

ИЗБОР НА ТЪРКАЛЯЩИ ЛАГЕРИ

Търкалящите лагери се избират по **статична** / C_0 / или **динамична** / C / товароносимост и гранична честота на въртене n , за възприетия начин на мазане.

Лагерите от различните типове и серии имат различна товароносимост (C_0 и C) и честота на въртене n (фиг. 4.1).

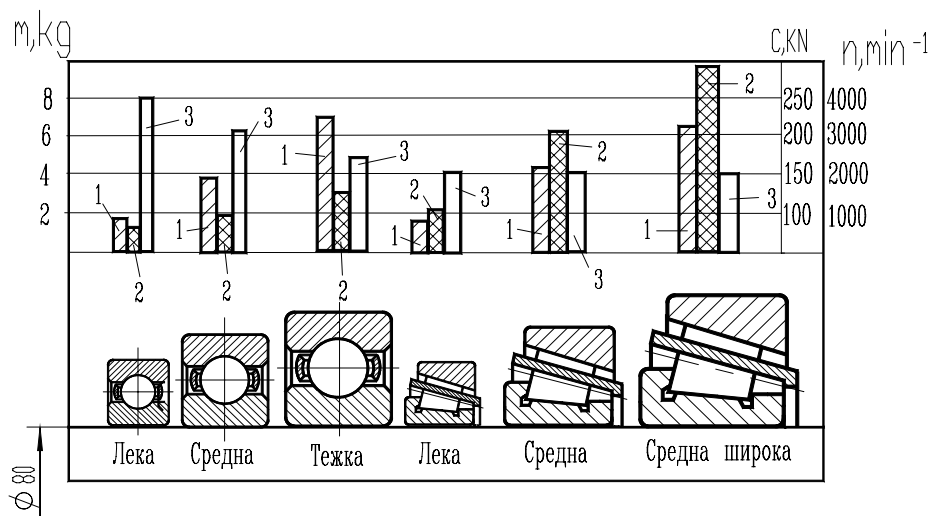
Лагерите от по-тежките серии имат по-големи габарити и маса m , затова не могат да бъдат бързоходни, но имат по-голяма товароносимост C . Горната граница на честота на въртене се определя от възникващите в лагера центробежни сили, натоварващи го допълнително, от вида на мазането и топлинните процеси в лагера, изменящи първоначалната настройка на лагера.

За особено високи честоти на въртене е целесъобразно използването на лагери от особено лека и лека серия. При недостатъчна товароносимост на лагерирането, за високи честоти на въртене, се използват по няколко сачмени лагера от лека серия, но *специално комплектовани за работа в пакет от производителя*. Изискването за комплектоване на пакета от няколко лагера е продиктувано от условието *биенето* на всеки един от лагерите да бъде *еднопосочно* и диаметрите на лагерите да бъдат едни и същи.

В противен случай търкалящите лагери ще изпитват вътрешно динамично натоварване, тъй като посоката на отклонение в радиално направление на всеки един от тях ще бъде случайна и разнопосочна, което може да ги разруши при граничните натоварвания или сглобката ще бъде различна за всеки един от лагерите от пакета.

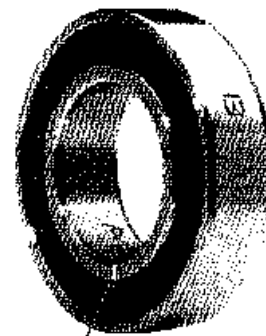
За целта *лагерите са маркирани* по външните гривни (фиг. 4.2) и при монтаж не трябва да се променя местоположението им. При заявка за закупуване на пакета от лагери се отразява схемата за разполагане на лагерите (O; X; T; T-O).

Когато се работи с пакет от лагери (фиг. 4.3) трябва да се има в предвид, че *граничната му честота на въртене е по-ниска* от тази (n_g) на съставлящите я лагери и зависи от схемата на разположение на същите и предварителната стегнатост (UL - лека; UM - средна; US - висока, съгласно



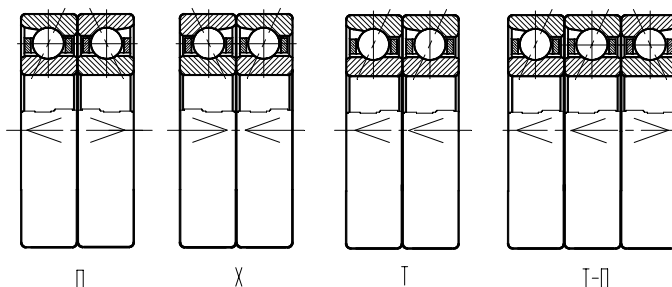
Фиг. 4.1 Сравнителни характеристики на радиални сачмени лагери и радиално-аксиални ролкови лагери от различни серии при $d=80$ mm.

1 - маса m ; 2 - динамична товароносимост C ; 3 - гранична честота на въртене n



Маркировка за най-голяма дебелина на вътрешната гривна

Фиг. 4.2



Фиг. 4.3. Разположение на лагерите в пакета

означенията на фирмата FAG) на лагерите в пакета и начина на мазане (табл.4.1).

Таблица 4.1. Гранична честота на въртене на пакет от сачмени лагери от серия В

Схема на разположение	UL	UM	US
$\emptyset \quad \emptyset$	0.85 n_g	0.75 n_g	0.5 n_g
$\emptyset\emptyset \quad \emptyset\emptyset$	0.8 n_g	0.7 n_g	0.5 n_g
$\emptyset\emptyset \quad \emptyset\emptyset$	0.75 n_g	0.55 n_g	0.35 n_g
$\emptyset\emptyset \quad \emptyset\emptyset$	0.65 n_g	0.4 n_g	0.25 n_g
$\emptyset\emptyset\emptyset \quad \emptyset\emptyset$	0.65 n_g	0.4 n_g	0.25 n_g

Лагерите от по-висок клас на точност (без P0) имат маркировка на челото на вътрешната гривна за най-голямата дебелина на същия (фиг.4.2). Това определя местоположението на максимума на радиалното биене на лагера и дава възможност при монтаж да се извършва компенсация на радиалното биене чрез дефазиране (за изваждане) на максимумите на радиалното биене, породено от геометричните неточности на шийката на вала и вътрешната гривна.

Предварителната стегнатост на лагерите определя статичната им стабилност. В зависимост от типа на лагера тя се постига по различни начини. За сачмените лагери, за да се постигне обозначеното върху опаковката предварително натоварване в лагера в монтирано състояние, не се изискват допълнителни средства. Лагерите са така конструирани, че при осовото им при-

тискане с определена сила в тях възниква необходимото предварително натоварване. Осовото натоварване на лагерния пакет (това важи и за единични лагери) трябва да бъде съгласно предписанията на производителя и да се прилага равномерно по периферията на лагерните гривни, в противен случай се нарушава нормалната работа на лагерите и се увеличава рязко загубата на мощност от триене в тях.

При необходимост лагери от един клас (по предварително натоварване) могат да се използват в друг клас например лагер UL вместо UM, без да е необходима доработка на лагерите или замяната им. За целта е необходимо между два от лагерите да се поставят междинни втулки между вътрешните и външните им гривни с предварително подбрана (по каталожни данни) широчина на втулките.

При ролковите лагери предварителното натоварване се осъществява чрез подбор на подходяща сглобка (за лагери с цилиндрични ролки) и чрез осово предварително натоварване на лагера (за конусно-ролковите лагери).

Избор на търкалящи лагери

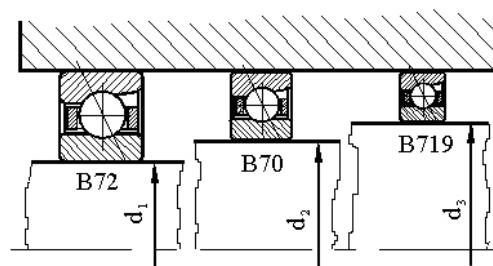
При избор на търкалящи лагери се изхожда от един от следните критерии:

- изискване за дълготрайност;
- изискване за товароносимост;
- изискване за статична стабилност;
- изискване за точност;
- изискване за точност и статична стабилност.

Това определя типът на лагера, тъй като при конструктивното оформяне на последния са заложили точно определени характеристики (възможности по съответните изисквания).

При еднакъв диаметър на отвора за монтаж на лагера конструкторът има възможност да избира различни видове лагери с различни диаметри на вътрешните им отвори (фиг. 4.4). Това дава възможност да се изменя товароносимостта и статичната стабилност на системата вал - лагер, като се съчетават с изискванията за точност на въртене на вала.

На фиг. 4.4 е показано сравнение на габаритните размери на лагери на фирмата FAG от серията B70;



Фиг.4.4 Влияние на серията на лагера на диаметъра на шийката на вала

B72 и B719, при еднакъв диаметър на отвора в корпуса за лагера. *Предимството на тънко-стенните лагери B719 се състои в това, че при даден външен диаметър на отвора за лагера в корпуса, валът има по-висока стабилност, защото с увеличаване на диаметъра му се увеличава в четвърта степен статичната му стабилност.* От друга страна самият лагер има *по-висока статична стабилност* заради по-големия брой сачми в него.

Ролковите лагери имат по-голяма товароносимост и статична стабилност от сачмените, но по-ниска точност на въртене.

След определяне на типа на лагера изборът на търкалящия лагер се свежда до определяне на *статичната или динамичната му товароносимост*, при зададена *дълготрайност* на лагера.

Търкалящите лагери на винтови крикове, кранови куки и др., които имат *честота на въртене* $n < 1 \text{ min}^{-1}$ или извършват осцилиращо движение, се избират по *статична товароносимост* C_0 .

При *честота на въртене* $n \geq 10 \text{ min}^{-1}$ търкалящите лагери се избират по *динамична товароносимост* C . При v от 1 до 10 min^{-1} се приема $n = 10 \text{ min}^{-1}$.

Условието при избора на лагера е потребната товароносимост (статична или динамична) да бъде по-малка или равна на товароносимостта по каталожни данни.

Избор на търкалящи лагери по статична товароносимост

Съгласно БДС ISO 76 *основна статична радиална товароносимост* C_{0r} е статично радиално натоварване, което съответства на изчислено контактно напрежение в центъра на най-натоварената зона на контакт между търкалящото се тяло и пътя на търкаляне от:

- 4600 МПа за сферични сачмени лагери;
- 4200 МПа за всички видове радиални и радиално-аксиални сачмени лагери;
- 4000 МПа за всички радиални и радиално-аксиални ролкови лагери.

Основна статична аксиална товароносимост C_{0a} е статично централно аксиално натоварване, което съответства на изчисленото контактно напрежение в центъра на най-натоварената зона на контакт между търкалящото се тяло и пътя на търкаляне от:

- 4200 МПа за аксиални и аксиално-радиални сачмени лагери;
- 4000 МПа за аксиални и радиално-аксиални ролкови лагери.

Еквивалентно статично радиално натоварване P_{0r} е статично радиално натоварване, което предизвиква в центъра на най-натоварената зона на контакт между търкалящото тяло и пътя на търкаляне същото контактно напрежение, което възниква в условията на действителното натоварване.

Еквивалентно статично аксиално натоварване P_{0a} е статично централно аксиално натоварване, което предизвиква в центъра на най-натоварената зона на контакт между търкалящото тяло и пътя на търкаляне същото контактно напрежение, което възниква в условията на действителното натоварване.

В цитирания стандарт са дадени формули за определяне на разгледаните параметри.

На практика се работи по емпирични зависимости от каталога на фирмата производителка със съответните указания за избор на коефициентите за определяне на статичната товароносимост C_0 на лагера.

Пример: - фирмата FAG - Германия в каталозите си за избор на лагери предлага статичната товароносимост да се определя от израза

$$C_0 / P_0 = f_s \quad (4.1)$$

където f_s е коефициент на сигурност - $f_s = 1.5 \dots 2.5$ при високи изисквания за плавна работа;
 $f_s = 1.0 \dots 1.5$ при нормални изисквания;
 $f_s = 0.7 \dots 1$ при ниски изисквания
 P_0 - еквивалентно статично натоварване.

C_0 - основна статична товароносимост, kN.

Тъй като в общия случай върху търкалящия лагер могат да действат както радиални F_r сили, така и аксиални натоварвания F_a , еквивалентното статично натоварване се определя от зависимостта

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a, \text{ kN}, \quad (4.2)$$

където X_0 и Y_0 са коефициенти, чиито стойности зависят от типа на лагера и са дадени в каталога на фирмата производителка на лагери;

За радиални ролкови лагери зависимостта е:

$$P_0 = F_r, \text{ kN}, \quad (4.3)$$

а за аксиални лагери:

$$P_0 = F_a, \text{ kN}. \quad (4.4)$$

При определянето на еквивалентното натоварване и товароносимостта на пакет от лагери фирмата производителка дава съответната зависимост, отчитайки разположението на лагерите (O, X, T или T-O).

Температурата, при която работи търкалящият лагер също оказва влияние, тъй като якостите свойства на елементите на лагера се понижават. За отчитане на тези фактори се въвежда коефициент на сигурност $f_0 = f_s \cdot f_t$ и зависимостта (1) придобива следния вид

$$C_0 = f_0 P_0 = f_s f_t P_0 \leq C_{0.\text{табл.}} \quad (4.5)$$

където f_s е коефициент, отчитащ възможността за кратковременно претоварване на лагера (от 1 до 1.5, в зависимост от отговорността на лагерния възел).

Таблица 4.2 Стойности на коефициента f_t - намаляване на якостните свойства на материалите, от които са изработени елементите на лагера при повишаване на температурата. Стойностите на ϕ са дадени в табл. 4.2.

Максимална работна температура на лагерния възел, $^{\circ}\text{C}$	150	200	250	300
f_t	1.0	1.2	1.4	1.6

Избор на търкалящи лагери по динамична товароносимост

Основните понятия и начинът на избиране на търкалящи лагери по динамична товароносимост са регламентирани от БДС ISO 281.

Под *дълготрайност* L на един лагер се разбира броят на завъртанията на едната гривна спрямо другата до началото на разрушаването на някоя от гривните или търкалящо се тяло вследствие на умора на материала.

Процентът лагери, достигнали или превишили определената дълготрайност, определя *надеждността* на лагерите.

Основна дълготрайност L_{10} на определен лагер или група лагери от един и същ тип, работещи при еднакви условия на експлоатация, е дълготрайността при 90% надеждност.

Коригирана изчислителна дълготрайност L_{na} е дълготрайността, изчислена на база на основната дълготрайност при зададена надеждност $(100-p) \%$ за специални качества на лагера и специфични работни условия.

Основна динамична товароносимост C е постоянно стационарно натоварване, при което лагерът достига дълготрайност $L_{10}=1$ (един милион завъртания).

Номинален ъгъл на контакт α е ъгълът между равнина, перпендикулярна на оста на лагера и направлението на резултантната на нормалните контактни сили между външната лагерна гривна и търкалящото се тяло.

Еквивалентно динамично натоварване (радиално или аксиално) е постоянно натоварване P , под действието на което лагерът има същата дълготрайност както в условията на реално натоварване.

Използването на понятието еквивалентно натоварване се налага от обстоятелството, че едновременно върху един търкалящ лагер могат да действат както радиални F_r , така и аксиални F_a натоварвания.

В зависимост от типа на лагера еквивалентното динамично натоварване се изчислява по следните зависимости:

- за радиални сачмени и ролкови лагери

$$P = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a, \text{ KN} \quad (4.6)$$

- за радиални ролкови лагери ($\alpha = 0^\circ$)

$$P = F_r, \text{ KN} \quad (4.7)$$

- за аксиални лагери ($\alpha = 90^\circ$)

$$P = F_a, \text{ KN} \quad (4.8)$$

където X и Y са коефициенти, чиито стойности зависят от типа на лагера, ъгъла на контакта α и отношението на аксиалното към радиално натоварване. Стойностите им се дават в каталога на фирмата производителка на лагери;

V - коефициент, отчитащ коя от гривните на лагера се върти по отношение на натоварването. При въртяща се вътрешна гривна $V=1$, а при въртяща се външна гривна $V=1,2$.

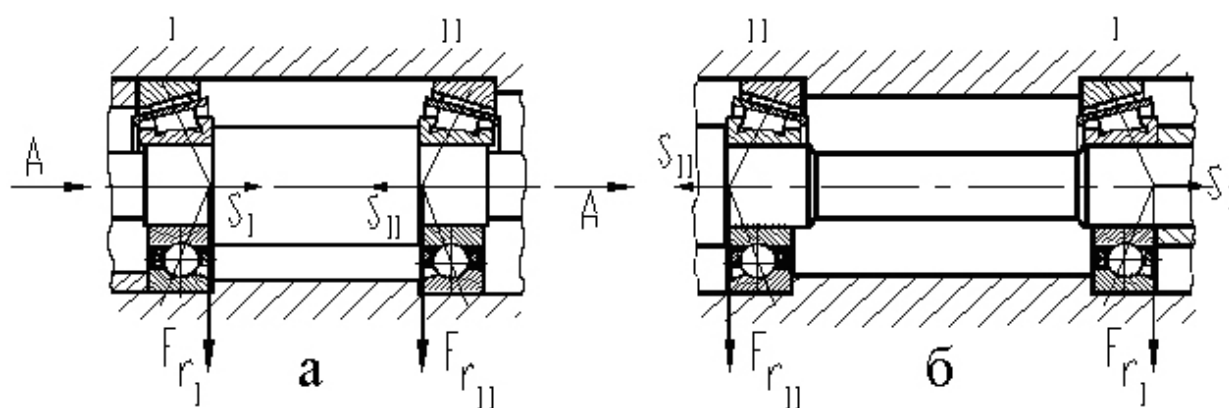
F_r - радиална компонента на натоварващо усилие, kN;

F_a - аксиална компонента на натоварващо усилие, kN.

При определянето на еквивалентното натоварване и товароносимостта на пакет от лагери фирмата производителка дава съответната зависимост, отчитайки разположението на лагерите (O, X, T или T-O).

Определяне на изчислително аксиално натоварване F_a за радиално-аксиални лагери

При лагеруване на валове на двойка едноредни радиални сачмени или ролкови лагери (фиг. 4.5), има особеност при определянето на изчислителното натоварване F_a . Радиалните натоварвания F_{rI} и F_{rII} пораждат действащи върху вала допълнителни аксиални сили S_I , S_{II} . Тези сили имат тенденция да увеличават хлабината на лагерите, предават се през вала и влияят на общата картина на натоварването. В тази връзка е прието такива лагери да се монтират срещуположно обвърнати и се вземат конструктивни мерки за запазване на първоначалната сглобка в лагера (виж фиг. 4.5). Лагеруването на фиг. 4.5 б има по-висока ъглова стабилност от това на фиг. 4.5 а. Първото се използва основно за лагеруване на вретена на



Фиг.4.5 Схеми за лагериране на вал с радиално-аксиални търкалящи лагери

металорежещи машини, а второто в ходовата част на транспортните средства.

Големината на допълнителните аксиални сили S може да се определи по зависимостта:

- за сачмени радиално-аксиални лагери:

$$S = e.F_r, \text{ kN}; \quad (4.9)$$

- за ролкови радиално-аксиални лагери с конусни ролки:

$$S = 0.83.e.F_r, \text{ kN}. \quad (4.10)$$

Стойностите за “ e ” се вземат от каталога на фирмата производителка за съответните лагери.

В зависимост от схемата на разположение на лагерите (фиг. 4.5) и съотношението на силите S_I , S_{II} и A се определя изчислителното аксиално натоварване на всеки от лагерите, с което по-нататък се работи за изчисляване на еквивалентното динамично натоварване (по табл. 4.3).

Таблица 4.3 Определяне на изчислителното аксиално натоварване.

Условия на натоварването		Изчислително аксиално натоварване
$S_I > S_{II}; A \geq 0$		$F_{aI} = S_I$; $F_{aII} = S_I + A$
$S_I < S_{II}$	$A > S_{II} - S_I$	$F_{aI} = S_I$; $F_{aII} = S_I + A$
	$A \leq S_{II} - S_I$	$F_{aI} = S_{II} - A$; $F_{aII} = S_{II}$

В цитирания стандарт са дадени формули за определяне на разгледаните параметри.

На практика се работи по емпирични зависимости от каталога на фирмата производителка със съответните указания за избор на коефициентите за отчитане на конструктивните особености на лагерите.

Изборът на търкалящи лагери по динамична или статична товароносимост се извършва за предварително зададена от потребителя *дълготрайност* на лагера и изчислена товароносимост C така, че $C \leq C_{\text{табл}}$ ($C_{\text{табл}}$ е товароносимост на лагера избран по каталог).

Фирмата FAG - Германия в своя каталог за лагери предлага *основната дълготрайност* A_{10} на лагера да се определя по зависимостта:

$$L_{10} = L = \left(\frac{C}{P}\right)^p, \text{ в милиони завъртания,} \quad (4.11)$$

където $p=3$ за сачмени лагери;

$$p = \frac{10}{3} - \text{за ролкови лагери.}$$

При постоянна честота на въртене n (min^{-1}) на вала основната дълготрайност може да се определи в часове (L_{h10})

$$L_{h10} = L_h = \frac{L \cdot 10^6}{n \cdot 60}, \text{ h} \quad (4.12)$$

от 4.11 и 4.12 се получава

$$\sqrt[p]{\frac{L_h}{500}} = \sqrt[p]{\frac{33 \cdot 1/3}{n}} \cdot \frac{C}{P}$$

или за краткост на записа

$$f_h = f_n \cdot \frac{C}{P}, \quad (4.13)$$

където:

$$f_h = \sqrt[p]{\frac{L_h}{500}} \text{ е коефициент на дълготрайност;}$$

$$f_n = \sqrt[p]{\frac{33 \cdot 1/3}{n}} - \text{коефициент на честотата на въртене.}$$

От (4.13) се изчислява динамичната товароносимост на лагера

$$C = \frac{f_h}{f_n} \cdot P, \text{ N.} \quad (4.14)$$

Влиянието на работната температура и режима на работа се отчита чрез съответните коефициенти f_t и f_d в израза (4.15):

$$C = \frac{f_h \cdot f_d}{f_n \cdot f_t} \cdot P, \text{ N.} \quad (4.15)$$

Стойностите на коефициентите f_t и f_d са дадени в съответните каталози на фирмите производителки на търкалящи лагери.

Освен основната дълготрайност L_{10} на търкалящите лагери може да бъде определена коригирана изчислителна дълготрайност L_{10a}

$$L_{10a} = a_2 \cdot a_3 \cdot L_{10}, \text{ в милиони завъртания,} \quad (4.16)$$

където коефициентът a_2 отчита използваните материали и технология, а a_3 - отклоненията от нормалните условия на експлоатация. Стойностите на коефициентите са дадени в каталозите на фирмите производителки на търкалящи лагери.