

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»

Кафедра технического сервиса

Будко С.И., Кузюр В.М.

РАСЧЕТ ПОДШИПНИКОВ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

Учебно-методическое указание для практической работы
по курсу «Основы взаимозаменяемости и технические измерения»

Брянская область, 2022

УДК 621.882 (076)
ББК 34.445
Б 44

Будко, С. И. Расчет подшипников жидкостного трения: учебно-методическое указание для практической работы по курсу «Основы взаимозаменяемости и технические измерения» / С. И. Будко, В. М. Кузюр. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. – 20 с.

Учебно-методическое указание предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия.

Рецензент: к.э.н., доцент Гринь А.М.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского государственного аграрного университета.

© Брянский ГАУ, 2022
© Будко С.И., 2022
© Кузюр В.М., 2022

Содержание

Введение.....	4
Расчет подшипников жидкостного трения.....	5
Приложения	14
Литература	19

Введение

В современных условиях повышение технического уровня качества продукции, работ и услуг неразрывно связано с повышением уровня измерений и профессионально-технических знаний в области линейно-угловых измерений. На предприятиях машиностроения, ремонтного производства и технического сервиса рабочие в повседневной практической деятельности постоянно сталкиваются с необходимостью контроля размеров изделий, проведения измерений и оценки полученных результатов.

Основные требования, предъявляемые к техническим измерениям в машиностроении – точность, производительность и возможность заранее предупредить появление брака. В ремонтном производстве, как одной из отраслей машиностроения, к техническим средствам предъявляют такие же требования. Однако при ремонте машин часто необходимо проводить специфические измерения, связанные с дефектацией, проверкой соединений новых деталей с частично изношенными деталями, использованием ремонтных размеров. Поэтому от рабочих требуется знание средств измерений и умение ими пользоваться.

Методическое пособие предназначено для ознакомления студентов с эксплуатацией, настройкой и метрологической характеристикой универсальных средств измерения углов.

Методические указания для проведения практической работы разработаны в соответствии с программой дисциплины "Основы взаимозаменяемости и технические измерения" для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия.

Для качественного выполнения практической работы ее содержание приводится в логической последовательности и включает следующие части: цель работы; применяемые измерительные приборы, детали, материалы; краткие теоретические сведения по теме; порядок выполнения работы; форму отчета; контрольные вопросы и рекомендуемую литературу.

Для закрепления полученных знаний в Приложении приводятся тестовые задания для самостоятельной работы.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен владеть: практическими навыками в области технических измерений.

УК-2: Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.

ОПК-2: Способен использовать нормативные правовые акты и оформлять специальную документацию в профессиональной деятельности.

Расчет подшипников жидкостного трения

Цель работы: Практическое ознакомление с методикой расчета подшипников жидкостного трения.

Справочный материал

Посадки с зазором предназначены для подвижных и неподвижных соединений деталей. В подвижных соединениях зазор служит для обеспечения свободы перемещения, размещения слоя смазки, компенсации температурных деформаций, а также компенсации отклонений формы сборки и др.

В неподвижных соединениях посадки с зазором применяются для обеспечения беспрепятственной сборки деталей (в особенности сменных). Их относительная неподвижность обеспечивается дополнительным креплением шпонками, винтами, болтами, штифтами и т. п.

Если допускается работа соединения в условиях полужидкостного, полусухого трения, то выбор посадок производится по аналогии с посадками известных и хорошо работающих соединений. При этом должны быть внесены поправки с учетом конкретных особенностей параметров и условий работы соединений.

Особенности посадок с зазором:

1) посадки $H7/h6$, $H8/h7$ имеют наименьший зазор, равный нулю, поэтому они находятся на грани между неподвижными и подвижными посадками. При хорошей смазке детали перемещаются свободно друг относительно друга (пиноли в станках, поршневые штоки в цилиндрах). Но при дополнительном креплении они превращаются в неподвижную посадку. Это осуществляется в случаях, когда требуется точное центрирование соединяемых деталей при частой сборке и разборке (соединение валов со сменными колесами);

2) посадки $H7/j7$, $H8/h6$, $H7/e7$, $H8/d8$, $H9/d9$, $H7/c8$ и др. применяются в соединениях для облегчения сборки и невысокой точности центрирования, для обеспечения смазки трущихся поверхностей, компенсации тепловых деформаций, для сборки деталей с антикоррозионными покрытиями;

3) посадки $H8/j8$, $H7/j7$ применяют в подшипниках скольжения, поршневых компрессорах.

Подшипник жидкостного трения

Примером подшипника жидкостного трения является *подшипник скольжения*.

Подшипники скольжения следует применять там, где нельзя применить подшипники качения, а именно:

а) когда подшипник должен быть разъемным по оси (например, подшипники средних шеек коленчатого вала);

б) для очень больших нагрузок, когда подходящих стандартных подшипников качения подобрать нельзя;

в) для сверхбыстроходных валов, где центробежные силы инерции не допускают применения подшипников качения;

г) для работы в сильно загрязненной среде или воде

В подшипниках скольжения жидкостная смазка возможна лишь в определенном диапазоне допустимых диаметральных зазоров (выражаемых в микрометрах), ограниченном наименьшим $[S_{min}]$ и наибольшим $[S_{max}]$ функциональными зазорами (рисунок 1). Данным зазорам соответствует минимальная толщина масляного слоя $[h_{min}]$ (мкм).

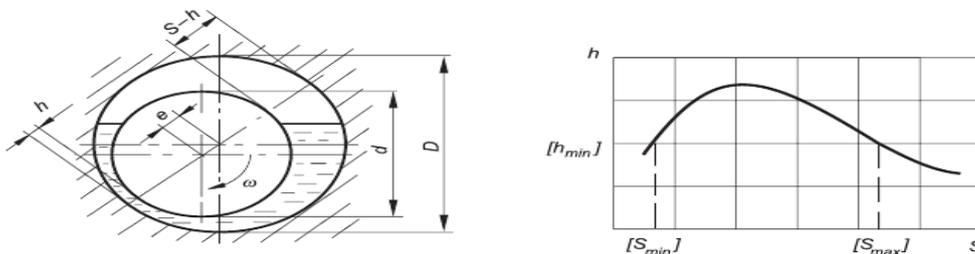


Рисунок 1 - Зависимость толщины масляного слоя h от зазора S

Оптимальная толщина масляного слоя h_{opt} обеспечивается при оптимальном зазоре S_{opt} .

Условия подбора посадки после определения наименьшего $[S_{min}]$ и наибольшего $[S_{max}]$ функциональных зазоров следующие:

$$S_{min \text{ табл}} \geq [S_{min}]; \quad (1)$$

$$S_{max \text{ табл}} < [S_{min}] - 2 \cdot (Rz_1 + Rz_2) \approx [S_{max}] - 8 \cdot (Ra_1 + Ra_2);$$

$$S_{ср.табл} \approx S_{opt} \text{ (не строго обязательно),}$$

где $S_{min \text{ табл}}$ — наименьший табличный зазор, мкм;

$S_{max \text{ табл}}$ — наибольший табличный зазор, мкм;

$S_{ср \text{ табл}}$ — средний табличный зазор, мкм;

Rz_1 и Rz_2 , Ra_1 и Ra_2 — шероховатость поверхности вала и втулки соответственно, мкм.

Расчет посадки с гарантированным зазором для подшипника жидкостного трения

Среднее давление p , Па, в подшипнике определяют как

$$p = \frac{R}{ld}, \quad (2)$$

где R — радиальная нагрузка, Н;

l — длина контакта, м;

d — номинальный диаметр, м.

Минимальная допускаемая толщина масляного слоя $[h_{min}]$, мкм, при которой обеспечивается жидкостное трение, вычисляется по формуле

$$[h_{min}] = k_{жст} (Rz_1 + Rz_2 + \gamma_d), \quad (3)$$

где $k_{жст} > 2$ — коэффициент запаса надежности по толщине масляного слоя, принимается $k_{жст} = 2$;

Rz_1 и Rz_2 — шероховатости охватывающей и охватываемой поверхности соответственно, мкм;

γ_d — добавка на неразрывность масляного слоя, $\gamma_d = 2,0$ ч- $3,0$ мкм, принимается $\gamma_d = 3,0$ мкм.

Для обеспечения жидкостного трения необходимо соблюдение условия

$$h \geq [H_{\min}],$$

где h — фактическая толщина масляного слоя, мкм.

Коэффициент A_h , необходимый для определения предельно допускаемых зазоров в соединении элементов подшипника скольжения, рассчитывают по формуле

$$A_h = \frac{2[h_{\min}]}{d \sqrt{\frac{\mu \omega}{p}}}, \quad (4)$$

где p — динамическая вязкость смазки при рабочей температуре $t_{\text{раб}}=50^\circ\text{C}$, Па • с;

ω — угловая скорость, рад/с.

Минимальный относительный эксцентриситет χ_{\min} , при котором толщина масляного слоя равна $[h_{\min}]$, определяют по найденному значению A_h при данном отношении l/d . Пример определения χ_{\min} представлен на рисунке 2.1, а.

Наименьший допускаемый зазор $[S_{\min}]$ рассчитывают по найденному значению χ_{\min} :

а) при $\chi_{\min} > 0,3$

$$[S_{\min}] = \frac{2[h_{\min}]}{1 - \chi_{\min}}; \quad (5)$$

б) если $\chi_{\min} < 0,3$ (т. е. χ_{\min} находится левее вертикальной оси А), то по рисунку 2.1, а определяется A_x при заданном отношении l/d и $\% = 0,3$. Затем рассчитывают наименьший допускаемый зазор $[S_{\min}]$:

$$[S_{\min}] = 2,857[h_{\min}] \frac{A_x}{A_h}. \quad (6)$$

Оптимальный расчетный зазор $[S_{\text{opt}}]$ определяют по формуле

$$S_{\text{opt}} = \frac{2[h_{\min}] A_{\text{opt}}}{1 - \chi_{\text{opt}} A_h}, \quad (7)$$

где A_{opt} — максимальное значение A_h при данном значении отношения l/d по рисунку 2;

χ_{opt} — значение %, при котором $A_h = A_{\text{opt}}$.

Наибольший допускаемый зазор $[S_{\max}]$. По найденному ранее значению A_h , по рисунку 2.1 определяют наибольший относительный эксцентриситет χ_{\max} , при котором толщина масляного слоя равна $[h_{\min}]$. Затем рассчитывают наибольший допускаемый зазор $[S_{\max}]$:

$$[S_{\max}] = \frac{2[h_{\min}]}{1 - \chi_{\max}}. \quad (8)$$

Выбор посадки. По полученным значениям расчетных зазоров $[S_{\min}]$ и $[S_{\max}]$ подбирают стандартную (табличную) посадку с численными значениями $S_{\min \text{ табл}}$ и $S_{\max \text{ табл}}$, близкими к расчетным (приложение А пособия или ГОСТ

25347—2013), затем определяют численные значения предельных отклонений (ГОСТ 25347—2013). При подборе посадки по приложению В из ГОСТ 25347—2013 необходимо отдавать предпочтение рекомендуемым посадкам. Подобранные посадки должны удовлетворять условиям (1).

Значения зазоров табличных посадок определяют по следующим формулам:

а) наименьший табличный зазор

$$S_{\min \text{ табл}} = EI - es = D_{\min} - d_{\max}, \quad (9)$$

где EI — нижнее отклонение отверстия, мкм;

es — верхнее отклонение вала, мкм.

б) наибольший табличный зазор

$$S_{\max \text{ табл}} = ES - ei = D_{\max} - d_{\min}, \quad (10)$$

где ES — верхнее отклонение отверстия, мкм;

ei — нижнее отклонение вала, мкм.

Зависимость коэффициента A от относительного эксцентриситета χ .

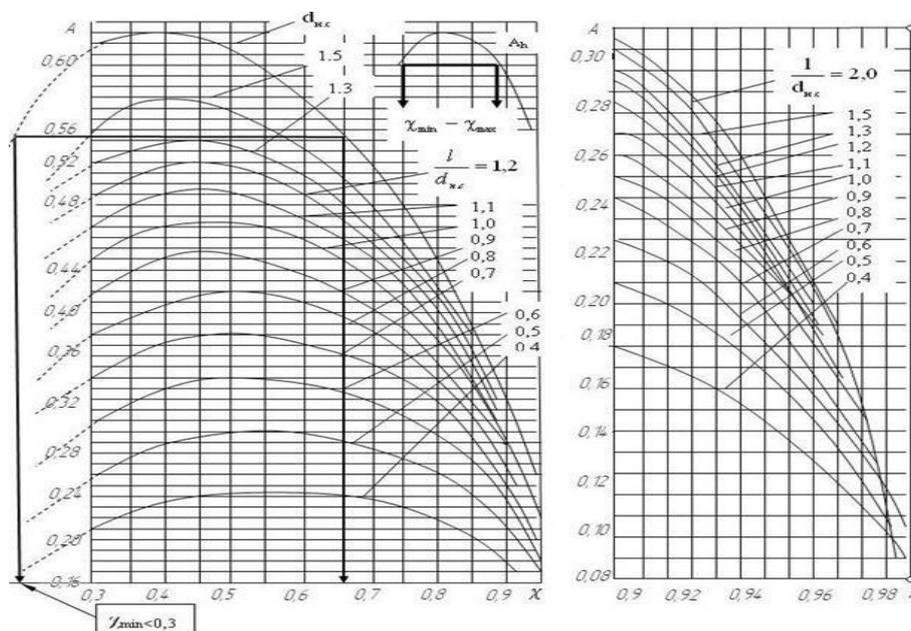


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента A_h от относительного эксцентриситета χ

В случае, когда не удастся подобрать стандартную табличную посадку, допускается формировать комбинированную посадку (посадку, в которой не используются интервалы (поля) допусков ни основного отверстия (H), ни основного вала (h), например $\varnothing 50T7/g6$). Решение о пригодности выбранной комбинированной посадки принимается на основании выполнения условий неравенства (1).

Упрощенный метод расчета посадок с зазором для подшипников скольжения.

Для наиболее ответственных соединений, которые должны работать в условиях жидкого трения, зазоры рассчитываются на основе гидродинамической теории трения. На практике чаще применяют упрощенный метод расчета посадок с зазором для подшипников скольжения по относительному зазору (1).

Относительный зазор Ψ , мкм, определяют по эмпирической формуле

$$\psi = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[4]{V}, \quad (11)$$

где V — скорость вращения вала, м/с.

Оптимальный зазор S_{opt} , мкм, в подшипнике в этом случае определяется по формуле

$$S_{opt} = \psi d, \quad (12)$$

где d — номинальный диаметр соединения, мм.

Радиальная нагрузка R , H , на цапфу обуславливающая (согласно гидродинамической теории трения) несущую способность подшипников (при соблюдении условия неразрывности слоя смазки), определяется как

$$R = \frac{\mu \omega}{\psi^2} l d C_R, \quad (13)$$

где p — динамическая вязкость смазочного масла при рабочей температуре подшипника, Па • с (значения берут из приложения А);

ω — угловая скорость, рад/с;

Ψ — относительный зазор, мкм;

l — длина подшипника, м;

d — номинальный диаметр соединения, м;

C_R — коэффициент нагружения подшипника, безразмерная величина, зависящая от положения вала в подшипнике.

Коэффициент нагруженности подшипника C_R выражают из формулы (13) с учетом формулы (2):

$$C_R = \frac{p \psi^2}{\mu \omega}. \quad (14)$$

Относительный эксцентриситет χ определяют по таблице 2 в зависимости от значения коэффициента нагруженности подшипника C_R при отношении l/d .

Минимальная толщина масляного слоя h_{min} , мкм, в месте наибольшего сближения поверхностей вала и вкладыша подшипника определяется по формуле

$$h_{min} = \frac{S_{opt}}{2} (1 - \chi). \quad (15)$$

Для обеспечения запаса надежности жидкостного трения также необходимо выполнить условие неразрывности масляного слоя

$$k_{ж.т} \geq \frac{h_{min}}{h_{крит}}, \quad (16)$$

где $h_{крит}$ — критическая толщина масляного слоя;

$$h_{крит} = Ra_1 + Ra_2, \quad (17)$$

где Ra_1 и Ra_2 — шероховатости поверхностей вкладыша подшипника и цапфы вала соответственно. Если $h_{крит} > 2$, то запас погрешности жидкостного трения удовлетворяет необходимым требованиям. Посадку выбирают из набора стандартных (табличных), ориентируясь на среднее значение зазора.

Пример (упрощенный расчет и выбор посадки с зазором для подшипника скольжения, работающего в условиях гидродинамического режима)

Выполните расчет и выбор посадки с зазором для подшипника скольжения, работающего в условиях гидродинамического режима, по следующим исходным данным:

- номинальный диаметр соединения $d_n = D_n = 150$ мм;
- длина подшипника $l = 160$ мм;
- угловая скорость $\omega = 60$ рад/с;
- динамический коэффициент вязкости $\eta = 0,017$ Па·с;
- удельное давление на опору $\rho = 2,2$ МПа;
- шероховатость отверстия $R_{a2} = 1,6$ мкм;
- шероховатость вала $R_{a1} = 3,2$ мкм.

Решение

1. Вычисляем окружную скорость вала:

$$V = \omega \cdot D_n / 2 = 60 \cdot 0,15 / 2 = 4,5 \text{ м/с.}$$

2. Определяем относительный зазор в подшипнике скольжения по эмпирической формуле:

$$\psi = 0,8 \cdot \sqrt[4]{V} / 1000 = 0,8 \cdot \sqrt[4]{4,5} / 1000 = 0,0012.$$

3. Диаметральный расчетный зазор:

$$S_p = \psi \cdot D_n = 0,0012 \cdot 0,15 = 0,00018 \text{ м} = 180 \text{ мкм.}$$

4. Определяем коэффициент нагруженности подшипника:

$$C_r = \rho \cdot \psi^2 / (\eta \cdot \omega) = (2,2 \cdot 10^6) \cdot 0,0012^2 / (0,017 \cdot 60) = 3,106.$$

5. В нашем случае $l/D_n = 1,067$, $C_r = 3,106$. В таблице [Приложение Б] значение $l/D_n = 1,067$ и $C_r = 3,106$ являются промежуточными, поэтому C_r определяем методом линейной интерполяции табличных данных.

Сначала определим величины C_r при $l/D_n = 1,067$ для двух значений χ : $\chi = 0,75$ и $\chi = 0,80$, т.к. в этих пределах χ находится значение $C_r = 3,106$.

5.1. Из таблицы для $\chi = 0,75$, определяем величины C_r :

если $l/D_n = 1,0$, то $C_r = 2,469$;

если $l/D_n = 1,1$, то $C_r = 2,664$.

Тогда из подобия треугольников ABC и A₁B₁C₁, изображенных на рисунке 3а, находим величину C_{r1} для $l/D_n = 1,067$ при $\chi = 0,75$:

$$C_{r1} = 2,469 + \frac{AC \cdot B_1C_1}{AC_1} = 2,469 + \frac{(1,067 - 1,0) \cdot (2,664 - 2,469)}{(1,1 - 1,0)} = 2,599.$$

5.2. Аналогично определяем величину C_{r2} для $l/D_n = 1,067$ при $\chi = 0,8$ из подобия $\triangle ABC$ и $\triangle A_1B_1C_1$, изображенных на рисунке 3б.

Из таблицы для $\chi = 0,8$, определяем величины C_r :

если $l/D_n = 1,0$, то $C_r = 3,372$;

если $l/D_n = 1,10$, то $C_r = 3,580$,

тогда

$$C_{r2} = 3,372 + \frac{AC \cdot B_1C_1}{AC_1} = 3,372 + \frac{(1,067 - 1,0) \cdot (3,580 - 3,372)}{(1,1 - 1,0)} = 3,511.$$

5.3. Определяем относительный эксцентриситет χ для нашего случая:
 $l/D_n=1,067$ и $C_r=3,106$,

если $C_{r1}=2,599$, то $\chi=0,75$;

если $C_{r2}=3,511$, то $\chi=0,80$.

Из подобия треугольников ABC и $A_1B_1C_1$, изображенных на рисунке 3в, имеем:

$$\chi = 0,75 + \frac{AC \cdot B_1C_1}{AC_1} = 0,75 + \frac{(3,106 - 2,599) \cdot (0,8 - 0,75)}{(3,511 - 2,599)} = 0,778.$$

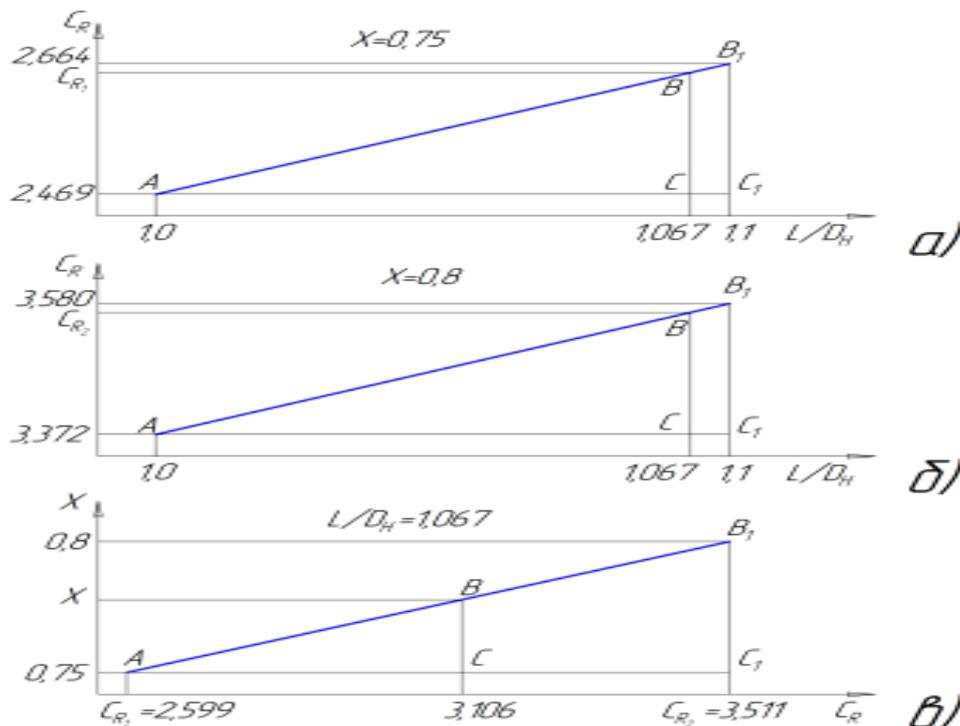


Рисунок 3

6. Определяем толщину масляного слоя h в месте наибольшего сближения поверхностей отверстия вкладыша подшипника скольжения и вала при найденном диаметральном зазоре:

$$h = (Sp/2) \cdot (1 - \chi) = (180/2) \cdot (1 - 0,778) = 20 \text{ мкм.}$$

7. Допускаемая минимальная толщина масляного слоя $[h_{min}]$:

$$[h_{min}] = k_{эст} \cdot (R_{a2} + R_{a1} + \gamma_d),$$

где $k_{эст} = 2$ мкм - коэффициент запаса надежности по толщине масляного слоя;

$\gamma_d = 2$ мкм - добавка, учитывающая отклонение фактических значений нагрузки, скорости, температуры от расчетных, а также механические отклонения в масле.

Тогда

$$[h_{min}] = 2 \cdot (1,60 + 3,20 + 2) = 14 \text{ мкм.}$$

Для обеспечения жидкостного трения необходимо соблюдение условия: $h \geq [h_{min}]$. В нашем случае: $h = 20 \text{ мкм} \geq [h_{min}] = 14 \text{ мкм}$, т.е. условие жидкостного трения выполняется.

8. Определяем минимальный зазор $[S_{min}]$ в подшипнике, при котором толщина масляного слоя равна минимальной допускаемой величине $[h_{min}]$:

$$[S_{min}] = 2 \cdot [h_{min}] / (1 - \chi) = 2 \cdot 14 / (1 - 0,778) = 126 \text{ мкм.}$$

9. Подбираем посадку. Чтобы срок службы соединения был наибольшим, а затраты на изготовление деталей минимальными, посадки следует выбирать так, чтобы средний табличный зазор $S_{cp \text{ табл}}$ (ГОСТ 25347—2013) был близким к оптимальной расчетной величине зазора S_{opt} , т. е.

$$S_{cp \text{ табл}} \approx S_{opt}. \quad (18)$$

Условия подбора посадки:

1) $S_{min} \geq [S_{min}]$, в нашем случае: $[S_{min}] = 126$ мкм;

2) $S_{cp \text{ табл}} \approx S_p$, в нашем случае: $S_p = 180$ мкм,

где $S_{cp \text{ табл}}$ - средний диаметральный зазор посадки:

$$S_{cp \text{ табл}} = (S_{max \text{ табл}} + S_{min \text{ табл}}) / 2.$$

где $S_{max \text{ табл}}$ — наибольший табличный зазор;

$S_{min \text{ табл}}$ — наименьший табличный зазор.

Для выбора посадки используем таблицы предельных отклонений отверстий (таблицы 2—16) и валов (таблицы 17—32) ГОСТ 25347—2013.

Этим условиям наиболее близко соответствует посадка $\varnothing 150 D8/h6$ с зазорами $S_{min} = 145$ мкм, $S_m = 189,0$ мкм, $S_{max} = 233$ мкм [Приложение Г].

Для номинального размера соединения «вал — цапфа» 150 мм соответствует:

- отверстие с интервалом (полем) допуска $D8$ с верхним предельным отклонением $ES = +208$ мкм, с нижним предельным отклонением $EI = +145$ мкм (таблица 8 ГОСТ 25347—2013);

- вал с интервалом (полем) допуска $h6$ с верхним предельным отклонением $es = 0$ мкм, с нижним предельным отклонением $ei = -25$ мкм (таблица 7 ГОСТ 25347—2013).

10. Рассчитываем наибольшие и наименьшие предельные размеры для вала

$$d_{max} = d + es;$$

$$d_{min} = d + ei.$$

$$d_{max} = 150,000 + 0 = 150,000 \text{ мм};$$

$$d_{min} = 150,000 - 0,025 = 149,975 \text{ мм.}$$

11. Вычисляем наибольшие и наименьшие размеры для отверстия:

$$D_{max} = D + ES;$$

$$D_{min} = D + EI.$$

$$D_{max} = 150,000 + 0,208 = 150,208 \text{ мм};$$

$$D_{min} = 150,000 + 0,145 = 150,145 \text{ мм.}$$

12. Определяем допуски отверстия и вала:

$$TD = ES - EI;$$

$$Td = es - ei.$$

$$TD = +208 - (+145) = 63 \text{ мкм};$$

$$Td = 0 - (-25) = 25 \text{ мкм.}$$

13. Рассчитываем наименьший зазор $S_{min \text{ табл}}$ и наибольший зазор $S_{max \text{ табл}}$:

$$S_{min \text{ табл}} = EI - es = D_{min} - d_{max};$$

$$S_{max\ табл} = ES - ei = D_{max} - d_{min}$$

$$S_{min\ табл} = +145 - (0) = 145\ \text{мкм};$$

$$S_{max\ табл} = +208 - (-25) = 233\ \text{мкм}.$$

14. Вычисляем средний зазор

$$S_{cp.\ табл} = (S_{max\ табл} + S_{min\ табл})/2;$$

$$S_{cp.\ табл} = (233 + 145)/2 = 189\ \text{мкм}.$$

17. Определяем диапазон (допуск) посадки

$$TS = S_{max\ табл} - S_{min\ табл} = TD + Td;$$

$$TS = 63 + 25 = 88\ \text{мкм}$$

Схема расположения интервалов (полей) допусков посадки (в системе вала) представлена на рисунке 4, эскизы сопрягаемых деталей приведены на рисунке 5.

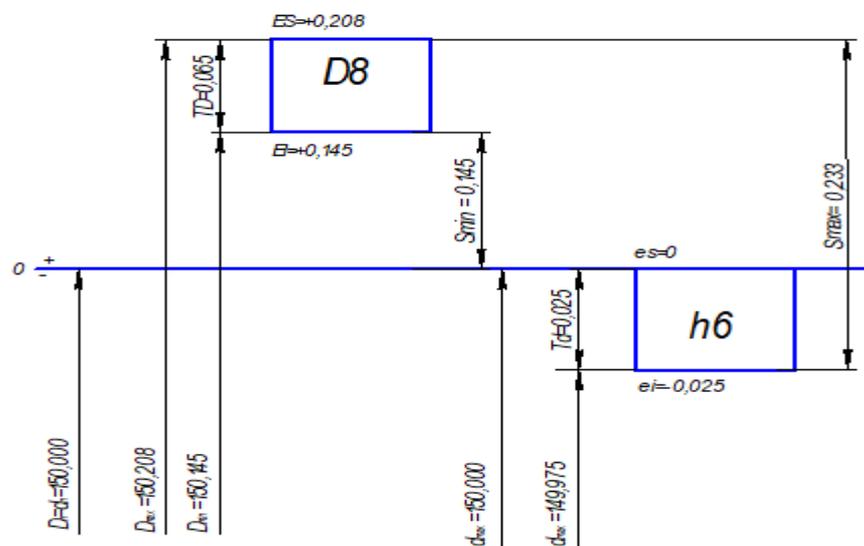


Рисунок 4 - Схема расположения интервалов (полей) допусков посадки

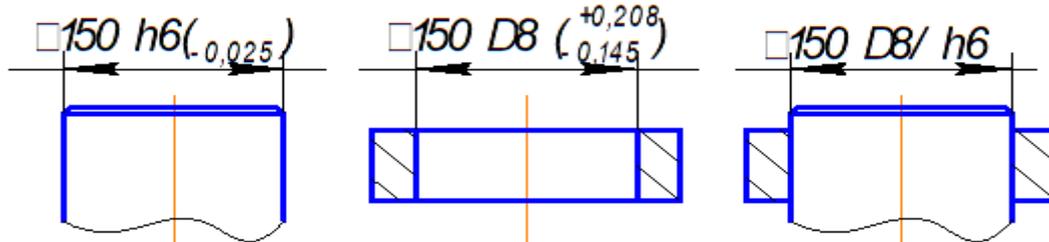


Рисунок 5 - Эскизы сопрягаемых деталей

Контрольные вопросы

1. Что собой представляют подшипники жидкостного трения?
2. Какую роль играет зазор в подвижных соединениях?
3. Назначение зазора в неподвижных соединениях.
4. Перечислите особенности посадок с зазором.
5. Поясните смысл линейной интерполяции табличных данных.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Исходные данные для расчета

№ варианта	Номинальный диаметр соединения $d = D$, мм	Длина подшипника, l , мм	Угловая скорость, ω , рад/с	Динамический коэффициент вязкости, η , Па·с	Удельное давление на опору, ρ , МПа	Шероховатость вала, R_{a1} , мкм	Шероховатость отверстия, R_{a2} , мкм
1	58	40	90	0,07	11	3,2	3,2
2	20	17	70	0,01	7	6,3	6,3
3	88	50	110	0,01	17	6,3	6,3
4	44	80	110	0,03	17	2,5	6,3
5	58	60	100	0,04	11	3,2	3,2
6	50	48	110	0,03	16	6,3	2,5
7	70	60	109	0,02	14	6,3	3,2
8	40	60	60	0,02	8	4	6
9	66	51	100	0,01	11	2,5	6,3
10	48	45	130	0,02	11	3,2	3,2
11	48	70	150	0,04	8	6,3	3,2
12	93	48	137	0,02	19	6,3	3,2
13	30	45	87	0,04	17	3,2	3,2
14	50	37	190	0,04	21	3,2	2,5
15	60	45	130	0,01	19	3,2	2,5
16	87	45	105	0,09	17	6,3	6,3
17	40	50	80	0,02	21	3,2	5,0
18	40	70	100	0,02	4	2,5	4,0
19	30	50	100	0,02	3,2	1,5	2,5
20	30	40	40	0,04	1,8	1,6	3,2
21	30	50	100	0,04	2	3,2	5,0
22	30	30	90	0,03	11	2,5	2,5
23	64	50	100	0,01	21	2,5	6,3
24	38	40	85	0,07	18	6,3	3,2
25	50	80	60	0,04	5	6,3	6,3
26	40	65	90	0,02	14	4,0	6,3
27	80	40	65	0,05	12	2,5	6,3
28	30	40	60	0,04	11	4,0	6,3
29	40	60	80	0,04	21	2,5	3,2
30	60	70	100	0,02	5,6	1,6	3,2

Приложение Б

Основные смазочные масла для машино- и приборостроения

Наименование, марка масла	Стандарт	Вязкость	
		кинематическая $\nu \cdot 106, \text{ м}^2/\text{с}$	динамическая ρ , Па \cdot с
Легкие индустриальные:	ГОСТ 20799—88	4,0—5,0	0,0036—0,0045
И-5А (велосит)	ГОСТ 20799—88	6,0—8,0	0,0054—0,0072
И-8а (вазелиновое)	ГОСТ 1805—76	6,5—8,0	0,0058—0,0072
Приборное МВП Средние индустриальные:	ГОСТ 20799—88	10,0—14,0	0,0090—0,0126
И-12К (И-12)			
И-20А (И-20)	ГОСТ 20799—88	17,0—23,0	0,0153—0,0207
И-25А (ИС-25)		24,0—27,0	0,0216—0,0242
И-30А (И-30)		28,0—33,0	0,0252—0,0297
И-40А (И-45)		35,0—45,0	0,0315—0,0405
И-50А (И-50)		47,0—55,0	0,0423—0,0495
И-70А (ИС-65)		65,0—75,0	0,0585—0,0675
Турбинные:	ГОСТ 32—74	20,0—23,0	0,0180—0,0207
Т22 (Л)		28,0—32,0	0,0252—0,0288
Т30 (УТ)		44,0—48,0	0,0396—0,0432
Т46 CD			
Т57 (турборедукторные)		55,0—59,0	0,0495—0,0531

Приложение В

Значения относительного эксцентриситета подшипника χ в зависимости от коэффициента нагруженности C_R

χ	Коэффициент нагруженности C_R при l/D											
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	2,0
0,3	0,089	0,133	0,182	0,234	0,287	0,339	0,391	0,440	0,487	0,529	0,610	0,763
0,4	0,141	0,209	0,283	0,361	0,429	0,515	0,589	0,658	0,723	0,784	0,891	1,091
0,5	0,216	0,317	0,427	0,538	0,647	0,754	0,853	0,947	1,033	1,111	1,248	1,483
0,6	0,339	0,493	0,655	0,816	0,972	1,118	1,253	1,377	1,489	1,590	1,763	2,070
0,65	0,431	0,622	0,819	1,014	1,199	1,371	1,528	1,669	1,796	1,912	2,099	2,446
0,7	0,537	0,819	1,070	1,312	1,538	1,745	1,929	2,097	2,247	2,379	2,600	2,981
0,75	0,779	1,096	1,418	1,720	1,965	2,248	2,469	2,664	2,838	2,990	3,242	3,671
0,8	1,079	1,572	2,001	2,339	2,754	3,067	3,372	3,580	3,787	3,968	4,266	4,778
0,85	1,775	2,428	3,036	3,580	4,053	4,459	4,808	5,106	5,364	5,586	5,947	6,545
0,9	3,195	4,261	5,214	6,029	6,721	7,294	7,772	8,186	8,533	8,831	9,304	10,091
0,925	5,055	6,615	7,956	9,072	9,992	10,753	11,38	11,91	12,35	12,73	13,34	14,34
0,95	8,393	10,706	12,64	14,14	15,37	16,37	17,18	17,86	18,43	18,91	19,68	20,97
0,975	21,00	25,62	29,17	31,88	33,99	35,66	37,00	38,12	39,04	39,81	41,07	43,11
0,99	65,26	75,86	83,21	88,90	92,89	96,36	98,95	101,2	102,9	104,4	106,8	110,8

Примечание. Промежуточные значения C_R следует получать интерполяцией табличных данных. У половинных подшипников (с углом охвата 180°) масляный слой создается на половине длины окружности.

Приложение Г

Предельные зазоры в посадках с зазором при размерах от 1 до 315 мм (ГОСТ 25346-89)

Номинальные размеры, мм	Посадки в системе отверстия															
	H5/g4	H8/e8	H8/e9; H9/e8	H8/f7	H8/f8	H6/h5	-	H7/d8	H8/d8	H8/d9	H8/e8	H8/e9; H9/e8	H8/f7	H8/f8	H8/f9; H9/f8	H8/h7
	Посадки в системе вала															
	G5/h4	E8/h8	E9/h8	F8/h7	F8/h8	H6/h5	D8/h6	D8/h7	D8/h8	D9/h8	E8/h8	E9/h8	F8/h7	F8/h8	F9/h8	H8/h7
	Предельные зазоры S_{max} , S_{min} , мкм															
От. 1	9	7	18	20	12	10	40	44	48	59	42	53	30	34	45	24
до 3	2	0	6	6	2	0	20	20	20	20	14	14	6	6	6	0
Св. 3	13	9	26	27	17	13	56	60	66	78	56	68	40	46	58	30
до 6	4	0	10	10	4	0	30	30	30	30	20	20	10	10	10	0
Св. 6	15	10	31	34	20	15	71	77	84	98	69	83	50	57	71	37
до 10	5	0	13	13	5	0	40	40	40	40	25	25	13	13	13	0
Св. 10	19	13	38	42	25	19	88	95	104	120	86	102	61	70	86	45
до 18	6	0	16	16	6	0	50	50	50	50	32	32	16	16	16	0
Св. 18	22	15	46	50	29	22	111	119	131	150	106	125	74	86	105	54
до 30	7	0	20	20	7	0	65	65	65	65	40	40	20	20	20	0
Св. 30	27	18	57	61	36	27	135	144	158	181	128	151	89	103	126	64
до 50	9	0	25	25	9	0	80	80	80	80	50	50	25	25	25	0
Св. 50	31	21	68	73	42	32	165	176	192	220	152	180	106	122	150	76
до 80	10	0	30	30	10	0	100	100	100	100	60	60	30	30	30	0
Св. 80	37	25	80	86	49	37	196	209	228	261	180	213	125	144	177	89
до 120	12	0	36	36	12	0	120	120	120	120	72	72	36	36	36	0
Св. 120	44	30	93	101	57	43	233	248	271	308	211	248	146	169	206	103
до 180	14	0	43	43	14	0	145	145	145	145	85	85	43	43	43	0
Св. 180	49	34	108	116	64	49	271	288	314	357	244	287	168	194	237	118
до 250	15	0	50	50	15	0	170	170	170	170	100	100	50	50	50	0
Св. 250	56	39	120	131	72	55	303	323	352	401	272	321	189	218	267	133
до 315									190	190	110	110	56	56	56	0

Продолжение Приложения Г

Номинальные размеры, мм	Посадки в системе отверстия							
	H8/h9; H9/h8	H9/d9	-	H9/e9	H9/f9	H9/h9	H10/d10	H10/h9
	Посадки в системе вала							
	H8/h9	D9/h9	D10/h9	E9/h9	F9/h9	H9/h9	D10/h10	H10/h9
Предельные зазоры S_{max} , S_{min} , мкм								
От. 1 до 3	39 0	70 20	85 20	64 14	56 6	50 0	100 20	65 0
Св. 3 до 6	48 0	90 30	108 30	80 20	70 10	60 0	126 30	78 0
Св. 6 до 10	58 0	112 40	134 40	97 25	85 13	72 0	156 40	92 0
Св. 10 до 18	70 0	136 50	163 50	118 32	102 16	86 0	190 50	113 0
Св. 18 до 30	85 0	169 65	201 65	144 40	124 20	104 0	233 65	136 0
Св. 30 до 50	101 0	204 80	242 80	174 50	149 25	124 0	280 80	162 0
Св. 50 до 80	120 0	248 100	294 100	208 60	178 30	148 0	340 100	194 0
Св. 80 до 120	141 0	294 120	347 120	246 72	210 36	174 0	400 120	227 0
Св.120 до 180	163 0	345 145	405 145	285 85	243 43	200 0	465 145	260 0
Св.180 до 250	187 0	400 170	470 170	330 100	280 50	230 0	540 170	300 0
Св.250 до 315	211 0	450 190	530 190	370 110	316 56	260 0	610 190	340 0

**Предельные зазоры в посадках с зазором при размерах от 1 до 450 мм
(ГОСТ 25346-89)**

Номинальные размеры, мм	Посадки в системе отверстия							
	H7/c8	H11/a11	H11/b11	H11/c11	H11/b11	H11/h11	H12/b12	H12/h12
	Посадки в системе вала							
	-	A11/h11	B11/h11	C11/h11	D11/h11	H11/h11	B12/h12	H12/h12
Предельные зазоры S_{min} , мкм								
S _{max}								
От. 1 до 3	84	390	260	180	140	120	340	200
	60	270	140	60	20	0	140	0
Св. 3 до 6	100	420	290	220	180	150	380	240
	70	270	140	70	30	0	140	0
Св. 6 до 10	117	460	330	260	220	180	450	300
	80	270	150	80	40	0	150	0
Св. 10 до 18	140	510	370	315	270	220	510	360
	95	290	150	95	50	0	150	0
Св. 18 до 30	164	560	420	370	325	260	580	420
	110	300	160	110	65	0	160	0
Св. 30 до 40	184	630	490	440	400	320	670	500
	120	310	170	120	80	0	170	0
Св. 40 до 50	194	640	500	450	400	320	680	500
	130	320	180	130	80	0	180	0
Св. 50 до 65	216	720	570	520	480	380	790	600
	140	340	190	140	100	0	190	0
Св. 65 до 80	226	740	580	530	480	380	800	600
	150	360	200	150	100	0	200	0
Св. 80 до 100	259	820	660	610	560	440	920	700
	170	380	220	170	120	0	220	0
Св.100 до 120	269	850	680	620	560	440	940	700
	180	410	240	180	120	0	240	0
Св.120 до 140	303	960	760	700	645	500	1060	800
	200	460	260	200	145	0	260	0
Св.140 до 160	313	1020	780	710	645	500	1080	800
	210	520	280	210	145	0	280	0
Св.160 до 180	333	1080	810	730	645	500	1110	800
	230	580	310	230	145	0	310	0
Св.180 до 200	358	1240	920	820	750	580	1260	920
	240	660	340	240	170	0	340	0
Св.200 до 225	378	1320	960	840	750	580	1300	920
	260	740	380	260	170	0	380	0
Св.225 до 250	398	1400	1000	860	750	580	1340	920
	280	820	420	280	170	0	420	0
Св.250 до 280	433	1560	1120	940	830	640	1520	1040
	300	920	480	300	190	0	480	0
Св.280 до 315	463	1690	1180	970	830	640	1580	1040
	330	1050	540	330	190	0	540	0
Св.315 до 355	506	1920	1320	1080	930	720	1740	1140
	360	1200	600	360	20	0	600	0
Св.355 до 400	545	2070	1400	1120	930	720	1820	1140
	400	1350	680	400	210	0	680	0
Св.400 до 450	600	2300	1560	1240	1030	800	2020	1260
	440	1500	760	440	230	0	760	0

Литература

1. Лифиц И.М. Стандартизация, метрология и подтверждение соответствия: учеб. для вузов. М.: Юрайт, 2016. 411 с.
2. Радкевич Я.М., Схиртладзе А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация. В 3 ч. Ч. 1. Метрология: учеб. для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2016. 235 с.
3. Схиртладзе А.Г., Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и технические измерения: учеб. для вузов. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 420 с.
- 4 Метрология, стандартизация и сертификация. Практикум: учеб. пособие для вузов / В.Н. Кайнова, Т.Н. Гребнева, Е.В. Тесленко, Е.А. Куликова; под ред. В.Н. Кайновой. СПб.: Лань, 2015. 368 с.
5. Иванов А.И., Полещенко П.В. Практикум по взаимозаменяемости, стандартизации и техническим измерениям. М.: Колос, 1977. 224 с.

Учебное издание

Будко С.И., Кузюр В.М.

РАСЧЕТ ПОДШИПНИКОВ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

Учебно-методическое указание для практической работы
по курсу «Основы взаимозаменяемости и технические измерения»

Редактор Аддылина Е.С.

Подписано к печати 23.11.2022 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 1,16. Тираж 25 экз. Изд. №7432

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ