МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ”

МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

Розрахункова робота

«Розрахунок та проектування шпиндельного вузла»

Виконав студент ММІ, групи МТм-51

Волинець Віктор

Київ-2009

**Вибір загальних вихідних даних**

За табл. 3.6 методичних вказівок №7 згідно варіанту вибираємо вихідні дані. Вихідні дані представлено в табл. 2.1.

Табл. 2.1. Вихідні дані

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значення |
| Виліт передньої консолі а, мм | 120 |
| Діаметр передньої консолі d2, мм | 90 |
| Діаметр шпинделя між опорами d1, мм | 80 |
| Діаметр отвору в шпинделі d\*, мм | 60 |
| Швидкісний параметр Kv×105, мм/хв. | 6 |
| Очікуване навантаження на консолі P, кН | 15 |
| Клас точності верстата | A |

**Вибір схеми шпиндельного вузла**

Схему шпиндельного вузла вибираємо по значенню швидкісного параметру dnmax (Kv) за табл. 3.4 методичних вказівок. Приймаємо схему №7.

Рис. 2.1. Схема шпиндельного вузла (ШВ)

**Вибір підшипників**

Визначаємо граничні числа обертів шпинделя:

об/хв

Для передньої та задньої опор за каталогом вибираємо радіально-упорні підшипники (табл. 2.2).

Табл. 2.2. Характеристики обраних підшипників

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Основные размеры** | **Грузоподьёмность** | **Предел** | **Достижимые скорости** | **Macca** | **Обозначения** |
|  |  | динамическая | статическая | **усталостной** | смазывание |   | SKF | SNFA |
|  |  | **прочности** | пластичными | точечное |   | Listing of both SKF and SNFA designations means that |
|   | d | D | B | C | C0 | Pu |  | смазывание |   |  |
|  |
|   | mm | kN | kN | об/мин | kg | - |   |
|  |
|   | **90** | 160 | 30 | 127 | 112 | 4,25 | 8500 | 14000 | 2,25 | **7218 CD/P4A** | **-** |

За табл. 3.5. методичних вказівок, враховуючи значення швидкісного параметру, вибираємо метод змащування – масляний туман. За табл. 3.1 методичних вказівок допустима температура нагріву зовнішнього кільця підшипника, враховуючи клас точності верстата - 35-40ºС.

**Визначення опорних реакцій, радіальних жорсткостей опор**

Визначаємо реакції відповідно в передній та задній опорах R1, R2, для чого попередньо приймаємо міжопорну відстань, рівну 3d, де d – діаметр шпинделя в передній опорі:

Н

Н

Жорсткість опор на підшипниках кочення визначаємо за графіками рис. 3.3 методичних вказівок. Для підшипників передньої опори приймаємо радіальну жорсткість одного підшипника Ср1=0,55 кН/мкм, задньої – Ср2=0,55 кН/мкм. Отже, радіальна жорсткість передньої і задньої опор вцілому відповідно:

 кН/мкм,

 кН/мкм

Податливість передньої та задньої опор відповідно:

 мкм/кН,

 мкм/кН

**Розрахунок жорсткості шпиндельного вузла**

Радіальне переміщення переднього кінця шпинделя:

,

де yш, yоп, yздв – радіальні переміщення, що викликані відповідно згином шпинделя, податливістю опор та здвигом від дії поперечних сил (величиною усдв можна знехтувати, оскільки ця складова не перевищує 3-6% від у). Отже:

Переміщення yш обчислюється за допомогою інтеграла Мора по правилу Верещагіна графоаналітично:

 мкм,

де Е – модуль пружності; І1 та І2 – осьові моменти інерції відповідно міжопорної частини та передньої консолі:

 м4;

 м4,

де d\* - діаметр отвору в шпинделі, м; εз – коефіцієнт закріплення в передній опорі (див. табл. 3.1 методичних вказівок).

Переміщення уоп визначається за умови абсолютно жорсткого шпинделя з подібності трикутників:

 мкм

Отже, загальний прогин:

 мкм

Загальна радіальна податливість:

 мкм/кН

**Визначення оптимальної міжопорної відстані**

Для знаходження оптимальної міжопорної відстані знайдемо похідну залежності прогину у від довжину міжопорної частини l, прирівняємо її до нуля та розв’яжемо отримане рівняння відносно l:

Дане рівняння має 3 корені – 1 дійсний та 2 ірраціональні:

Отже, оптимальна міжопорна відстань lопт=170 мм. Отримане значення коригуємо з урахуванням довжини передньої консолі , lопт≥2,5а. Отже, lопт=2,5а=300 мм.

**Визначення радіальної жорсткості ШВ з урахуванням lопт**

Радіальне переміщення переднього кінця шпинделя під дією навантаження Р:

Визначимо також жорсткість та податливість шпинделя:

кН/мкм

мкм/кН

**Визначення демпфіруючих властивостей шпинделя**

Демпфіруючі властивості можна кількісно оцінити за допомогою логарифмічного декремента коливань:

,

де ψ1, ψ2 – відносне розсіювання енергії в передній та задній опорах відповідно; [λ]=0,23 – допустиме мінімальне значення розсіювання енергії для токарних верстатів (схема ШВ за завданням очевидно відповідає токарному верстату). Розсіювання в передній та задній опорах відповідно дорівнює сумі показників демпфіруючих властивостей ψ0 для даних видів підшипників, що встановлені в опорі (табл. 3.10 методичних вказівок).

Отже, демпфіруючі властивості ШВ є задовільними.

**Визначення власної частоти шпинделя**

Приблизний розрахунок власної частоти шпинделя, що не має значних зосереджених мас, можна виконати за формулою:

 рад/с,

де коефіцієнт ν=2,3…2,4 при λ=2,5…3,5; m=50 кг – приблизна маса шпинделя.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Таблицы изделий:** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | **Радиально-упорные шарикоподшипники, прецизионный** |   |
|   |   |   |   |   |   |   | Допуски , см. описание / описание 718 (SEA) series |
|   |   |   |   |   |   |   | Преднатяг, see specific product, см. описание, unmounted, и описание, mounted / описание 718 (SEA) series |
|   |   |   |   |   |   |   | Рекомендуемые посадки, вала, корпуса |
|   |   |   |   |   |   |   | Допуски вала и корпуса |
|  |
|  | **Основные размеры** | **Грузоподьёмность** | **Предел** | **Достижимые скорости** | **Macca** | **Обозначения** |
|  |  | динамическая | статическая | **усталостной** | смазывание |   | SKF | SNFA |
|  |  | **прочности** | пластичными | точечное |   | Listing of both SKF and SNFA designations means that |
|   | d | D | B | C | C0 | Pu | смазками | смазывание |   | the bearings are SKF-SNFA super-precision bearings |
|  |
|   | mm | kN | kN | об/мин | kg | - |   |
|  |
|   | **90** | 115 | 13 | 20,3 | 25 | 1,04 | 12000 | 18000 | 0,251 | **71818 ACD/HCP4** | **SEA90 /NS 7CE3** |
|   | **90** | 115 | 13 | 20,3 | 25 | 1,04 | 10000 | 15000 | 0,279 | **71818 ACD/P4** | **SEA90 7CE3** |
|   | **90** | 115 | 13 | 21,6 | 26,5 | 1,1 | 13000 | 20000 | 0,251 | **71818 CD/HCP4A** | **SEA90 /NS 7CE1** |
|   | **90** | 115 | 13 | 21,6 | 26,5 | 1,1 | 11000 | 17000 | 0,279 | **71818 CD/P4A** | **SEA90 7CE1** |
|   | **90** | 125 | 18 | 44,2 | 48 | 1,96 | 10000 | 17000 | 0,47 | **71918 ACD/HCP4A** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 44,2 | 48 | 1,96 | 8500 | 14000 | 0,55 | **71918 ACD/P4A** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 28,1 | 21,6 | 0,88 | 14000 | 22000 | 0,46 | **71918 ACE/HCP4A** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 28,1 | 21,6 | 0,88 | 13000 | 20000 | 0,54 | **71918 ACE/P4A** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 47,5 | 51 | 2,08 | 13000 | 19000 | 0,47 | **71918 CD/HCP4A** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 47,5 | 51 | 2,08 | 9500 | 16000 | 0,55 | **71918 CD/P4A** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 29,6 | 22,8 | 0,93 | 16000 | 26000 | 0,46 | **71918 CE/HCP4A** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 29,6 | 22,8 | 0,93 | 14000 | 22000 | 0,54 | **71918 CE/P4A** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 22,5 | 29 | 1,18 | 11000 | 18000 | 0,57 | **71918 DB/P7** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 23,4 | 30,5 | 1,25 | 13000 | 20000 | 0,57 | **71918 FB/P7** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 22,5 | 29 | 1,18 | 13000 | 20000 | 0,54 | **C71918 DB/P7** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 23,4 | 30,5 | 1,25 | 14000 | 24000 | 0,54 | **C71918 FB/P7** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 44,2 | 48 | 1,96 | 10000 | - | 0,47 | **S71918 ACD/HCP4A** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 44,2 | 48 | 1,96 | 8500 | - | 0,55 | **S71918 ACD/P4A** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 47,5 | 51 | 2,08 | 13000 | - | 0,47 | **S71918 CD/HCP4A** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 47,5 | 51 | 2,08 | 9500 | - | 0,55 | **S71918 CD/P4A** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 22,5 | 29 | 1,18 | 11000 | - | 0,57 | **S71918 DB/P7** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 23,4 | 30,5 | 1,25 | 13000 | - | 0,57 | **S71918 FB/P7** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 22,5 | 29 | 1,18 | 13000 | - | 0,54 | **SC71918 DB/P7** | **-** |
|   | **90** | 125 | 18 | 23,4 | 30,5 | 1,25 | 14000 | - | 0,54 | **SC71918 FB/P7** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 74,1 | 72 | 2,85 | 9500 | 16000 | 0,95 | **7018 ACD/HCP4A** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 74,1 | 72 | 2,85 | 8000 | 13000 | 1,15 | **7018 ACD/P4A** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 35,1 | 26,5 | 1,04 | 13000 | 22000 | 1,03 | **7018 ACE/HCP4A** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 35,1 | 26,5 | 1,04 | 12000 | 19000 | 1,15 | **7018 ACE/P4A** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 79,3 | 76,5 | 3 | 11000 | 18000 | 0,95 | **7018 CD/HCP4A** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 79,3 | 76,5 | 3 | 9000 | 15000 | 1,15 | **7018 CD/P4A** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 37,1 | 28 | 1,1 | 15000 | 24000 | 1,03 | **7018 CE/HCP4A** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 37,1 | 28 | 1,1 | 13000 | 20000 | 1,15 | **7018 CE/P4A** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 37,1 | 40,5 | 1,6 | 11000 | 17000 | 1,2 | **7018 DB/P7** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 39 | 42,5 | 1,66 | 12000 | 18000 | 1,2 | **7018 FB/P7** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 37,1 | 40,5 | 1,6 | 12000 | 19000 | 1,15 | **C7018 DB/P7** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 39 | 42,5 | 1,66 | 14000 | 22000 | 1,15 | **C7018 FB/P7** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 74,1 | 72 | 2,85 | 9500 | - | 0,95 | **S7018 ACD/HCP4A** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 74,1 | 72 | 2,85 | 8000 | - | 1,15 | **S7018 ACD/P4A** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 79,3 | 76,5 | 3 | 11000 | - | 0,95 | **S7018 CD/HCP4A** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 79,3 | 76,5 | 3 | 9000 | - | 1,15 | **S7018 CD/P4A** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 37,1 | 40,5 | 1,6 | 11000 | - | 1,2 | **S7018 DB/P7** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 39 | 42,5 | 1,66 | 12000 | - | 1,2 | **S7018 FB/P7** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 37,1 | 40,5 | 1,6 | 12000 | - | 1,15 | **SC7018 DB/P7** | **-** |
|   | **90** | 140 | 24 | 39 | 42,5 | 1,66 | 14000 | - | 1,15 | **SC7018 FB/P7** | **-** |
|   | **90** | 160 | 30 | 121 | 106 | 4,05 | 7500 | 12000 | 2,25 | **7218 ACD/P4A** | **-** |
|   | **90** | 160 | 30 | 127 | 112 | 4,25 | 8500 | 14000 | 2,25 | **7218 CD/P4A** | **-** |
|  |

 |

