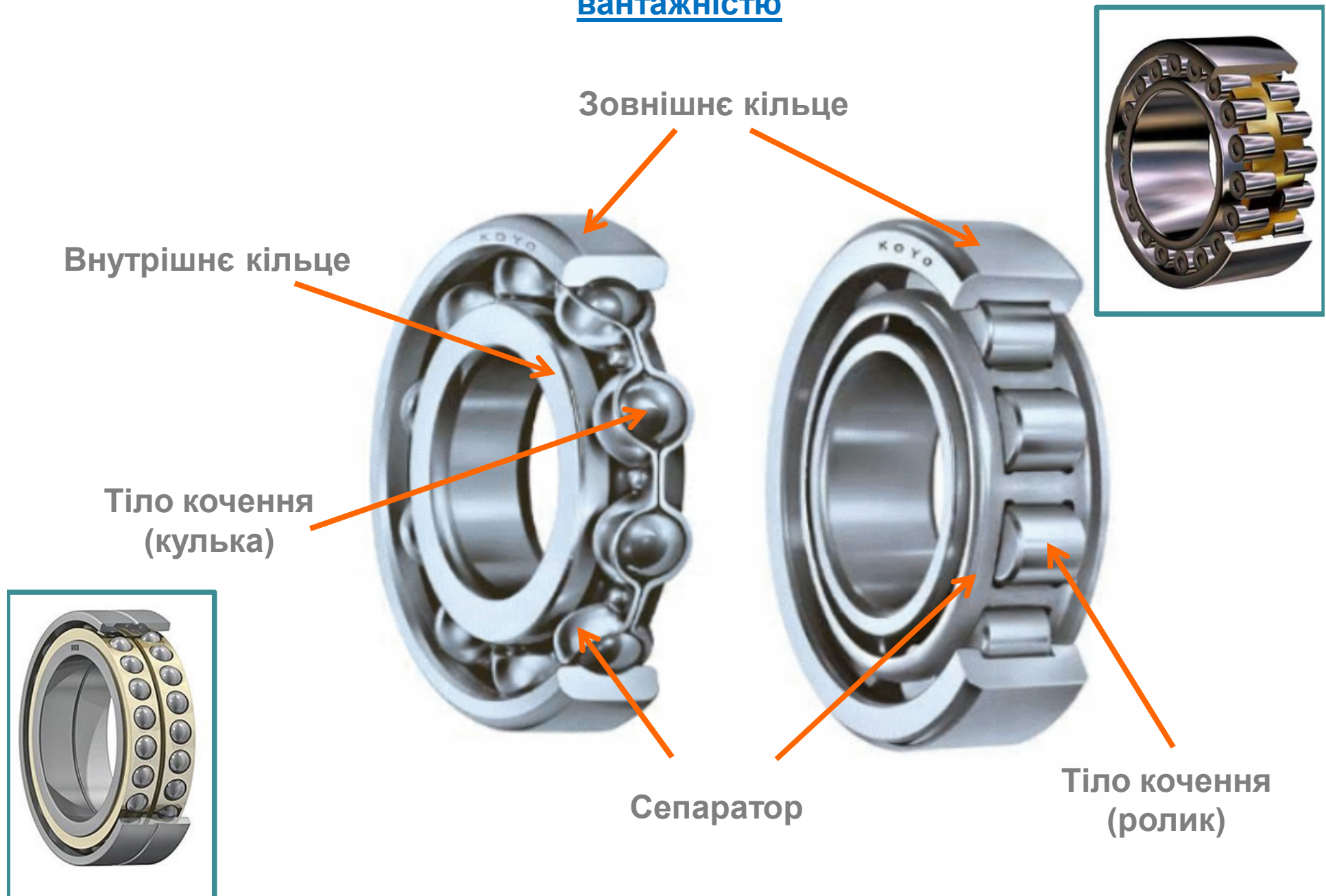
Підбір підшипників кочення за статичною та динамічною вантажністю

Класифікація підшипників

Підшипники кочення поділяються за такими ознаками:

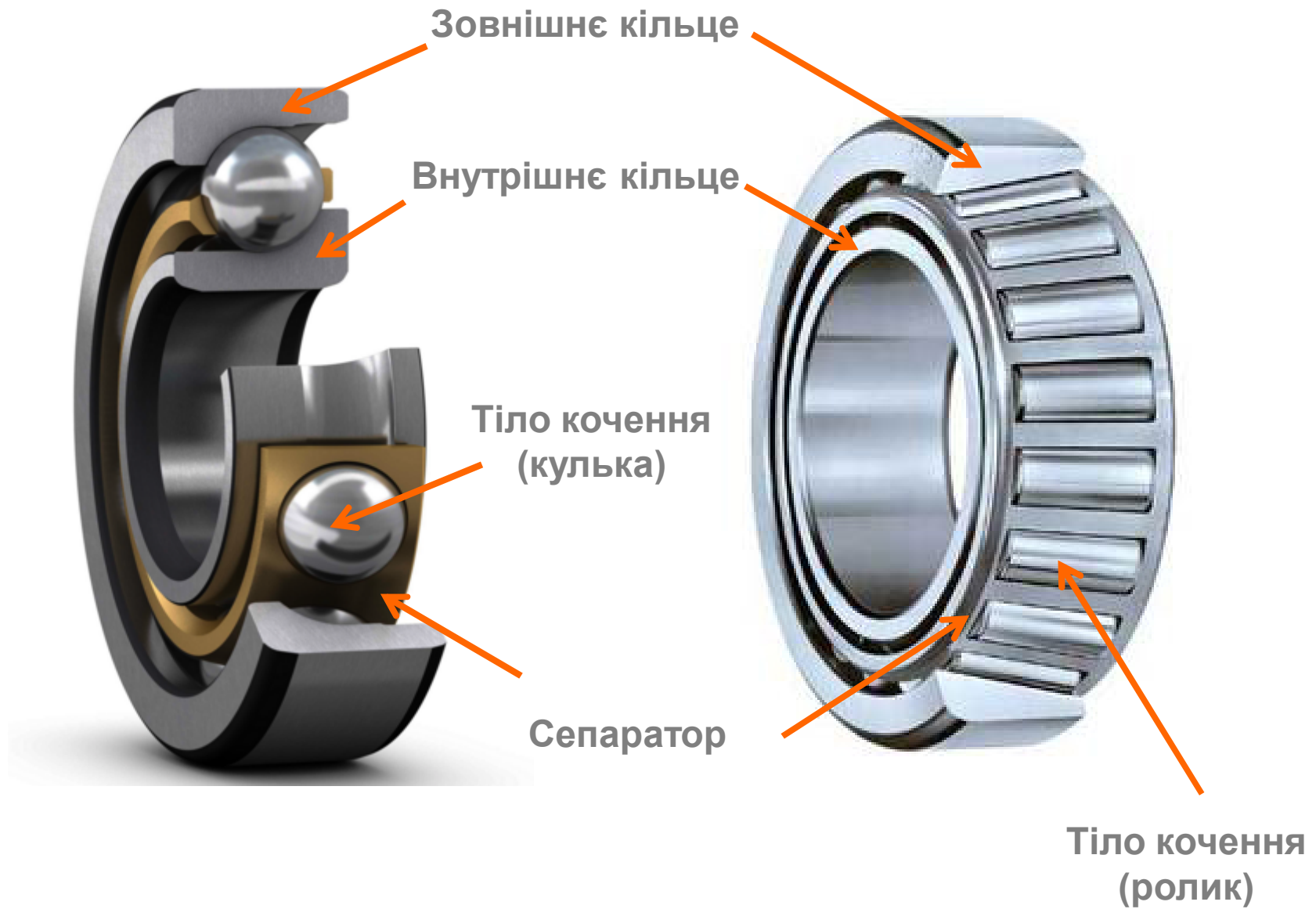
- за формою тіл кочення підшипники бувають: **кулькові** і **роликові** (з циліндричними, конічними, бочкоподібними, голчастими й витими роликами);
- за числом рядів тіл кочення: **однорядні, дворядні, чотирирядні**;
- за способом компенсації перекосів вала: **несамоустановні та самоустановні сферичні**.
- за радіальними розмірами підшипники кочення з одним і тим же внутрішнім діаметром поділяють на 5 серій діаметрів (**надлегка, особливо легка, легка, середня та важка**) і на 5 серій ширини (**особливо вузька, вузька, нормальна широка, широка, особлива широка**).
- за напрямом сприйманого навантаження підшипники кочення поділяються на: **радіальні** (здатні сприймати радіальне навантаження); **радіально-упорні** (здатні сприймати радіальне та осьове навантаження); **упорні** (здатні сприймати тільки осьове навантаження); **упорно-радіальні** (сприймають значне осьове і незначне радіальне навантаження).

Підбір підшипників кочення за статичною та динамічною вантажністю



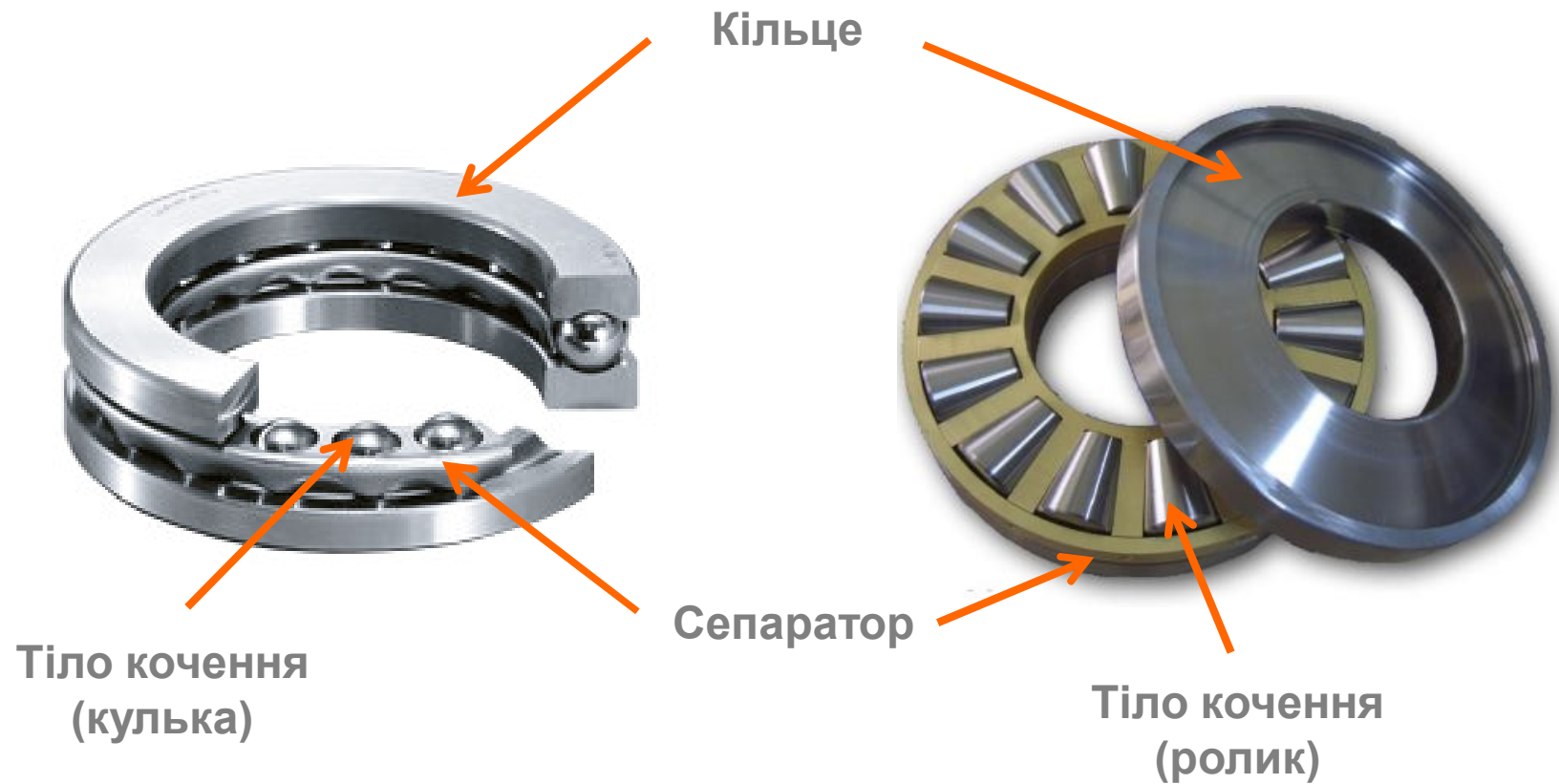
Підбір підшипників кочення за статичною та динамічною вантажністю

20



Підбір підшипників кочення за статичною та динамічною вантажністю

21



Підбір підшипників кочення за статичною та динамічною вантажністю

Широке використання підшипників кочення для опор обумовлене їхніми перевагами у порівнянні з іншими опорами:

- малі втрати на тертя ;
- висока несуча здатність;
- малі габаритні розміри в осьовому напрямі;
- незначні витрати мастил;
- невисокі вимоги до матеріалу та якості поверхонь цапф валів;

До недоліків можна віднести:

- значні діаметральні габарити;
- обмежений строк служби;
- низька здатність демпфувати ударні навантаження;
- підвищений шум при високих швидкостях.

Кільця та тіла кочення виготовляють із підшипникової сталі з високим вмістом хрому (**ШХ6, ШХ15, ШХ20СГ**) та інших легованих сталей, наприклад сталі **12Х2Н4А, 18ХГТ**.

Сепаратор виготовляють із сталей **Ст1; Ст2**, а також з латуні, бронзи, капрону, текстоліту, металопластмас, фторопласту з металевими і неметалевими наповнювачами.

Підбір підшипників кочення за статичною та динамічною вантажністю

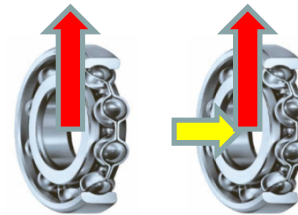
Підбір підшипників за статичною вантажністю

$$P_o < C_o$$

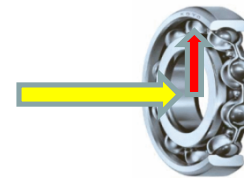
C_o - базова
статична
вантажність

Статичне еквівалентне
навантаження :

$$P_o = X_0 R_r + Y_0 R_a \text{ або } P_0 = R_r \left(P_0 \leq R_r \right)$$



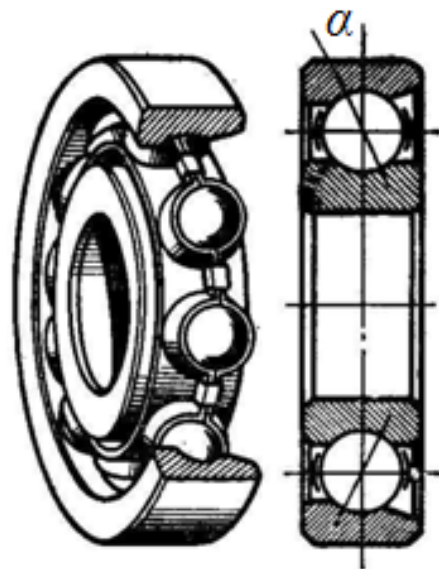
$$P_o = 2,3 R_r \operatorname{tg} \alpha + R_a \text{ або } P_0 = R_a \left(P_0 \leq R_a \right)$$



$$P_o = R_a$$



Підбір підшипників кочення за статичною та динамічною вантажністю



Тип підшипника	Для однорядних підшипника		Для дворядних підшипників	
	X_0	Y_0	X_0	Y_0
Радіальні кулькові	0,6	0,5	0,6	0,5
Радіально-упорні кулькові при $\alpha=12^\circ$	0,5	0,47	1,0	0,94
15°	0,5	0,46	1,0	0,92
20°	0,5	0,42	1,0	0,84
25°	0,5	0,38	1,0	0,76
30°	0,5	0,33	1,0	0,66
35°	0,5	0,29	1,0	0,58
40°	0,5	0,26	1,0	0,52
Самоустановні кулькові ($\alpha \neq 0^\circ$)	0,5	$0,22 \operatorname{ctg} \alpha$	1,0	$0,44 \operatorname{ctg} \alpha$
$\alpha=12^\circ$	0,5	0,47	1,0	0,94
Радіально-упорні роликові $\alpha \neq 0^\circ$	0,5	$0,22 \operatorname{ctg} \alpha$	1,0	$0,44 \operatorname{ctg} \alpha$
Значення Y_0 для проміжних кутів контакту отримують лінійною інтерполяцією				

Підбір підшипників кочення за статичною та динамічною вантажністю

Підбір підшипників за динамічною вантажністю

Довговічність підшипника – це число обертів здійснених одним кільцем відносно іншого до появи перших ознак втоми матеріалу одного із кілець або тіл кочення.

Надійність підшипника визначається відсотками із групи ідентичних підшипників, які працюючи в однакових умовах мають досягти або перевершити розрахункову довговічність.

Базова розрахункова довговічність – це довговічність, що відповідає 90% надійності конкретного підшипника або групи підшипників кочення, які працюють в однакових умовах і виготовлені з одного матеріалу.

Базова динамічна розрахункова вантажність – це постійне радіальне навантаження (або осьове для упорних і радіально-упорних), яке підшипник може теоретично сприймати при базовій розрахунковій довговічності, що відповідає одному мільйону обертів.

Підбір підшипників кочення за статичною та динамічною вантажністю

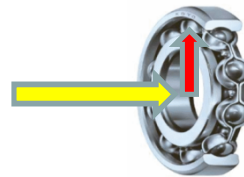
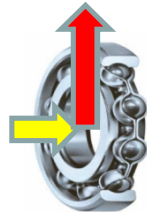
Підбір підшипників за динамічною вантажністю

L – довговічність підшипника до появи втоми, млн. обертів;

m – показник степеня (для кулькових підшипників $m=3$, для роликових $m=10/3$).

Динамічне еквівалентне
навантаження :

$$P = XR_r + YR_a$$



$\alpha \neq 90$ град.

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^m$$

C – базова динамічна
розрахункова
вантажність;

$$P = R_r$$



$\alpha = 90$ град.

$$P = R_a$$



Дякую за увагу!