

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Верстатне та інструментальне забезпечення обробки

деталі «Передня маточина СВ12.006.15»

Виконав: студент IV курсу, групи МВЗ-41

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Василь ТАРАЩУК

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Володимир КРУПА

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Володимир КОБЕЛЬНИК

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Володимир КРУПА

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« » (підпис) Володимир КРУПА
(прізвище та ініціали)
20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

студенту Тарашуку Василю Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Верстатне та інструментальне забезпечення обробки деталі
«Передня маточина СВ12.006.15»

Керівник роботи Крупа Володимир Васильович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «17» квітня 2024 року № 4/7-366

2. Термін подання студентом завершеної роботи 10 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Технологічний процес виготовлення деталі, креслення деталі, типові Технологічні процеси виготовлення типових деталей, базова модель токарного верстата,

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ 2. Технологічний розділ. 3. Конструкторський розділ. 4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Кінематична схема верстату- 1 ф. А1; 2. Передня (шпиндельна бабка): складальне креслення – 1 ф. А1; 3. Креслення деталі – 1- ф А1; 4. Креслення заготовки - 1 ф.А1;
5. Наладка на токарну операцію – 1 ф А1

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Василь ТАРАЩУК

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Володимир КРУПА

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Таращук Василь Юрійович. Кваліфікаційна робота на тему: Верстатне та інструментальне забезпечення обробки деталі «Передня маточина СВ12.006.15»

У роботі проведено аналіз службового призначення деталі, проведено її аналіз на технологічність. Здійснено огляд конструкторських особливостей токарного багатопшпindelного верстата. Для вибраного типу отримання заготовки розроблено маршрут обробки, для якого підібрано обладнання з урахуванням отриманого типу виробництва. Обґрунтовано вибір технологічних баз, проведено розрахунок припусків та режимів різання, а також обґрунтовано норми часу. Проведено кінематичний розрахунок приводу головного руху, на основі якого розроблено кінематичну схему. Здійснено силовий розрахунок елементів шпindelної бабки, зокрема пасової передачі, зубчастої передачі, розрахунок жорсткості шпindelного вузла. Обґрунтовано технічні рішення відповідно до вимог охорони праці.

SUMMARY

Vasyl Taraschuk. Qualification work on the topic: Machine and tooling equipment for processing the part "Front hub SV12.006.15"

In the work, the service purpose of the part was analyzed, and its manufacturability was analyzed. An overview of the design features of the multi-spindle lathe was carried out. For the selected type of receiving a workpiece, a processing route is developed, for which equipment is selected taking into account the received type of production. The choice of technological bases has been justified, allowances and cutting modes have been calculated, and time norms have been justified. A kinematic calculation of the main motion drive was carried out, on the basis of which a kinematic scheme was developed. The force calculation of the elements of the spindle headstock, in particular the belt transmission, gear transmission, calculation of the stiffness of the spindle assembly was carried out. Technical solutions are substantiated in accordance with labor protection requirements.

ЗМІСТ

ВСТУП	
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	
1.1. Опис призначення умов роботи деталі та вузла	
1.2. Аналіз технологічності конструкції деталі	
1.2.1. Якісний аналіз технологічності деталі.....	
1.2.2. Кількісний аналіз технологічності деталі.....	
1.3. Вибір і обґрунтування типу виробництва	
1.4. Аналіз базової моделі верстата.....	
Постановка мети та задач дослідження	
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	
2.1. Вибір і обґрунтування прийнятого варіанту заготовки	
2.2. Проектування маршрутного технологічного процесу	
2.3. Вибір технологічних баз і їх обґрунтування	
2.4. Розрахунок міжопераційних і загальних припусків, міжопераційних розмірів і допусків	
2.5. Обґрунтування вибору устаткування.....	
2.6. Вибір режимів різання для кожної операції табличним методом....	
2.7. Розрахунок норм часу	
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	
3.1. Кінематичний розрахунок	
3.2. Розрахунок поліклінової пасової передачі	
3.3. Силловий розрахунок елементів шпиндельної бабки	
3.4. Розрахунок валів на міцність	
3.5. Розрахунок шпинделя на жорсткість	
3.6. Розрахунок підшипників	

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ			
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	ЗМІСТ			
Розроб.	Тарашук В. Ю							
Переір.	Крупа В.В.							
Реценз.								
Н. контр.	Кобельник В.Р.							
Зав. каф.	Крупа В.В.				ТНТУ, ФМТ, МВЗ-41			

4. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ
ДОДАТКИ.....

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

ВСТУП

Розвиток технології обробки йде у напрямі підвищення продуктивності праці і зниження собівартості виготовлення деталей, вузлів і машин.

Передусім це можна зробити за рахунок точності виготовлення заготовок. Чим ближче заготовка до форми готової деталі, тим менше припуск на деталі, менше треба часу для виготовлення готової деталі, тим менше зарплати робітником, менше витрати на силову енергію і т. д.

Скорочується кількість операцій, значить, буде менше кількості верстатів, робітників, інструменту.

Наступний шлях — впровадження нового високопродуктивного обладнання і технологічного оснащення. Нові верстати, новий різальний інструмент дозволяють збільшити режими різання при збереженні точності обробки.

Застосування нових методів обробки так само спрямоване на підвищення продуктивності праці.

Для обробки однієї і тієї ж деталі можуть бути застосовані різні варіанти технологічного процесу, рівноцінні з точки зору технологічних вимог до виробу, але що має значні коливання за економічними показниками. Істотний вплив на побудову технологічного процесу робить тип виробництва. Так в масовому і великосерійному виробництві технологічний процес будується на принципі диференціації або концентрації операцій при нагоді повної їх автоматизації.

Метою роботи є розробка удосконаленого технологічного процесу деталі Передня маточина СВ12.006.15 з конструюванням шпиндельної бабки токарного верстата

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ							
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата								
Розроб.	Тарашук В. Ю				ВСТУП				Літ		Аркуш	Аркушів
Переір.	Крупа В.В.											
Реценз.									ТНТУ, ФМТ, МВЗ-41			
Н. контр.	Кобельник В.Р.											
Зав. каф.	Крупа В.В.											

Основні завдання:

1. Провести обґрунтування та вибір заготовки.
2. Розробити технологічний процес (маршрутну технологію виготовлення деталі).
3. Розробити систему базування заготовки для кожної із операцій.
4. Призначити режими різання для операцій.
5. Провести кінематичний розрахунок елементи шпиндельної бабки токарного верстата.
6. Провести силові розрахунки елементів шпиндельної бабки верстата

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Опис призначення умов роботи деталі та вузла

«Передня маточина СВ12.006.15» - маточина переднього колеса відноситься до класу фланців [1]. Вона входить у вузол переднього моста трактора Т30 і призначена для установки коліс на передній міст трактора. «Передня маточина СВ12.006.15» встановлюється на підшипниках на півосях переднього моста. На маточину кріпиться обід переднього колеса. Креслення деталі подано у графічній частині.

Основними поверхнями деталі є внутрішні отвір під підшипники, торець "А" маточини до якого прилягає диск обода колеса, отвір для кріплення маточини з диском обода колеса і маточини для установки кришок.

Передній міст призначений для:

- забезпечення прямолінійного руху трактора;
- управління рухом трактора;
- регулювання ширини колії і висоти агротехнічного просвіту трактора.

Передній міст складається з балансира, в якому закріплюються корпуси кулаків правого і лівого в яких розміщуються осі з прикріпленими до них півосями і зі встановленими на ній важелями і тягою рульового управління.

Зміна ширини колії передніх коліс ручна. Відбувається з допомогою переміщення поворотних кулаків у балансірі. Управління передніми колесами походить з кабіни тракториста за допомогою рульового механізму, за допомогою подовжньої рульової тяги, сполученої з сошкою і важелем віссю поворотного кулака. Регулювання збіжності передніх коліс роблять за допомогою поперечної рульової тяги, шляхом її подовження або укорочення.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ							
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата								
Розроб.		Тарашук В. Ю			Аналітичний розділ				Літ		Аркуш	Аркушів
Переір.		Крупа В.В.										
Реценз.									ТНТУ, ФМТ, МВЗ-41			
Н. контр.		Кобельник В.Р.										
Зав. каф.		Крупа В.В.										

Передня маточина встановлюється на піввісь на 2-х підшипниках по внутрішніх циліндричних поверхнях Ø62 P7 і Ø72 P7, сама піввісь кріпиться корончатою гайкою М16*1.5, яка фіксується на валу з допомогою шплінта через поперечний отвір в різі Ø4 0,3. Лиска на різі служить для установки шайби з некруглим отвором для виключення самовідгвинчування маточини колеса при русі трактора.

На зовнішній циліндричній поверхні піввісь Ø38-0,1 встановлюється ущільнення, що запобігає попаданню пилу і бруду в підшипники маточини колеса.

Технічні умови на деталь.

1. 163...229HB

2. Невказані лінійні ухили 1°...2°. Радіуси 3.5мм.

3. Точність відливання 11Т-0-0-11См 1,5 ГОСТ 26645-85

4. На необроблюваних поверхнях допускаються раковини глибиною до 3мм., найбільшим виміром до 5мм., у кількості 6 шт.

5. На оброблюваних поверхнях окрім З, Д, До, І допускаються раковини глибиною до 3мм., у кількості не більше 6 шт.

6. Допуск радіального биття поверхонь З і Д один відносно одного 0,08мм.

7. Допуск непостійності діаметрів З і Д в поперечному і подовжньому перерізах 0,015мм.

8. * Розміри для довідок.

9. ** Забезпечується інструментом.

10. Покриття: Емаль КМЛ- 13 темно сіра ТУ 2312-021-16952278-95. V.

У1. Система покриття 1 ГОСТ 6572-91

Хімічний склад, механічні властивості матеріалу деталі подано у таблиці.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1. Хімічний склад, механічні властивості матеріалу СЧ15

Густина	7.2 г/см³			
Призначення	станини, корпуси, кронштейни, опори, плити, кришки, траверси, колосники			
Хімічний склад				
Вуглець "С"	Кремній "Si"	Марганець "Mn"	Сірка "S"	Фосфор "P"
3,5 - 3,7	2 -2,4	0,5 - 0,8	до 0,15	до 0,2

1.2. Аналіз технологічності конструкції деталі

Конструкція деталі технологічна, якщо вона забезпечує просте і економічне виготовлення деталі з мінімальними витратами і високою продуктивністю. Технологічність деталі оцінюється для конкретних умов виробництва [1-3].

Існує два види оцінки технологічності конструкції [2]:

- Якісний
- Кількісний

Крім того, технологічність може бути оцінена додатковими технічними показниками:

- - коефіцієнтом використання матеріалу;
- - коефіцієнтом уніфікації і стандартизації;
- - коефіцієнтом точності і шорсткості поверхонь

1.2.1. Якісний аналіз технологічності деталі

При проведенні якісного аналізу технологічності необхідно проаналізувати можливість обробки цієї деталі за умови збереження принципу єдності баз [3].

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Деталь Передня маточина СВ12.006.15, відноситься до класу фланців. Виготовлена з сірого чавуну СЧ15 ГОСТ 1412-85, оброблюваність матеріалу задовільна. Деталь не проходить термічну обробку, яка може привести до її викривлення і необхідності додаткової обробки після загартування.

Конструктивна форма деталі дозволяє виконувати наступні вимоги по технологічності механічної обробки :

- можливість простого і надійного закріплення деталі на верстаті;
- відсутні отвори розташовані не перпендикулярно до площини входу інструменту;
- форма поверхонь і їх розміри дозволяють здійснювати обробку на моделях металорізальних верстатів, що випускаються верстатобудівною промисловістю.

Деталь має зовні 6 східців, в отворі 5 східців. Усередині на ступенях 1,5, є клас шорсткості Ra 0,8, (місця під підшипники) підлягають розточуванню. Два торці і 5 отворів з шорсткістю Ra 3,2. 8 отворів з різьбою, по 4 на кожному торці.

При обробці цієї деталі не повинно виникнути труднощів із-за конструкції деталі.

Після проведення якісного аналізу технологічності деталі робимо висновок, що, конструкція деталі є технологічною.

1.2.2. Кількісний аналіз технологічності деталі

При проведенні кількісного аналізу технологічності деталі визначаємо наступні коефіцієнти [3]:

1. Коефіцієнт рівня технологічності по шорсткості. Коефіцієнт шорсткості $K_{Ш.О.}$ визначається по ГОСТ 14202-73, і приймається в межах від 0 до 1:

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$K_{ш.о.} = \frac{1}{B_{ср.}} \quad (1.1)$$

де $B_{ср.}$ - середній клас шорсткості обробки цієї деталі

$$B_{ср.} = \frac{1n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + 14n_{14}}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_{14}} \quad (1.2)$$

де 1,2,..,14-клас шорсткості обробки;

n_1, n_2, n_{14} - кількість поверхонь цього класу шорсткості;

$$B_{ср.} = \frac{2 \cdot 20 + 4 \cdot 5 + 5 \cdot 10 + 6 \cdot 7 + 7 \cdot 2 + 8 \cdot 2}{20 + 5 + 10 + 7 + 2 + 2} = 3,96$$

$$K_{ш.о.} = \frac{1}{3,96} = 0,253$$

Зважаючи, що розрахунковий $K_{ш.о.} = 0,253$, то деталь вважається нормальній трудоемності у виготовленні.

2. Рівень технологічності по точності обробки деталі

Коефіцієнт точності ХТО є відносно частим показником технологічності конструкції і визначається по ГОСТ 14202-73. Розрахункова формула [3]

$$K_{т.о.} = 1 - \frac{1}{A_{ср.}} \quad (1.3)$$

де $A_{ср.}$ - середній квалітет точності обробки деталі

$$A_{ср.} = \frac{6n_6 + 7n_7 + 8n_8 + \dots + 17n_{17}}{n_6 + n_7 + n_8 + \dots + n_{17}} \quad (1.4)$$

де 6,7,..,17 - квалітети точності виготовлення;

n_6, n_7, n_{17} - кількість розмірів цього квалітета.

$$A_{ср.} = \frac{17 \cdot 48 + 15 \cdot 1 + 14 \cdot 3 + 13 \cdot 3 + 8 \cdot 5 + 7 \cdot 2}{48 + 1 + 3 + 3 + 5 + 2} = 15,09$$

$$K_{т.о.} = 1 - \frac{1}{15,09} = 0,933$$

Якщо $K_{т.о.}$ менше 0,85, то деталь вважається дуже точною;

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Якщо Кт.о. більше 0,85, то деталь вважається нормальної точності;

Оскільки розрахунковий Кт.о. =0,933 те деталь вважається нормальної точності.

Зауваження по технологічності деталі :

ВИСНОВОК: На підставі якісної і кількісної оцінки технологічності встановлено, що, незважаючи на ряд зауважень, в цілому технологічність деталі задовільна і таким чином кресленик деталі не повинен піддаватися змінам і перегляду. Для підвищення коефіцієнта використання матеріалу вимагається змінити метод отримання заготовки.

1.3. Вибір і обґрунтування типу виробництва

Вибір типу виробництва істотно впливає на форму організації технологічного процесу (групова або потокова), вибір устаткування (універсальне, спеціалізоване, спеціальне або автоматичні лінії), характер використовуваного оснащення (універсальна або спеціальна) [3].

Початкові дані:

- річна програма	N=	120000;
- вага деталі	—	6,1 кг;
- режим роботи – 2-х змінний	m=	2;
- календарий фонд часу устаткування	Фд =	3720 год.

Таблиця 1.5. Орієнтовне визначення типу виробництва [3]

Тип виробництва	Річний об'єм випуску		
	Важких	Середніх	Легких
	> 30 кг	8 - 30 кг	< 8 кг
Одиничне	< 5	< 10	< 100

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Дрібносерійне	5 – 100	10 – 200	100 - 500
Середньосерійне	100 – 300	200 – 500	500 - 5000
Великосерійне	300 – 1000	500 – 5000	5000 - 50000
Масове	> 1000	> 5000	> 50000

Орієнтовно по таблиці визначуваний тип виробництва - масове. Точніше можна визначити тип виробництва по коефіцієнту закріплення операцій Кз.о. Значення Кз.о. на стадії розробки процесу обчислюють за формулою [3]:

$$K_{zo} = \frac{\sum O}{\sum P} \quad (1.5)$$

де: $\sum O$ - кількість операцій, що виконуються на ділянці впродовж місяця
 $\sum P$ - кількість робочих місць на ділянці.

$$K_{zo} = \frac{6}{6} = 1$$

Коефіцієнт закріплення операцій відповідає масовому типу виробництва (Кз.о. ≤ 1).

Розрахунок такту випуску деталей [3]

$$\tau = \frac{\Phi_d \cdot 60}{N} (xv) \quad (1.6)$$

τ - такт випуску - це інтервал часу через який з конвеєра сходять готовий виріб
Визначаємо такт випуску

$$\tau = \frac{3720 \cdot 60}{120000} = 1,86 \text{хв.}$$

де Φ_d – річний дійсний фонд часу роботи устаткування.

$\Phi_d = 3720$ година

N – річна програма випуску

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

1.4. Аналіз базової моделі верстата

Токарний патронно-центровий верстат 16K20Ф3 призначений для токарної обробки деталей типу тіл обертання в замкнутому напіваавтоматичному циклі.

Верстат призначений для токарної обробки зовнішніх (діаметром до 400 мм) і внутрішніх поверхонь деталей (довжиною до 1000 мм) зі ступінчастим і криволінійним профілем в осьовому перерізі.

Верстат сконструйований на базі токарно-винторезного станка 16K20, тому компоненти, складові частини та рух у цих станках однакові. Верстати можуть випускатися з різними пристроями ЧПУ (УЧПУ), у виконанні для влаштування в гвинтові виробничі модулі (ГПМ), а також у спеціальному та спеціалізованому виконанні оснащення

Основа верстата

Основа верстата є жорсткою відливкою, на якому встановлюються станина, електродвигун головного руху, станції мастила що направляють каретки шпиндельної бабки, насос подачі МОТС. Середня частина основи служить збіркою для стружки і МОТС, відсік в нижній правій частині основи - резервуаром МОТС.

Станина верстата

Станина верстата має коробчасту форму з поперечними ребрами П - подібного профілю, загартовані що шліфовані, що направляють. На станині встановлюються шпиндельна бабка, каретка, привід подовжнього подання, задня бабка. Для базування каретки на станині передня напрямна має форму нерівнобічної призми, задня напрямна - плоска. Задня бабка базується на станині по малій задній такою, що призматичною, що направляє і по площині - на передній.

Приводи подовжнього і поперечного переміщень

Переміщення супорта забезпечують приводи подовжніх і поперечних

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

подань, що складається з високомоментного двигуна ПБВ132М, муфти типу сільфону і гвинтової пари кочення. Профіль гайки ідентичний профілю різьблення гвинта.

Револьверна головка

Наводиться в дію тільки інструмент, що знаходиться в робочій позиції. Привід здійснюється від трифазного асинхронного двигуна серії фірми 1Ph7103 - F - 0 "SIEMENS" номінальною потужністю 4 кВт через передачу зубчастим ременем, карданну передачу і шестерний привід на провідну шестерню і звідти на інструмент.

При включенні револьверної голівки привід має бути відключений. Привід включається гідравлічно шляхом переміщення зубчастого колеса на шліці валу інструментів. Контроль здійснюється безконтактним вимикачем.

Поворот різцетримача здійснюється по команді програми управління верстата. Перед поворотом інструментальний супорт гідравлічно деблокується. Гідравлічний кроковий двигун через карданну і зубчасту передачі встановлює інструментальний диск в необхідне положення. Правильний вибір позиції контролюється кодуємим пристроєм. Безконтактний вимикач сигналізує про закінчення повороту на певний кут. Поворот револьверної головки на певний кут в торцевих зубах поз. 9 і 10 здійснюється гідравлічно.

Опис пристрою ЧПК NC – 200 [5].

Система ЧПК NC - 200 призначено для комплектування металообробного устаткування на фрезерно-свердлильно-розточувальній і токарно-карусельно-револьверній груп. Пристрій ЧПК є малогабаритним, моноблочним пристроєм, в якому сполучені в єдине ціле : блок управління, пульт оператора і верстатний пульт. Пристрій призначений для управління верстатами з кількістю осей не більше 4х і дискретними входами/виходами не більше 64/48.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Закладений принцип компактності зробив можливим отримання в облаштуванні високої надійності і низької ціни.

Програмне забезпечення надає можливість використати безліч постійних циклів, що дозволяють ефективно вирішувати завдання програмування типових рухів, економлячи при цьому час на розрахунки десятків кадрів і об'єм пам'яті.

УЧПУ складається з наступних основних модулів: блок живлення, модуль центрального процесора, модуль ЦАП-Енкодер, модуль дискретних входів-виходів, пульт оператора, зовнішнього модуля дискретних входів-виходів з релейною комутацією і індикацією

5. Висновки по розділу, постановка мети і задач дослідження

1. На основі опису призначення умов роботи деталі проведено конструкторський контроль креслення деталі;
2. На основі аналізу деталі на технологічність встановлено, що деталь за показниками шорсткості і точності є технологічною;
3. Встановлено тип виробництва – масовий, такт випуску деталі 1,86 хв.
4. Проведено аналіз конструктивних особливостей базової моделі верстата.

Метою роботи є розробка удосконаленого технологічного процесу деталі Передня маточина СВ12.006.15 з конструюванням шпиндельної бабки токарного верстата

Основні завдання:

1. Провести обґрунтування та вибір заготовки.
2. Розробити технологічний процес (маршрутну технологію виготовлення деталі).
3. Розробити систему базування заготовки для кожної із операцій.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

4. Призначити режими різання для операцій.
5. Провести кінематичний розрахунок елементи шпиндельної бабки токарного верстата.
6. Провести силові розрахунки елементів шпиндельної бабки верстата

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Вибір і обґрунтування прийнятого варіанту заготовки

Метод отримання заготовок для деталей машин визначається призначенням і конструкцією деталі, її масою, технічними вимогами, масштабом і серійністю випуску, а також економічністю виготовлення [6,7].

Для виготовлення заготовки деталі використовується матеріал - Сірий чавун СЧ15 ГОСТ 1412-85.

На базовому підприємстві заготовку деталі отримують методом литва в піщані форми. Для даної деталі такий спосіб отримання заготовки є майже єдиним способом отримання заготовки (при обліку річної програми випуску), це пов'язано з наявністю у деталі в отворів ступенів більшого діаметру, який не дозволяє застосовувати економічно доцільніші методи отримання заготовки, такі як литво в металеві форми [7].

Технічні вимоги на заготовку.

1. 163 - 241 НВ 5 (750) 10 (Ø отп. 2,3.1,9).
2. Матеріал замінник СЧ18, СЧ20 ГОСТ 1412-85.
3. Точність відливання 11Т-0-0-11См 1,5мм ГОСТ 26645-85.
4. Невказані лінійні ухили 1°...2°. Радіуси 3.5мм.
5. На необроблюваних поверхнях допускаються раковини глибиною до 3мм., найбільшим виміром 5мм., у кількості 6 шт.
6. На оброблюваних поверхнях допускаються:
 - а) дефекти, що не перевищують припуск на механічну обробку;
 - б) залишки затоки по лінії роз'єму заввишки і завтовшки не більше 2мм;

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ				
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Технологічний розділ	Літ		Аркуш	Аркушів
Розроб.		Тарашук В. Ю							
Переір.		Крупа В.В.							
Реценз.									
Н. контр.		Кобельник В.Р.				ТНТУ, ФМТ, МВЗ-41			
Зав. каф.		Крупа В.В.							

7. На необроблюваних оброблюваних поверхнях допускається залишки пригару в місцях переходів і сполучень, що не видаляються дробеметної відчищенняю.

8. На оброблюваних поверхнях окрім З, Д, До, І допускаються раковини глибиною до 3мм, найбільшим виміром 3мм, що не доходять до контурів поверхонь і отворів ближче 3мм, в кількості не більше 6 шт.

9. На площині "Л" допускається наявність викривлень і скупчення раковин, що виводяться хутро. обробкою.

10. Допускається виправлення ливарних дефектів по інструкції И- 7.

11. Покриття ґрунтовка ГФ- 0119 ГОСТ 23343-79.

12. Маркувати № моделі, № дублера шрифтом h7 ГОСТ 2.304-81 поглибленням.

Креслення заготовки виконали з дотриманням вимог ДСТУ [8] з застосуванням САД систем [9].

Визначення коефіцієнта використання матеріалу здійснюється за наступною формулою[7]:

$$K_{BM} = \frac{M_D}{M_3 \cdot K_3} \quad \text{кг} \quad (2.1)$$

Де : М_Д - маса деталі

М_З - маса заготовки

К_З - коефіцієнт способу отримання заготовки.

Оскільки форма заготовки є складною, то розрахунок K_{BM} робиться по спрощеному методу.

Маса деталі вказана на кресленні деталі і дорівнює 6,1 кг
Маса заготовки визначається шляхом її зважування і дорівнює 7 кг
Коефіцієнт способу отримання заготовки для литва в піщані форми рівний 1,05. Отримаємо:

$$K_{BM} = \frac{6,1}{7 \cdot 1,05} = 0,83$$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

2.2 Проектування маршрутного технологічного процесу

При розробці маршрутної технології обробки деталі орієнтуємося на загальні рекомендації для обробки деталі типу фланець в масовому виробництві [1-3]. В сучасних технологічних процесах використовують обладнання з паралельною кінематикою [10-14]. У масовому виробництві рекомендується використати високопродуктивне спеціальне і спеціалізоване устаткування і багато інструментальні верстати. Можна використовувати верстати з ЧПК [15-17]

На першій операції виконується обробка базових поверхонь. Це токарна обробка на багатошпиндельному напівавтоматі поверхонь по котрим відбуватиметься базування на наступних операціях. На другій і третій операції виконується обробка п'яти отворів $\varnothing 18 \pm 0,035$ і вісім отворів з різьми (по чотири на кожному торці). На четвертій операції здвйсноємо остаточне розточування одночасно двох отворів під підшипники. П'ята операція – слюсарна, притуплювання гострих кромek напилком. Шоста – промивання і сушка ОСМ- 1. Сьома - контрольна.

Технологічні завдання:

- забезпечення шорсткості поверхонь З і Д $Ra \ 0,8$, шорсткості поверхонь І і К $Ra \ 1,6$;
- забезпечення співвісної поверхні З і Д один відносно одного $0,08$, биття поверхонь І і К відносно А не більше $0,046$, биття торця Б не більше $0,2\text{мм.}$ на $R \ 52\text{мм.}$,
- биття торця А не більше $0,2\text{мм.}$ на $R \ 100\text{мм.}$,
- радіальне биття поверхні Ж не більше $0,15\text{мм.}$,
- співвісність п'яти отворів $\varnothing 18 \pm 0,035$,
співвісна восьми отворів М8-7Н.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Маршрут обробки деталі

005 Токарна -- верстат моделі 16K20Ф3

010 Агрегатна – Спеціальний верстат

015 Агрегатна – Спеціальний верстат

020 Алмазно – розточувальна – верста мод ОС- 4555

025 Слюсарна - Верстак

030 Промивальна машина мод. ОСМ- 1

035 Контрольна - стіл контролера

2.3 Вибір технологічних баз і їх обґрунтування

Вибір схеми базування і закріплення грає вирішальну роль на зменшення похибок обробки деталі. При виборі технологічних баз необхідно дотримуватись наступних правил [3]:

- необроблені поверхні в якості баз можна використати тільки на перших операціях;
- в якості технологічних баз слід приймати поверхні достатніх розмірів, що забезпечує велику точність базування і жорсткість закріплення заготовки в пристосуванні;
- базові поверхні повинні мати більш високий клас точності і найменшу шорсткість;
- слід дотримуватися принципу єдності баз, тобто поєднувати технологічну, вимірнувальну і конструкторську бази;
- слід дотримуватися принципу постійності баз.

В даному випадку деталь дуже складно базувати, так щоб дотриматися принципу єдності баз і постійності баз. Це пов'язано з тим, що у деталі всього один зовнішній діаметр по якому можна базуватися.

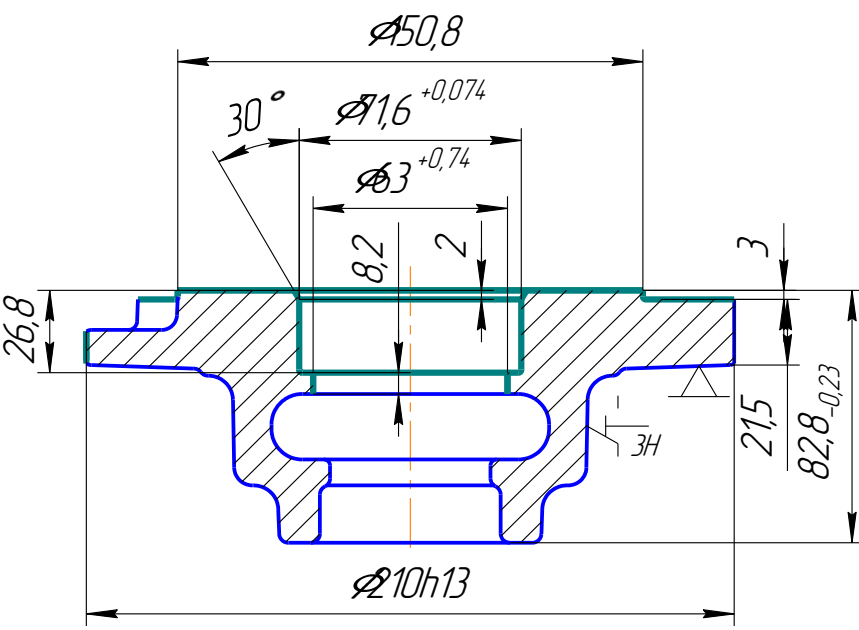
І поверхня сама по собі не досить точна для того, щоб базуватися по ній на 015 і 020 операціях, а на агрегатних операціях (010 і 015) для базування

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

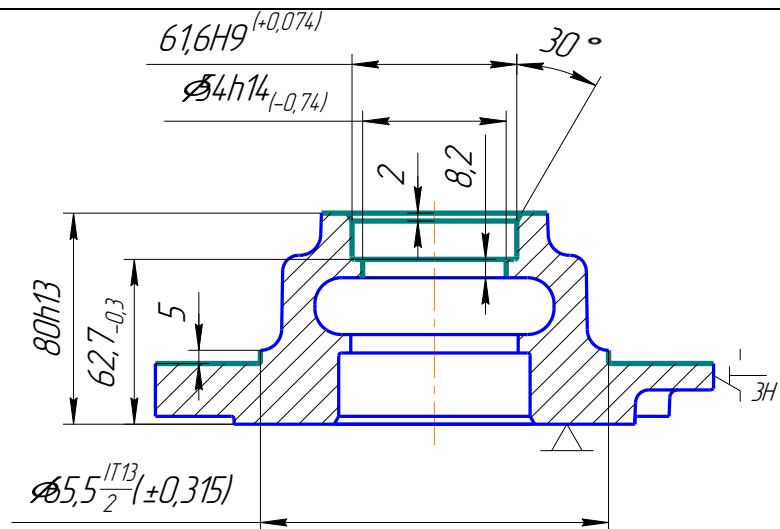
необхідні додаткові поверхні так, як необхідно точніше розмістити вуха фланця для правильного розташування отвору $\varnothing 18 \pm 0,035$ на 010 операції, а на операції 015 вимагається правильно розмістити різьбові отвори відносно таких же отворів з іншого боку.

Для того, щоб забезпечити точність обробки запропоновано наступні схеми базування деталі.

Таблиця 2.1. Схеми базування деталі

Номер і опис операції		Схеми базування
Операція 005		
Токарна	Установ 1.	
Базування за не	обробленні поверхні	
(оброблених пов. немає). З упором в торець найбільшого діаметру для підвищення точності базування, з порушенням принципу єдності баз		
Операція 005		
Токарна	Установ 2.	

Базування за обробленні поверхні, найбільший діаметр з упором в торець. Принцип єдності баз дотримується.



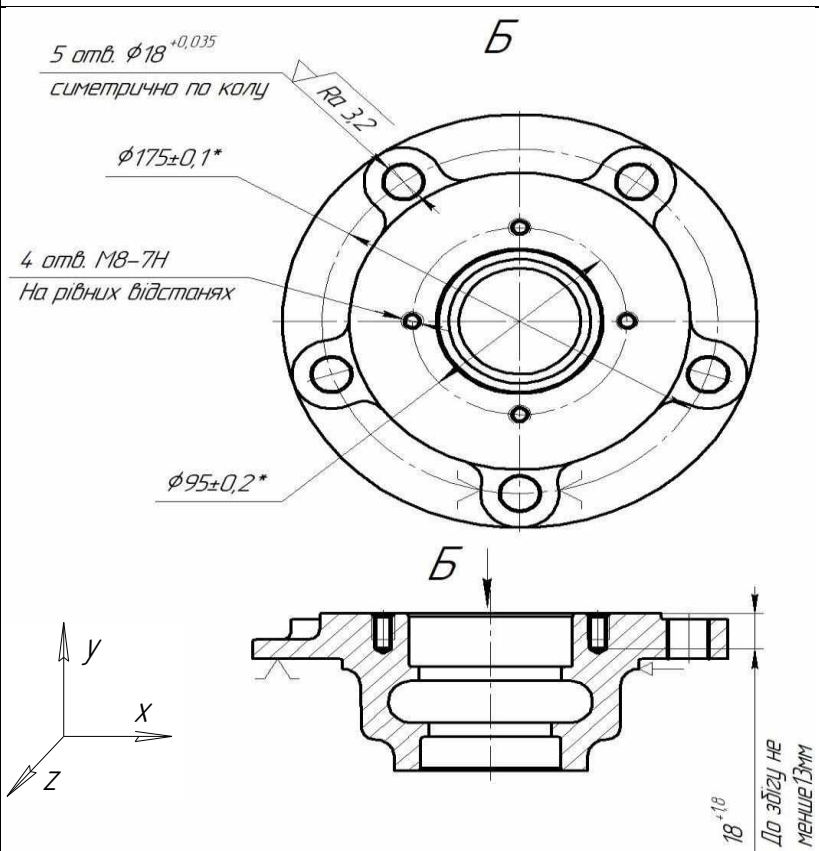
Номер і опис операції

Схеми базування

Операція 010

Агрегатна

Установка деталі в плоскості X-Z відбувається по торцю більшого діаметру. Кутове положення вух фланця по осі у фіксується відкидною планкою. Затиск відбувається за діаметр Ø131.

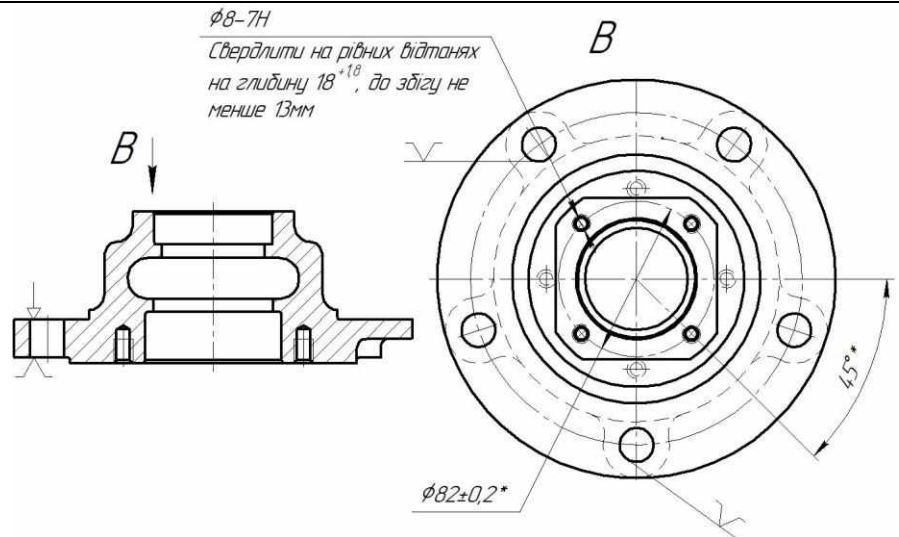


Операція 015

Агрегатна

Базування на другій агрегатній операції відбуваються по двох

настановних штифтах. Це дозволяє із задовільною точністю встановити деталь відносно загальної осі і різьбових отворів з протилежного торця деталі.



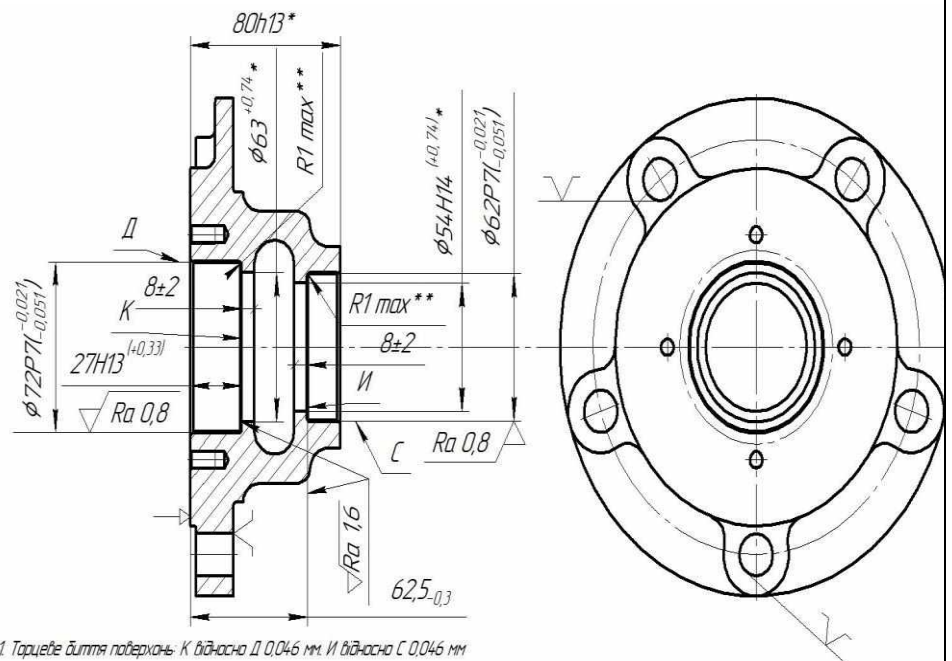
Номер і опис операції

Схеми базування

Операція 020

Алмазно-розточувальна

Базування на алмазно-розточувальній операції відбувається по двох настановних штифтах. Це дозволяє із задовільною точністю встановити деталь відносно загальної осі і перешкоджає її прокручуванню під



1. Торцеве біття поверхонь К відносно Д 0,046 мм. ІІ відносно С 0,046 мм
2. Допуск невідповідності діаметрів С і Д в поперечному і поздовжньому перерізах 0,015 мм
3. Взаємне біття поверхонь С і Д допускається не більше 0,02 мм
4. * Розміри для довідки
5. ** Розмір забезпечити інструментом

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата
----	-----	---------	--------	------

КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ

Арк

час обробки	
-------------	--

При обробці цієї деталі, із-за невеликого числа великих і точних поверхонь, не може бути альтернативних схем базування або ці схеми базування не здатні забезпечити точність обробки або ж застосування інших схем базування приведе до подовження процесу обробки деталі і економічно недоцільні.

2.4. Розрахунок міжопераційних і загальних припусків, міжопераційних розмірів і допусків

Розрахунок припусків здійснений табличним методом відповідно до [3]. Загальні припуски визначають як суму проміжних припусків на обробку.

Зводимо усі розрахунки в таблицю.

Таблиця 2.2. Припуски на механічну обробку і міжопераційні розміри

Найменування операції	Розрахункові величини			Запис розміру
	Припуск	Отриманий розмір	Допуск	
1	2	3	4	5
<u>1.Ступінь Ø131 (УТ13/2)</u>				
а) чорнове точіння	2,5	131	УТ13	131 УТ13
б) заготовка		133,5	±1	133,5 ±1
<u>2.Ступінь Ø210</u>				

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

а) чорнове точіння	2,8	210		210	
б) заготовка		212,8	±1,2	212,8	±1,2
<u>3.Ступінь Ø72P7</u>					
а) тонке розточування	0,4	72	P7	72	P7
б) чистове розточування	1	71,6	+0,074	72,6	+0,074
в) чорнове розточування	2	70,6	+0,19	70,6	+0,19
б) заготовка		68,6	±1	68,6	±1
<u>4.Ступінь Ø63 + 0,74</u>					
в) чорнове точіння	2	63	+0,74	63	+0,74
г) заготовка		61	±1	61	±1
<u>5.Ступінь Ø62P7</u>					
а) тонке розточування	0,4	62	P7	62	P7
б) чистове розточування	1	61,6	+0,074	62,6	+0,074
в) чорнове розточування	2	60,6	+0,19	60,6	+0,19
		58,6	±1	58,6	±1
<u>6.Ступінь Ø54H14</u>					
в) чорнове точіння	2	54	H14	54	H14
г) заготівля		52	±1	52	±1
<u>7.Ступінь 80h13</u>					
а) підрізування торці чистове	1+1,3=2,3	80	h13	80	h13
б) підрізування торця чорнове	1,8+2=3,8	82,3	-0,23	82,3	-0,23
в) заготівля		86,1	±1	86,1	±1
<u>8.Ступінь 20h14</u>					
а) підрізування торця чорнове	1,5+1,5=3	20	h14	20	h14

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

б) заготівля		23	±0,6	23	±0,6
9.Ступінь 10					
а) підрізування торця чорнове	1,5	10		10	
б) заготовка		11,5	±0,5	11,5	±0,5

2.5 Обґрунтування вибору устаткування

При виборі устаткування застосовують системний підхід [18] з можливістю забезпечити відповідне формоутворення, виконання технічних вимог, що пред'являються до деталі відносно точності форм, розташування і шорсткості поверхонь [19-21]. Здійснюється статистична оцінка роботи органів устаткування [22-30] та те, як це вплине на точність обробки. У рамках певного типу устаткування вибір робиться по головному параметру, що найбільшою мірою виявляє його функціональне значення і технічні можливості. Додатково при виборі обладнання враховуються наступні чинники:

- відповідність продуктивності верстата об'єму і типу виробництва;
- можливість використання верстата по потужності;
- мінімальна верстатоемність і собівартість обробки;
- реальна можливість придбання верстата.

Враховуючи масовий тип виробництва і те, що оброблювана деталь відноситься до класу фланців, вибираємо відповідні спеціалізовані верстати напівавтомати для обробки валів.

Підготовка технологічних баз - токарна обробка на токарному верстаті з ЧПК. Шість переходів виконуються за два установа, що дозволяє отримувати високу геометричну точність розташування поверхонь один відносно одного.

Обробку тринадцяти отворів із заданою точністю і продуктивністю можна зробити тільки на агрегатних верстатах.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Остаточну обробку отворів під підшипники (поверхні З, Д, І і К) можна зробити шліфуванням або розточуванням. До цих отворів пред'явлена вимога, радіальне биття поверхонь З і Д не більше 0,08, для виконання цієї вимоги найпростіше здійснити одночасну обробку обох отворів, яку неможливо виконати шліфуванням. Для обробки отворів вибираємо алмазно-розточний верстат.

Для видалення задирок і гострих кромek не можна застосувати електрохім-зачисний верстат, оскільки матеріал деталі - чавун. Видалення задирок здійснимо напилком на верстаку.

Деталь оброблена і перш ніж потрапити на стіл контролера повинна пройти промивання. У масовому виробництві деталь (якщо вона не входить за межі габаритів, дозволяє її конструкція і до неї не пред'явлені особливі вимоги) промивається в ОСМ- 1.

Контроль робиться на столі контролера.

Таблиця 2.3. Характеристика устаткування

Номер операції	Найменування операції	Модель устаткування	Рівень автоматизації	Габаритні розміри
005	Токарна	16K20Ф3	напівавтомат	3000×2250
010	Агрегатна	Спец-верстат	напівавтомат	3525×2975
015	Агрегатна	Спец-верстат	напівавтомат	3500×2500
020	Алмазно - розточувальна	ОС-4555	напівавтомат	2000×1500
025	Слюсарна	Верстак	---	1500×1000
030	Промивочна	ОСМ-1	напівавтомат	2500×1000

Коефіцієнт застосування верстатів напівавтоматів K_{na} рівний:

$$K_{na} = \frac{C_{na}}{C_{заг}} = \frac{5}{6} = 0,83$$

де C_{na} – кількість верстатів напівавтоматів

$C_{заг}$ – загальна кількість верстатів

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

2.6. Вибір режимів різання для кожної операції табличним методом

Початкові даними для виборів режимів різання є: дані про деталь, що виготовляється, і її заготовку, дані про вживаний інструмент і устаткування. Вибраний режим різання, скоректований за паспортними даними верстата, перевіряється по потужності електродвигуна. Потужність, потрібна на різання, має бути менше ефективної потужності верстата. Сучасні дослідження режимів різання враховують стохастичний аспект, зокрема стохастичність величини подачі [31-33], конструктивні особливості різальних інструментів [34-37], а також дослідження спрямовані на оцінювання жорсткості верстатів [38-42].

Розрахунок режимів різання на операцію 005 Токарна

При розрахунку швидкості різання використовуємо [43-45]. Вибір швидкості різання відбувається в залежність від глибини різання і подання. Коригування швидкості різання відбувається залежно від стан поверхні (по кірці або без кірки) і матеріалу різального інструменту (BK2, BK8).

Таблиця 2.4. Коефіцієнти стану заготовки та матеріалу різальної частини

	Без кірки	З кіркою
Стан поверхні	1	0,8
	BK8	BK2
Матеріал різальної частини	0,83	1,2

Знаючи швидкість різання і діаметр обробки, обчислюємо оберти шпинделя [43].

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.2)$$

де V - розрахована швидкість різання

π - 3,14

D - діаметр обробки

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Отримані оберти звіряємо з оборотами в паспорті верстата.

Знаючи точне число оборотів шпинделя, уточняємо швидкість різання.

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.3)$$

Розрахунок машинного часу проводимо за формулою:

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S} \quad (2.4)$$

де L – довжина робочого ходу

S - подача

Лімітуючий перехід за часом обробка -- розточування центрального отвору на позиції III

Різальний інструмент: 16×25 BK8

- | | |
|--|---|
| 1. Глибина різання | $t=1\text{мм.}$ |
| 2. Подача | $S_o=0,2 \text{ мм/об.}$ |
| 3. Визначення частоти обертання шпинделя | $n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 98}{3.14 \cdot 210} = 148,2 \text{ об/хв}$ |
| 4. Швидкість різання | $V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 210 \cdot 150}{1000} = 100 \text{ м/хв}$ |
| 5. Визначення основного часу | $T_o = \frac{L_{PX}}{S_o \cdot n} = \frac{33}{0,2 \cdot 150} = 1,1 \text{ хв.}$ |

Призначення режимів різання на операцію: 020 Алмазно розточувальну.
Верстат- алмазно-розточувальний ОС- 4555. Різальний інструмент різець BK2.

- | | |
|----------------------|---------------------------|
| 1. Глибина різання | $t=0,2\text{мм.}$ |
| 2. Подача | $S_o=0,05 \text{ мм/об.}$ |
| 3. Швидкість різання | $V=116.4 \text{ м/хв}$ |

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

4. Визначення частоти обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 116,4}{3,14 \cdot 72} = 525 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

5. Визначення основного часу

$$T_o = \frac{L_{PX}}{S_o \cdot n} = \frac{30}{0,05 \cdot 525} = 1,16 \text{хв.}$$

2.7. Розрахунок норм часу

Технічні норми часу в умовах масового виробництва встановлюються розрахунково-аналітичним методом. При серійному виробництві розраховується норма штучного часу $T_{шт}$, додатковий підготовчо-завершальний час $T_{п.з}$ і штучно-калькуляційний час $T_{шк}$.

Норма штучного часу розраховується по спрощеній наступній формулі [45] :

$$T_{шт} = 1,1 (T_e + T_v) \quad (2.5)$$

T_e - основний технологічний час, хв.; витрачається на безпосереднє здійснення технологічного процесу, тобто на зміну форми, розмірів і якості оброблюваної поверхні деталі, основний час для нормованої операції розрахований в розділі "Розрахунок режимів різання"

T_v - допоміжний час, хв.; витрачається робітникам на дії, що забезпечують виконання основної роботи. При розрахунку норми штучного часу враховується тільки частина допоміжного часу, що не перекривається машинним часом

При визначенні норми допоміжного часу підсумовують наступні його елементи [45]:

$$T_v = t_{yc} + t_{уп} + t_{oc} + t_{зм} \quad (2.6)$$

t_{yc} - Час на установку і зняття деталі, хв.

$t_{уп}$ - Час на прийоми управління верстатом, хв.

t_{oc} - Час на очищення пристосування від стружки, хв.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$t_{зм}$ - Час на вимір деталі, хв.

Оперативний час

$$T_{опр} = T_e T_v \quad (2.7)$$

$T_{тех}$ - часу на технічне обслуговування робочого місця, яке затрачається на зміну різального інструменту, на регулювання і під наладку верстата під час роботи і на прибирання стружки на робочому місці під час роботи. Визначається у відсотках від оперативного часу $T_{оп}$. (при одному інструменті)

$T_{орг}$ - часу на організаційне обслуговування робочого місця. Визначається у відсотках від оперативного часу $T_{оп}$.

$T_{від}$ - час перерв на відпочинок і особисті потреби, хв.

Час перерв на відпочинок і особисті потреби залежить від ваги оброблюваної деталі, і визначається у відсотках від оперативного часу $T_{оп}$.

Нормування 005 операцій Токарна

T_o 1,1 хв. (лімітуючий час на операції)

$T_{тех}$ часу на технічне обслуговування верстата хв.

$$T_{ТЕХ} = \frac{T_o \cdot T_{зм}}{T_{СТ}} = \frac{1,1 \cdot 2 \cdot 17}{120} = 0,32 \text{ хв}$$

$T_{зм}$ Час на зміну інструменту, хв.

$T_{ст}$ Стійкість інструменту

$T_{орг}$ Час на організаційне обслуговування

$$T_{орг} = 1,7\% T_{опр} = 0,017 \cdot 1,1 = 0,02 \text{ хв}$$

$T_{отд}$ час перерв на відпочинок і особисті потреби робітника

$$T_{отд} = 6\% T_{опр} = 6 \cdot 1,1 = 0,07 \text{ хв}$$

$$T_{шт} = 1,1 + 0,32 + 0,02 + 0,07 = 1,51 \text{ хв.}$$

Нормування 020 операції Алмазно-розточувальна

T_o 0,97 хв. (основний час на операції)

T_v $t_{yc} = 0,25 \text{ хв}$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$t_{\text{уп}} = 0,02 + 0,03 + 0,02 = 0,07 \text{ хв}$$

$$t_{\text{изм}} = 0,08 \text{ хв}$$

$$T_{\text{в}} = 0,25 + 0,07 + 0,08 = 0,4$$

$$T_{\text{шт}} = 1,1(0,4 + 0,97) = 1,72 \text{ хв.}$$

Зводимо усі норми часу в таблицю.

Таблиця 2.5. Норми часу

Найменування операції		То	Тв	Тшт	Ср	Спр	Кзо
		хв	хв	хв		од	
005	Токарна	1,1	-	1,51	0,82	1	0,82
010	Агрегатна	1,11	-	1,73	0,93	1	0,93
015	Агрегатна	0,72	-	1,12	0,6	1	0,6
020	Алмазно-розточувальна	0,97	0,61	1,72	0,93	1	0,93
025	Слюсарна	-	-	1,5	0,8	1	0,8
030	Промивна	-	-	1,5	0,8	1	0,8
035	Контроль прийомний	-	-	1,5	0,8	1	0,8
РАЗОМ:				10,58		7	

Середній коефіцієнт завантаження До з.с.=0,811

Оформляємо технологічну документацію [46]

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ		Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата			

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Кінематичний розрахунок

Зробимо вибір електродвигуна виходячи з технологічних можливостей проєктованого верстата.

Найбільший діаметр обробки деталей $d_{\max}=400$ мм.

Найменший діаметр обробки деталей $d_{\min}=5$ мм.

Граничні частоти обертання шпинделя :

$$n_{\text{шп. max}} = \frac{1000V_{\max}}{\pi d_{\min}} \quad - \text{ для обробки легкооброблюваних матеріалів} \quad (3.1)$$

$$n_{\text{шп. min}} = \frac{1000V_{\min}}{\pi d_{\max}} \quad - \text{ для обробки важкооброблюваних матеріалів} \quad (3.2)$$

В якості важкооброблюваних матеріалів вибираємо високоміцну сталь ($\sigma_{\text{т}} \geq 1600$ МПа) 43ХСНМВФА, тип термообробки - гартування, $\sigma_{\text{в}}=2000$ МПа

Швидкість різання при нарізуванні різцем метричної різі :

$$V=8,5 \text{ м/хв}$$

В якості легкооброблюваних матеріалів вибираємо алюмінієвий сплав Д16, Д16Т, тип термообробки - гартування старінням, $\sigma_{\text{в}}=360$ МПа.

Швидкість різання при точінні алюмінієвих сплавів :

$$V=250 \text{ м/хв.}$$

Обчислюємо граничні частоти обертання шпинделя :

$$n_{\text{шп. max}} = \frac{1000V_{\max}}{\pi d_{\min}} = \frac{1000 \times 250}{\pi \times 5} = 15923 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_{\text{шп. min}} = \frac{1000V_{\min}}{\pi d_{\max}} = \frac{1000 \times 8,5}{\pi \times 400} = 6,3 \text{ хв}^{-1}$$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ			
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Конструкторський розділ			
Розроб.	Тарашук В.Ю.							
Перевір.	Крупа В.В.							
Реценз.								
Н. контр.	Кобельник В.Р							
Зав. каф.	Крупа В.В.				ТНТУ, ФМТ, МВЗ-41			

Частота обертання $n_{\max}=15923 \text{ хв.}^{-1}$ не можлива, оскільки ряд технологічних критеріїв не дозволить безпечно працювати на верстаті. При високих частотах значно збільшуються величини виникаючого дисбалансу, вібрацій. Трикулачковий патрон не дасть надійної установки деталі. Шпиндельні підшипники не витримають таких високих частот.

Отримані значення частот обертання можуть бути реалізовані лише теоретично можливою стійкістю різального інструменту.

Приймаємо частоти обертання приводу головного руху :

$$n_{\max}=2500 \text{ хв.}^{-1}, n_{\min}=6,3 \text{ хв.}^{-1}$$

Швидкості різання :

$$V_{\max}=250 \text{ хв.}^{-1}, V_{\min}=8,5 \text{ хв.}^{-1}$$

Проектуємо привід головного руху для отримання на шпинделі наступних характеристик :

$$n_{\text{шп.}\max}=2500 \text{ хв.}^{-1}, n_{\text{шп.}\min}=6,3 \text{ хв.}^{-1}.$$

У токарно-гвинторізному верстаті з ЧПУ встановлюємо привід головного руху з безступінчастим регулюванням [47]. Основними перевагами такого приводу є:

- підвищення продуктивності обробки за рахунок точного налаштування оптимальної швидкості різання;
- можливість плавної зміни швидкості різання під час робочого циклу верстата;
- простота автоматизації процесу перемикання швидкостей;
- значне спрощення конструкції і зниження металоємності коробки швидкостей порівняно із ступінчастим приводом.

Для безступінчастого регулювання швидкості в основному застосовують регульовані електродвигуни:

1. Електродвигуни постійного струму з системою тиристора управління;
2. Асинхронні електродвигуни, регульовані за рахунок зміни частоти струму.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Вибираємо асинхронний електродвигун з короткозамкнутим ротором 1PH7 131 NF фірми SIEMENS, технічні характеристики якого :

$P_{ном}=11 \text{ кВт}$

$n_{ном}=500 \text{ хв.}^{-1}$

$n_{max}=6700 \text{ хв.}^{-1}$

$M_{кр.ном.}=70 \text{ Н*м}$

Розрахуємо його діапазон регулювання при постійній потужності:

$$R_D = \frac{n_{D,max}}{n_{D,ном}} \quad (3.3)$$

$n_{D,ном}$ і $n_{D,max}$ - відповідно номінальна і максимальна частоти обертання електродвигуна.

$$R_D = \frac{6700}{500} \approx 13$$

$R_D=13$ (тобто $R_D>8$);

2) Вичислимо діапазон регулювання коробки швидкостей :

$$R_k = \frac{R_n}{R_D} \quad (3.4)$$

Відповідно до формули (3.4) діапазон регулювання приводу визначається із залежності :

$$R_n = \frac{n_{max}}{n_{min}} \quad - \text{загальний діапазон регулювання приводу.} \quad (3.5)$$

Підставивши в залежність (3.5) дані необхідних частот обертання отримаємо :

$$R_k = \frac{400}{13} = 30.8$$

Для цього верстата застосовуватимемо привід з комбінованим регулюванням, для якого до умовної розрахункової частоти n_p забезпечується регулювання з постійним моментом в діапазоні R_m , а вище

- регулювання з постійною потужністю в діапазоні R_p .

$$n_p = n * \sqrt[4]{R_p} \text{ хв.}^{-1} \quad (3.5) \quad \text{або} \quad n_p = n * \sqrt[3]{R_p} \text{ хв.}^{-1} \quad (3.6)$$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$n_p = 6.3 * \sqrt[4]{400} = 28 \text{ хв.}^{-1}$$

$$n_p = 6.3 * \sqrt[3]{400} = 46 \text{ хв.}^{-1}$$

¹Приймаєм $n_p=37 \text{ хв.}^{-1}$

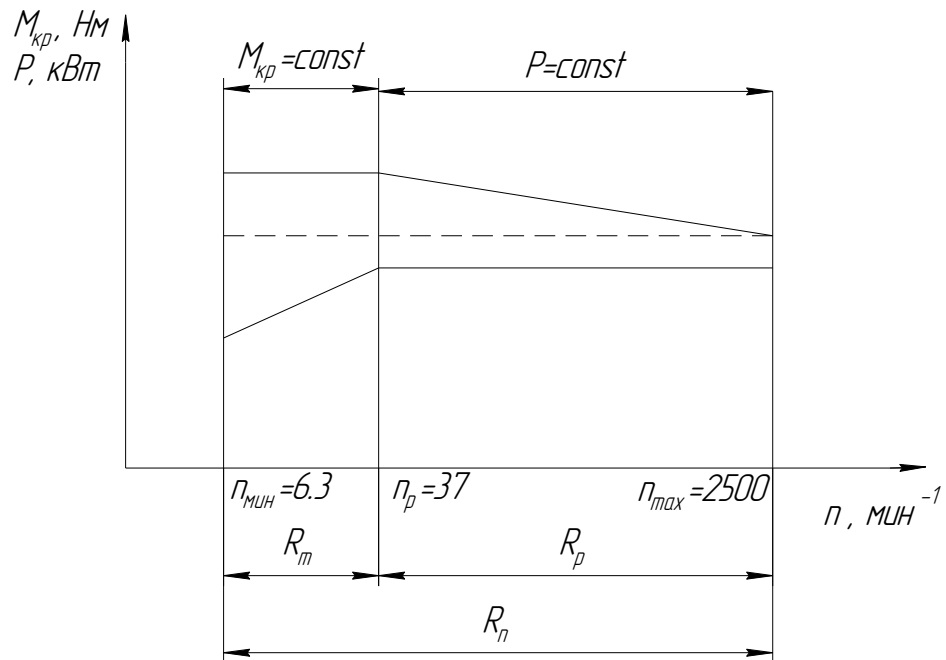


Рис. 3.1. Діаграма потужності та крутного моменту двигуна

Розрахуємо число m груп передач коробки швидкостей [47] :

$$m = \frac{\lg R_k}{\lg 8} \quad (3.7)$$

$$m = \frac{1.5}{0.8} = 1.875$$

Значення m можна округлити до 2.

4) Набуваємо стандартного значення знаменника $\phi=1,26$ і визначаємо [47]:

$$s = \frac{\lg R_d}{\lg \phi} \quad (3.8)$$

Підставивши дані у (3.8) будемо мати :

$$s = \frac{1.1}{0.1} = 11$$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Визначимо число інтервалів $\lg \phi$, які перетинають на графіці частот обертання промені, що зображують передачі групи, а саме:

$$K_m = \frac{\lg R_k}{\lg \phi} \quad (3.9)$$

$$K_m = \frac{\lg 5.6}{\lg 1.26} = 7.4$$

Проте при $\phi=1.26$, число інтервалів $\lg \phi$, які перетинають на графіці частот обертання промені, що зображують передачі групи, не може перевищувати 9 (для виконання умови $\frac{1}{4} \leq u \leq 2$). Тому приймаємо остаточно $K_m = 9$. Три інтервали, що залишилися, можна отримати лише в результаті регулювання електродвигуна в зоні постійного моменту, що крутить.

6) Фактичних діапазонів регулювання коробки швидкостей і приводу в цілому [47]:

$$R_{\phi.k.} = \phi^{K_m} \quad (3.10)$$

$$R_{\phi.n.} = R_d * R_{\phi.k.} \quad (3.11)$$

Фактичні діапазони регулювання : $R_{\phi.k.} = 1.269 * 5.5 = 31$; $R_{\phi.n.} = 402$.

7) Визначимо число K_1 інтервалів між максимальною частотою обертання шпинделя і максимальною частотою обертання електродвигуна, а також число K_2 інтервалів між максимальною і мінімальною частотами обертання шпинделя [47] :

$$K_1 = \frac{\lg(n_{\epsilon d.max} / n_{wn.max})}{\lg \phi} \quad (3.12)$$

$$K_2 = \frac{\lg R_{\phi.n.}}{\lg \phi} \quad (3.13)$$

$K_1 = 4.3$ і $K_2 = 26$. Приймаємо $K_1 = 4$ і $K_2 = 26$, тоді $K_{общ.} = K_1 K_2 = 30$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

По нормалі Н11⁻¹ "Нормальні ряди чисел у верстатобудуванні" вибираємо стандартний ряд частот обертання (хв.⁻¹): 8000;6300;5000;4000;3150;2500;2000;1600;1250;1000;800;630;500;400;315;250;200;160;125;100;80;63;50;40;31,5;25;20;16;10;8;6,3 і будуємо графік частот обертання.

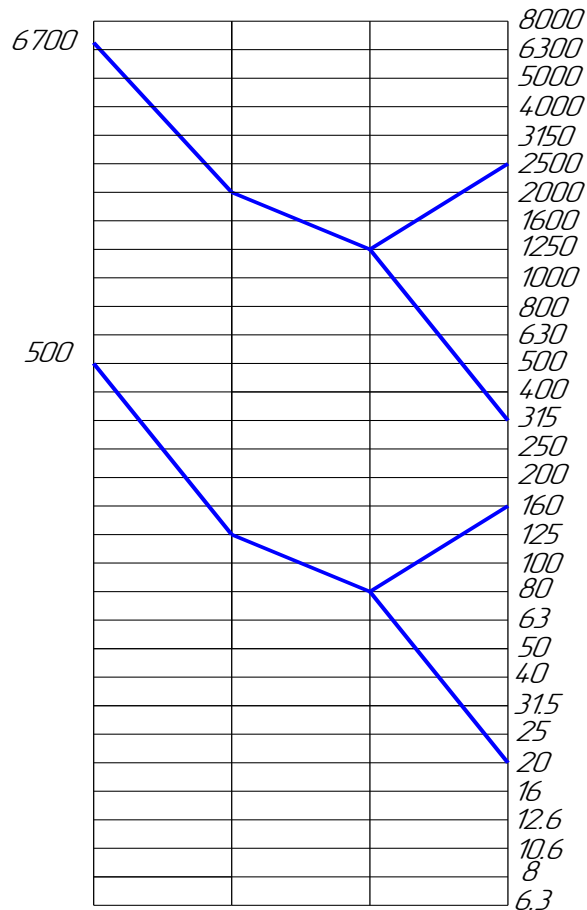


Рис. 3.2. Графік частот обертання коробки швидкостей

3.2. Розрахунок поліклинової пасової передачі.

Поликлинової ремінь включає декілька робочих поверхонь трикутної форми, що дозволяє рівномірно розподіляти навантаження між ними і забезпечити постійність розрахункових діаметрів шківів. У цьому їх основну перевагу перед клиновими пасами. Невелика висота і кордшнур з хімічного волокна дозволяє використати їх на шківках малого діаметру з передатним числом до 8 і при швидкості до 40 м/с. За рівних умов роботи ця передача компактніша, ніж з клиновими пасами [48].

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Визначимо переріз паса.

Визначуваний момент на швидкохідному валу

$$M = 9740 \frac{N}{n_1} [\text{Нм}],$$

де N - потужність, що передається пасом, кВт; n_1 - мінімальна частота обертання швидкохідного валу [48]., хв.^{-1} .

$$M = 9740 \frac{N}{1600} = 134 \text{ Нм.}$$

Отже, переріз паса Л.

Його параметри:

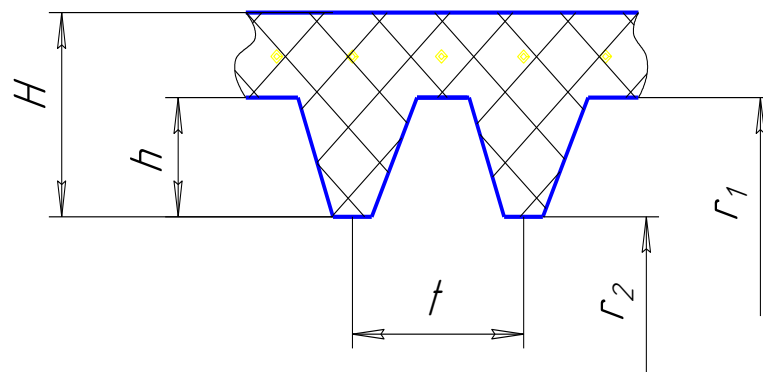


Рис. 3.3 Пас полікліновий

$H=9,5$ мм;

$t=4,8$ мм;

$h=4,85$ мм;

$r_1=0,2$ мм;

$r_2=0,7$ мм.

Визначимо діаметри шківів [48]:

$$d_2 = i \cdot d_1 \quad (3.14)$$

Нехай діаметр меншого шківа $d_1=200$ мм.

Діаметр веденого $d_2 = 1 \cdot 200 = 200$ мм.

Найближче значення із стандартного ряду $d_2=200$ мм.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Уточнюємо передатне значення з урахуванням відносного ковзання
 $S=0,01$. [48]

$$i = \frac{d_2}{d_1 \cdot (1-S)} \quad (3.15)$$

$$i = \frac{200}{200 \cdot (1-0,01)} = 1,02.$$

Визначаємо міжосьову відстань: [48]

$$a_{\min} = 0,55(d_1 + d_2) + H \text{ мм}; \quad (3.16)$$

$$a_{\min} = 0,55(200 + 200) + 9,5 = 230 \text{ мм};$$

$$a_{\max} = d_1 + d_2 \text{ мм}. \quad (3.17)$$

$$a_{\max} = 200 + 200 = 400 \text{ мм}.$$

Приймаємо проміжне значення $a = 320 \text{ мм}$.

Визначаємо розрахункову довжину паса :

$$L_p = 2 \cdot a + 1,57(d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 \cdot a} \quad (3.18)$$

$$L_p = 2 \cdot 320 + 1,57(200 + 200) + \frac{(200 - 200)^2}{4 \cdot 320} = 1268 \text{ мм}.$$

Найближче стандартне значення $L_p = 1250 \text{ мм}$.

Уточнюємо міжосьову відстань [48]:

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$a = 0,25 * [(Lp - \omega) + \sqrt{(Lp - \omega)^2 - 8y}] \quad (3.19)$$

$$a = 0,25 * [(1250 - 628) + \sqrt{(1250 - 628)^2}] = 310\text{мм}$$

$$\omega = 0,5 * \pi(d_1 + d_2) \quad (3.20)$$

$$\omega = 0,5 * 3,14 * (200 + 200) = 628\text{мм.}$$

$$y = \left(\frac{d_2 - d_1}{2}\right)^2 \quad (3.21)$$

$$y = \left(\frac{200 - 200}{2}\right)^2 = 0\text{мм.}$$

де ω - параметри нейтрального шару.

Визначаємо кут обхвату малого шківa d_1 :

$$\alpha_1 = 180 - 57 \frac{d_2 - d_1}{2} \quad (3.22)$$

$$\alpha_1 = 180 - 57 \frac{200 - 200}{2} = 180.$$

Визначаємо швидкість паса [48]:

$$v = \frac{\pi d_1 n_1}{60000} \quad (3.23)$$

$$v = \frac{3.14 * 200 * 1600}{60000} = 16 \text{ м/с.}$$

Визначаємо коефіцієнти [48]:

кут обхвату $C_\alpha = 0,97$;

режим роботи $C_p = 0,73$;

швидкості :

$$C_v = 1,04 - 0,0004 * v^2 \quad (3.24)$$

$$C_v = 1,04 - 0,0004 * 16,5^2 = 0,93.$$

Визначаємо найменшу міжосьову відстань, необхідну для надягання паса

$$a_{\min} = a - 0,01L; \quad (3.25)$$

$$a_{\min} = 320 - 0,01 \cdot 1250 = 307.5 \text{ мм.}$$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Визначаємо найбільшу міжосьову відстань, необхідну для витягу паса [48]

$$a_{\max} = a + 0,02L ; \quad (3.26)$$

$$a_{\max} = 320 + 0,02 \cdot 1250 = 345 \text{ мм.}$$

Приймаємо початкову довжину $L_0 = 1600$ мм і відносну довжину $L/L_0 = 1,25$. Приймаємо коефіцієнт довжини паса [48]:

$$C_L = 0,9 \cdot 0,1 \cdot L/L_0 = 1,025. \quad (3.27)$$

Визначаємо число ребер поліклинового паса :

$$z = 10F/[F]_{10}; \quad (3.28)$$

де:

$[F]_{10} = (F_{10} \cdot C_\alpha \cdot C_L + \Delta Fi) \cdot C_p$, де F_{10} (1.29) - окружна сила, що допускається, для передачі поліклиновим пасом з десятьма ребрами при передаточному відношенні $i=1$, $\alpha_1 = 180^\circ$, еталонній довжині L_0 , роботі в одну зміну з постійним навантаженням.

$$\Delta Fi = 2\Delta Ti/d_1 = 2 \cdot 0/0,200 = 0 \quad (1.30) \text{ - доданок, що враховує вплив передаточного відношення.}$$

$$\Delta Ti = 0 \text{ Нм.}$$

$$[F]_{10} = (1190 \cdot 0,97 \cdot 0,98) \cdot 0,73 = 825$$

Визначаємо початкову потужність

$$N_0 = 11 \text{ кВт.}$$

Визначаємо поправку до моменту на передатне число

$$\Delta M = 4 \text{ кг} \cdot \text{м.}$$

Визначаємо поправку до потужності [48]

$$\Delta N = 0,001 \Delta M_{i1}; \quad (3.31)$$

$$\Delta N = 0,001 \cdot 4 \cdot 1600$$

$$\Delta N = 6,4 \text{ кВт.}$$

Визначаємо допустиму потужність $[N]$, кВт

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$[N] = (N_0 C_a C_L + \Delta N_i) C_p; \quad (3.32)$$

$$[N] = (22 \cdot 0,97 \cdot 0,98 + 6,4) 0,73 = 18 \text{ кВт.}$$

Визначаємо число ребер ремня [48]

$$z = \frac{10N}{[N]} \quad (3.33)$$

$$z = \frac{10 \cdot 22}{18} = 12,2 \text{ кВт.}$$

Приймаємо кількість ребер $z=13$

Номінальна потужність, що передається пасом [48]:

$$N_{\text{шп}} = N \cdot \eta \quad (3.34)$$

$N_{\text{шп}} = 22 \cdot 0,859 = 19 \text{ кВт}$, де η - к.к.д. механізму від валу ремінної передачі до шпинделя.

Визначаємо ширину шківа

$$B = (z - 1)s + 2 \cdot f, \quad (3.35)$$

де s – крок ребер, мм; f – довжина вільної частини шківа, мм.

$$B = (13 - 1)4,8 + 2 \cdot 5,5 = 68,6 \text{ мм.}$$

Визначаємо окружне зусилля, що передається пасом (по номінальній потужності) [48]:

$$P = \frac{102 \cdot N_H}{v} \quad (3.36)$$

$$P = \frac{1020 \cdot 22}{4,65} = 4820 \text{ Н, де } v=4,65 \text{ м/с – мінімальна робоча швидкість паса}$$

для цього верстата.

Натягнення гілок паса :

$$S_1 = \frac{m}{m-1} P \quad (3.37)$$

$$S_1 = \frac{m}{m-1} P = 1,38 \cdot 4820 = 6650 \text{ Н;}$$

$$S_2 = \frac{S_1}{m} \quad (3.38)$$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$S_2 = \frac{6650}{3,59} = 1900 \text{ Н,}$$

Зусилля, що діє на вал при роботі верстата :

$$Q = S_1 + S_2 \quad (3.39)$$

$$Q = 6650 + 1900 = 8550 \text{ Н.}$$

Визначимо робочий ресурс розрахованої поліклинової передачі :

$$H_0 = N_{\text{оц}} \frac{L_p}{60 \pi d_1 n_1} \quad (3.39)$$

$$H_0 = 5,7 * 10^6 \frac{1250 * 60}{60 * 3,14 * 200 * 1600} \approx 19531 \text{ год.}$$

3.3 Силовий розрахунок елементів шпиндельної бабки

При визначенні чисел зубів необхідно не лише отримати це передаточне відношення $i_1 = z_1 : z_2$, але і забезпечити постійну суму зубів в межах 2-х валових передач $z = z_1 z_2 = \text{const.}$

Числа зубів шестерень вибираємо по передаточному відношенню [47]

$$\begin{cases} z_1/z_2 = 0,625 \\ z_1 + z_2 = 86 \end{cases}$$

Звідси $z_1 = 33$, $z_2 = 53$.

$$\begin{cases} z_3/z_4 = 2 \\ z_3 + z_4 = 86 \end{cases}$$

Звідси $z_2 = 58$, $z_3 = 28$.

$$\begin{cases} z_5/z_6 = 0,25 \\ z_5 + z_6 = 86 \end{cases}$$

Звідси $z_2 = 17$, $z_3 = 69$

Визначення модуля зубчастих коліс :

Крутний момент, на валу електродвигуна приводу визначається по формулах [49]:

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$T_d = \frac{N_H \times 10^3}{\omega}, \quad (\text{Н} \times \text{м}); \quad (3.40)$$

$$T_d = 9550 \times \frac{N_H}{n_H}, \quad (\text{Н} \times \text{м}), \quad (3.41)$$

Де N_H - номінальна потужність електродвигуна приводу, кВт;

ω - кутова швидкість валу електродвигуна, рад/с;

n_H - номінальна частота обертання, задана в технічній характеристиці електродвигуна.

$$T_d = 9550 \times \frac{11}{1500} = 70 (\text{Н} \times \text{м})$$

Крутний момент, на першому валу приводу :

$$T' = 9550 \times \frac{N_H}{n_1} \times \eta_1, \text{Н} \times \text{м} \quad (3.42)$$

n_1 - частота обертання першого валу приводу; η_1 - коефіцієнт корисної дії передач від електродвигуна до першого валу, включаючи коефіцієнт корисної дії ремінної передачі

($\eta=0,94\dots0,96$) і підшипників кочення першого валу ($\eta=0,99$).

$$\eta_1 = 0,95 \times 0,99 = 0,9405$$

$$T' = 9550 \times \frac{11}{2000} \times 0,9405 = 49,4 (\text{Н} \times \text{м})$$

При визначенні крутного моменту, на II валу приймаємо розрахункову частоту обертання валу, яка відповідає верхньому значенню $\frac{1}{3} \times D$. Т. е. $n_2 = 80$ хв.⁻¹; $\eta_2 = 0,9405 \times 0,98 = 0,9217$

Для полегшення розрахунків використовуємо пакет MathCAD [50]

Тоді крутний момент на II валу:

$$T'' = 9550 \times \frac{11}{250} \times 0,9217 = 387,3 (\text{Н} \times \text{м})$$

При розрахунку зубчастих передач верстатів модулі визначаються не лише виходячи з міцності зубів на вигин $m_{зг}$, але з втоми поверхневих шарів (по контактній напрузі) $m_{пов.}$

Для сталевих прямозубих коліс модулі визначаються по формулах [48-49]:

$$m_{пов.} = \frac{100}{z} \times \sqrt[3]{\left(\left(\frac{68}{[\sigma_{пов.}]} \right)^2 \times \frac{i \pm 1}{i \times \psi_0} \times \frac{k \times N}{n} \right)}, \text{мм} \quad (3.43)$$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$m_{зг} = 100 \times \sqrt{\left(\frac{19,5}{z \times \psi \times y \times [\sigma_{изг}]}\right) \times \frac{k \times N}{n}}, \text{ мм}, \quad (3.44)$$

де z - число зубів лімітуючого колеса;

$[\sigma_{нов}], [\sigma_{зг}]$ - контактне напруження, що відповідно допускається, по втомі поверхневих шарів і напруги на вигин, МПа;

$N = N_n \cdot \eta_i$ - номінальна передавана потужність, кВт;

η_i - к.к.д. від електродвигуна до передачі, що розраховується;

n - розрахункова частота обертання меншого колеса, про/мін;

y - коефіцієнт форми зуба, при $z=20.60$, $y=0,243.0,268$;

i - передатне відношення, завжди приймаємо $i \geq 1$. Для сповільнювальних передач беремо величину, зворотну передатному відношенню зубчастої передачі [48];

$$\psi = \frac{b}{m} = 6 \dots 10 \quad (3.45)$$

, де b - ширина шестерні зуба;

$d_{ш}$ - діаметр шестерні;

$\psi_0=0,7 \dots 1,6$ - при симетричному розташуванні і жорстких валах;

$\psi_0=0,4 \dots 0,6$ - при консольно-розташованій шестерні;

k - коефіцієнт навантаження; $k = k_d \times k_k \times k_p$, где

k_d - коефіцієнт динамічної навантаження; $k_d=1,1 \dots 1,2$;

k_k - коефіцієнт концентрації навантаження; $k_k=1,2 \dots 1,4$;

k_p - коефіцієнт режиму; $k_p=1,1 \dots 1,3$.

Допустиме контактне напруження $[\sigma_{нов}]$ визначають за формулою [48]:

$$[\sigma_{нов}] = \frac{\sigma_{пов(1,2)}^0}{S_n}, \text{ МПа}, \quad (3.46)$$

Де $\sigma_{нов(1,2)}^0$ - межа контактної витривалості лімітуючої ланки зубчастої передачі (шестерні або колеса);

S_n - коефіцієнт безпеки при розрахунку зубів на контактну міцність;

Індекси: 1-для шестерні, 2-для колеса.

В якості матеріалу для зубчастих коліс приймаємо Сталь 40Х. Для неї якості термообробки використовується об'ємне гартування. При цьому твердість

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

складає HRC 45..55. $S_n=1,1$.

$$\sigma_{\text{пов}}^0 = 18 \times HRC_{\text{ср}} + 150 = 18 \times 50 + 150 = 1050(\text{МПа})$$

$$[\sigma_{\text{пов}}] = \frac{1050}{1,1} = 954,545(\text{МПа})$$

Напруження вигину, що допускається $[\sigma_{\text{виг}}]$ визначають за формулою [48]:

$$[\sigma_{\text{виг}}] = \frac{\sigma_{\text{изг}}^0}{S_u}, \text{ МПа} , \quad (3.47)$$

Де $\sigma_{\text{виг}}^0$ - границя згинальної витривалості лімітуючого ланки зубчастої передачі;

S_u - коефіцієнт безпеки при розрахунку зубів на згин, $S_u=1,75$.

$$\sigma_{\text{виг}}^0 = 500 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_{\text{зг}}] = \frac{500}{1,75} = 285,714(\text{МПа})$$

Тоді для передачі вал І-ІІ приймемо:

$$k_d=1,15, k_k=1,3, k_p=1,2$$

$$k=1,15 \times 1,3 \times 1,2=1,794$$

При розрахунку $m_{\text{нов}}$ $k=1,794$

$$k_p=1$$

$$k=1,15 \times 1,3 \times 1=1,495$$

При розрахунку $m_{\text{зг}}$ $k=1,495$

$$1. \quad i=33/53, y=0,243, \psi=6, \psi_0=0,6;$$

$$m_{\text{пов}} = \frac{100}{53} \times \sqrt[3]{\left(\left(\frac{68}{954,545}\right)^2 \times \frac{0,625+1}{0,625 \times 0,6} \times \frac{1,794 \times 7,35}{2000}\right)} = 0,18 (\text{мм})$$

$$m_{\text{изг}} = 100 \times \sqrt[3]{\left(\frac{19,5}{53 \times 6 \times 0,243 \times 285,714} \times \frac{1,795 \times 7,35}{2000}\right)} = 1,9 (\text{мм})$$

Приймаємо $m=2$ мм.

$$2. \quad i=58/28$$

$$m_{\text{пов}} = \frac{100}{28} \times \sqrt[3]{\left(\left(\frac{68}{954,545}\right)^2 \times \frac{2+1}{2 \times 0,6} \times \frac{1,794 \times 7,35}{2000}\right)} = 0,11 (\text{мм})$$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$m_{\text{виг}} = 100 \times \sqrt[3]{\left(\frac{19,5}{29 \times 6 \times 0,243 \times 285,714} \times \frac{1,795 \times 7,35}{2000}\right)} = 2.15(\text{мм})$$

Приймаємо $m=2$ мм.

$$3. \quad i=17/69$$

$$m_{\text{пов}} = \frac{100}{69} \times \sqrt[3]{\left(\left(\frac{68}{954,545}\right)^2 \times \frac{1,96+1}{1,96 \times 0,6} \times \frac{1,794 \times 7,35}{2000}\right)} = 0,12(\text{мм})$$

$$m_{\text{виг}} = 100 \times \sqrt[3]{\left(\frac{19,5}{69 \times 6 \times 0,243 \times 285,714} \times \frac{1,495 \times 7,35}{2000}\right)} = 1.7(\text{мм})$$

Приймаємо $m=2$ мм.

Визначення діаметрів зубчастих коліс [48].

1) Визначимо ділильні діаметри зубчастих коліс :

$$d_1 = m \times z_1 = 2 \times 33 = 66(\text{мм})$$

$$d_2 = m \times z_2 = 2 \times 53 = 106(\text{мм})$$

$$d_3 = m \times z_3 = 2 \times 58 = 116(\text{мм})$$

$$d_4 = m \times z_4 = 2 \times 29 = 58(\text{мм})$$

$$d_5 = m \times z_5 = 2 \times 17 = 34(\text{мм})$$

$$d_6 = m \times z_6 = 2 \times 69 = 138(\text{мм})$$

2) Визначимо діаметр кіл вершин зубів :

$$d_{a1} = d_1 + 2 \times m = 66 + 2 \times 2 = 70(\text{мм})$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \times m = 106 + 2 \times 2 = 110(\text{мм})$$

$$d_{a3} = d_3 + 2 \times m = 116 + 2 \times 2 = 120(\text{мм})$$

$$d_{a4} = d_4 + 2 \times m = 58 + 2 \times 2 = 62(\text{мм})$$

$$d_{a5} = d_5 + 2 \times m = 34 + 2 \times 2 = 38(\text{мм})$$

$$d_{a6} = d_6 + 2 \times m = 138 + 2 \times 2 = 142(\text{мм})$$

3) Визначимо відстань між осями валів :

$$a_{\omega 1} = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{66 + 106}{2} = 86(\text{мм})$$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$a_{\omega 2} = \frac{d_3 + d_4}{2} = \frac{116 + 58}{2} = 87(\text{мм})$$

$$a_{\omega 3} = \frac{d_5 + d_6}{2} = \frac{34 + 138}{2} = 87(\text{мм})$$

4) Визначимо ширину зубчастих вінців :

$$b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = b_5 = b_6 = \psi \times m = 8 \times 2 = 16(\text{мм})$$

3.4. Розрахунок валів на міцність.

При роботі валів коробки швидкостей основними навантаженнями є сили, що виникають в зубчастих передачах. У валах, що обертаються, ці сили викликають напругу, що змінюється по знакозмінному симетричному циклу. Заздалегідь розрахунок на міцність визначає діаметр валу за умовним розрахунком на чистове кручення без урахування впливу вигину [48].

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \times T}{\pi \times [\tau_{кр}]}} , \text{ мм} , \quad (3.47)$$

Де T - крутний момент на розрахунковому валу, Н*мм;

$[\tau_{кр}]$ - знижене напруження кручення, що допускається, МПа.

При попередньому розрахунку для валів з конструкційних вуглецевих сталей напругу кручення, що допускається, на вихідних ділянках приймаємо $[\tau_{кр}] = 15 \dots 20$ МПа. На інших ділянках валів діаметри призначаємо виходячи з конструктивних і технологічних вимог.

$$\text{Вал I: } d = \sqrt[3]{\frac{16 \times 49400}{\pi \times 17,5}} = 24.2(\text{мм})$$

$$\text{Вал II: } d = \sqrt[3]{\frac{16 \times 387300}{\pi \times 17,5}} = 48.31(\text{мм})$$

Конструктивно збільшуємо діаметри валів і приймаємо:

$$d_I = 25\text{мм},$$

$$d_{II} = 50\text{мм}$$

Після попереднього визначення діаметрів валів зробимо розрахунок на витривалість (втомну міцність) валу I коробки швидкостей і горизонтального

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

шпинделя верстата. Цей розрахунок відбиває характер зміни напруги, статичні і втомні характеристики матеріалів, а також поверхневе зміцнення валів.

Розрахунок валу І на міцність.

Для визначення реакцій в опорах складаємо розрахункову схему, при цьому вал розглядається як балка на двох шарнірних опорах. При визначенні реакцій опор, а також епюр моментів, що вигинають і крутять, розрахункову схему валу представляємо з графічним зображенням сил, що діють на вал в різних площинах (рис.3.4).

Окружна сила P впливає на вал в площинах ZOX і рівна [48]:

$$P = \frac{2 \times T}{D}, \text{ Н}, \quad (3.48)$$

Де T - крутний момент на валу, Н*м;

D - діаметр ділильного кола зубчастого колеса, м.

Радіальна сила, що впливає на вал в зубчастому зачепленні :

$$P_y = P \times \operatorname{tg}(\alpha_w) \quad (3.49)$$

де P - окружна сила, що впливає на вал, Н,

α_w - кут зацеплення, $\alpha_w = 20^\circ$.

На зубчастому колесі :

$$T = 49.4 \text{ Н} \times \text{м}$$

$$D = 0,066 \text{ м}$$

Тоді:

$$P_{kx} = \frac{2 \times 49.4}{0,066} = 1497 (\text{Н})$$

$$P_{ky} = 1497 \times \operatorname{tg} 20^\circ = 545 (\text{Н})$$

Для шківа:

$$T = 9550 \times \frac{11}{1500} \times 0,95 = 66.3 (\text{Н} \times \text{м})$$

$$D = 400 \text{ мм}$$

Тоді :

$$T_{шу} = T_{шх} \times \operatorname{tg} 20^\circ = 66.3 \times \operatorname{tg} 20^\circ = 241 (\text{Н})$$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

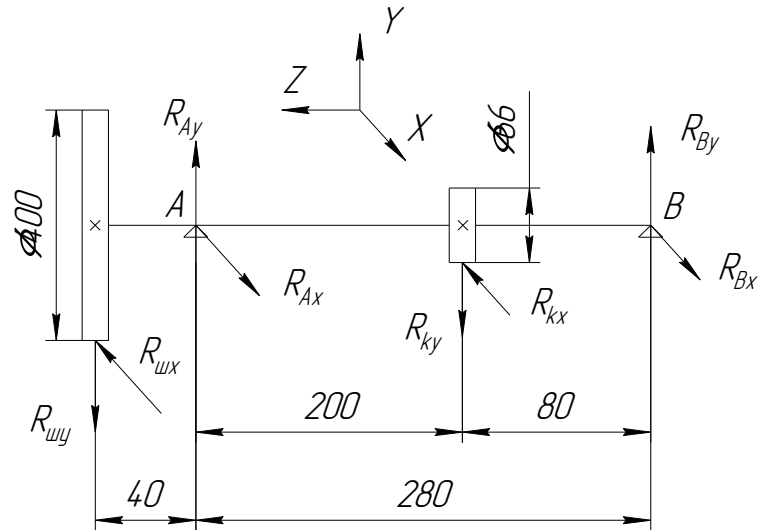


Рис.3.4 Розрахункова схема валу

По силах, що діють на вал, визначають в двох взаємно перпендикулярних площинах реакції опор і згинальні моменти, після чого роблять їх геометричне підсумовування в небезпечному перерізі [48]:

$$M_u = \sqrt{(M_{ux}^2 + M_{uy}^2)}, \text{ Н} \times \text{м}, \quad (3.50)$$

Де M_{ux} – максимальний згинальний момент в небезпечному січені що діє в горизонтальній площині, Н×м;

M_{uy} – максимальний згинальний момент в небезпечному січені що діє в вертикальній площині, Н×м.

Складемо розрахункову схему валу I і визначимо опорні реакції. У площині ZOY :

$$P_{шy} \times 0,32 - R_{Ay} \times 0,28 + P_{ky} \times 0,08 = 0$$

$$R_{Ay} = \frac{P_{шy} \times 0,32 + P_{ky} \times 0,08}{0,28} = \frac{241 \times 0,32 + 545 \times 0,08}{0,28} = 430.6$$

$$\sum m_B = 0;$$

$$R_{Ay} = 430.6 \text{ Н}$$

$$P_{шy} \times 0,04 - P_{ky} \times 0,2 + R_{By} \times 0,28 = 0$$

$$R_{By} = \frac{P_{ky} \times 0,2 - P_{шы} \times 0,04}{0,28} = \frac{545 \times 0,2 - 241 \times 0,08}{0,28} = 320.3$$

$$\sum m_A = 0;$$

$$R_{By} = 320.1 \text{ Н}$$

Перевірка: $\sum y = 0;$ $-P_{шы} + R_{Ay} - P_{ky} + R_{By} = -241 + 430.6 - 545 + 320.1 = 0$

В площині ZOX:

$$-P_{шх} \times 0,32 + R_{Ax} \times 0,28 - P_{kx} \times 0,08 = 0$$

$$R_{Ax} = \frac{P_{kx} \times 0,08 + P_{шх} \times 0,32}{0,28} = \frac{1497 \times 0,08 + 663 \times 0,32}{0,28} = 1186.3$$

$$\sum m_B = 0;$$

$$R_{Ax} = 1186.3 \text{ Н}$$

$$-R_{Bx} \times 0,28 + P_{kx} \times 0,2 - P_{шх} \times 0,04 = 0$$

$$R_{Bx} = \frac{P_{kx} \times 0,2 - P_{шх} \times 0,04}{0,28} = \frac{1497 \times 0,2 - 663 \times 0,04}{0,28} = 976.6$$

$$\sum m_A = 0;$$

$$R_{Bx} = 976.6 \text{ Н}$$

Перевірка: $\sum X = 0;$

$$-P_{шх} + R_{Ax} - P_{kx} + R_{Bx} = -663 + 1186.3 - 1497 + 976.6 = 0$$

Будуємо епюри моментів, що вигинають, в площинах ZOX і ZOY (рис. 3.5) і визначимо сумарні моменти, що вигинають, в місцях дії сил.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

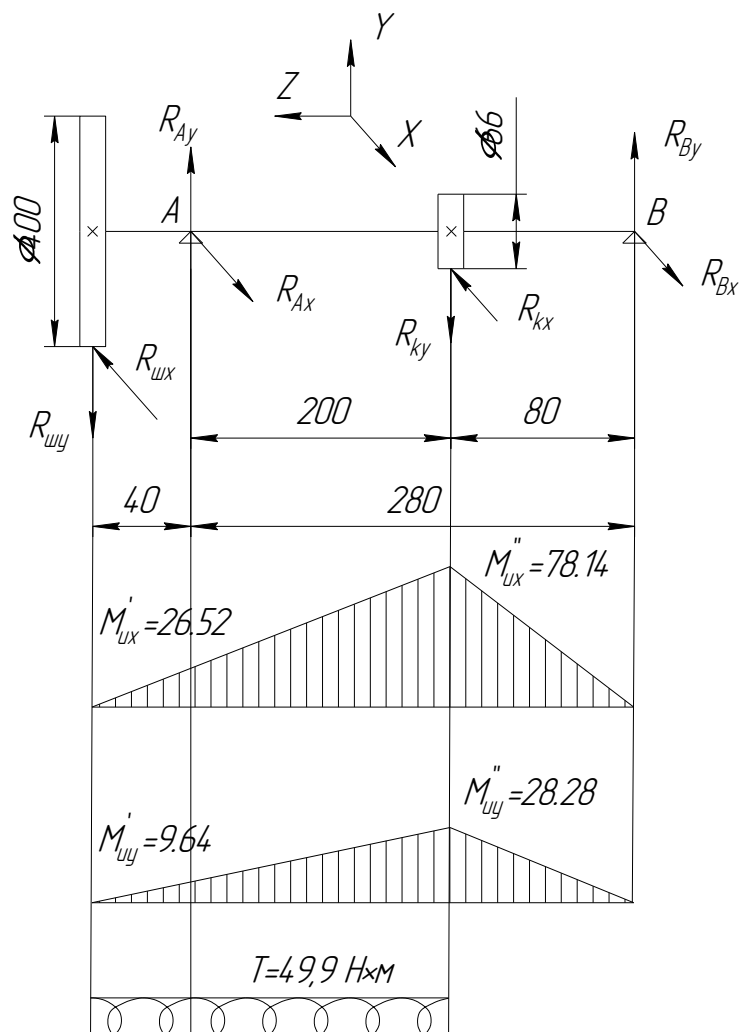


Рис. 3.5 Епюри згинаючих моментів, які діють на вал

$$M'_u = \sqrt{(M'_{ux})^2 + (M'_{uy})^2} \quad (3.51)$$

$$M''_u = \sqrt{(M''_{ux})^2 + (M''_{uy})^2} \quad (3.51)$$

$$M'_u = \sqrt{26.52^2 + 9.64^2} = 28.22 \text{ (H} \times \text{м)}$$

$$M''_u = \sqrt{78.14^2 + 28.28^2} = 83.1 \text{ (H} \times \text{м)}$$

Уточнений розрахунок валів на витривалість зробимо у формі перевірки коефіцієнта запасу міцності, який визначимо по формулі :

$$\frac{1}{n^2} = \frac{1}{n_\sigma^2} + \frac{1}{n_\tau^2} \geq [n] \quad (3.53)$$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

або

$$n = \frac{n_{\sigma} \times n_{\tau}}{\sqrt{n_{\sigma}^2 \times n_{\tau}^2}}, \quad (3.54)$$

де $[n]$ - межа міцності, що допускається, зазвичай приймають: $[n]=2\dots3$;
 n_{σ} і n_{τ} - коефіцієнти запасу міцності по нормальній і дотичній напрузі,
яка визначає по формулах :

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_{\sigma}}{\beta \times \varepsilon_{\sigma}} \times \sigma_v + \psi_{\sigma} \times \sigma_m}, \quad (3.55)$$

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_{\tau}}{\beta \times \varepsilon_{\tau}} \times \tau_v + \psi_{\tau} \times \tau_m}, \quad (3.56)$$

де σ_{-1} і τ_{-1} - межі витривалості для матеріалу валу при симетричних
циклах вигину і кручення;

k_{σ} і k_{τ} - ефективні коефіцієнти концентрацій напруги при вигині і
крученні;

β - коефіцієнт, що враховує вплив шорсткості поверхні, при шорсткості
 $R_z \leq 20 \text{ мкм}$ $\beta = 0,9 \dots 1,0$;

σ_v і τ_v - амплітуди циклів нормальної і дотичної напруги;

σ_m і τ_m - середнє значення нормальної і дотичної напруги;

ε_{σ} і ε_{τ} - масштабні коефіцієнти для нормальної і дотичної напруги;

ψ_{σ} і ψ_{τ} - коефіцієнти, що відбивають співвідношення меж витривалості
при симетричному циклі вигину і пульсуючому циклі кручення.

Значення σ_{-1} визначаються залежно від межі міцності матеріалу валу.
Приймемо матеріал валу 40Х. Тоді :

$$\sigma_B = 650 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{-1} = 0,43 \times \sigma_B \text{ МПа} \quad (3.57)$$

$$\sigma_{-1} = 0,43 \times 650 = 279,5 \text{ МПа}$$

Межа витривалості при симетричному циклі кручення :

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$\tau_{-1} = 0,58 \times \sigma_{-1}, \text{ МПа} \quad (3.58)$$

$$\tau_{-1} = 0,58 \times 279,5 = 162,11(\text{МПа})$$

Ефективні коефіцієнти концентрації напруги k_σ і k_τ залежать від межі міцності σ_b матеріала і при наявності галтелів або виточок вибираються по [48]

Прийmemo: $k_\sigma=1,9$,

$k_\tau=1,4$.

Значення масштабних коефіцієнтів ε_σ і ε_τ приведені в [48]

Прийmemo: $\varepsilon_\sigma=0,88$,

$\varepsilon_\tau=0,77$.

Амплітуду циклів і середні значення нормальної напруги σ_v і σ_m визначимо по формулах [48]:

$$\sigma_v = \frac{M_u}{W}, \text{ МПа} \quad (3.59)$$

$$\sigma_m = \frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot d^2}, \text{ МПа} \quad (3.60)$$

Де M_u - сумарний момент, що вигинає, в даному перерізі, Н×м;

F_a - осьова сила, що діє на вал, Н;

W - момент опору в даному перерізі в мм³, який рівний для круглого суцільного перерізу:

$$W = (\pi \cdot d^3) / 32 = 0,1 \times d^3, \text{ мм}^3$$

d - діаметр валу, мм

b і t - ширина і глибина канавки, мм.

При передачі моменту, що крутить, прямозубими колесами вважають, що відсутнє осьове навантаження на вал, і нормальне напруження, що виникає в його поперечному перерізі, змінюється по симетричному циклу, тоді $\sigma_m=0$.

Значення τ_v і τ_m визначаємо виходячи з найбільш несприятливого знакозмінного циклу зміни дотичної напруги, тобто вважають, що напруження кручення змінюється по нульовому (пульсуючому) циклу:

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$\tau_v = \tau_m = \frac{T}{2 \times W_k}, \text{ МПа}, \quad (3.61)$$

де T - крутний момент, передаючий валом;

W_k - момент супротиву крученню даного перерізу для круглого січення:

$$W_k = \frac{\pi \times d^3}{16}, \text{ мм}^3 \quad (3.62)$$

Для симетричного циклу вигину і пульсуючого циклу кручення ψ_σ і ψ_τ приведені в [48]. Прийmemo $\psi_\sigma = 0,05$, $\psi_\tau = 0$.

Розрахунок для перерізу 1.

Сумарний момент, що вигинає : $M_{1u} = 28.22 \text{ Н} \times \text{м}$

$$\text{Момент опору: } W = \frac{\pi \times 25^3}{32} = 2650,719 \text{ (мм}^3\text{)}$$

$$\text{Амплітуда циклів } \sigma_v = \frac{28.22 \times 1000}{2650,719} = 17,483 \text{ (МПа)}$$

Середнє значення нормальних напруг: $\sigma_m = 0$;

$$\text{Момент опору крученню : } W_k = \frac{\pi \times 25^3}{16} = 5301,438 \text{ (мм}^3\text{)}$$

$$\text{Дотична напруження: } \tau_v = \tau_m = \frac{49,4 \times 1000}{2 \times 5301,438} = 5,084 \text{ (МПа)}$$

Коефіцієнти запасу міцності:

$$n_\sigma = \frac{279,5}{\frac{1,9}{0,95 \times 0,88} \times 17,483 + 0,05 \times 0} = 7,034 ;$$

$$n_\tau = \frac{162,11}{\frac{1,4}{0,95 \times 0,77} \times 5,084 + 0 \times 5,084} = 16,661 ;$$

$$n = \frac{7,034 \times 16,661}{\sqrt{7,034^2 + 16,661^2}} = \frac{117,194}{18,085} = 6,48 > [n] = 2$$

Розрахунок для січення 2:

Сумарний згинальний момент, : $M_{2u} = 83.1 \text{ Н} \times \text{м}$

Момент опору:

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$W = \frac{\pi \times 25^3}{32} - \frac{6 \times 3,5 \times (30 - 3,5)^2}{2 \times 30} = 2403,587 \text{ (мм}^3\text{)}$$

Амплітуда циклів:

$$\sigma_v = \frac{83,1 \times 1000}{2403,587} = 78,783 \text{ (МПа)}$$

Середнє значення нормальних напруг: $\sigma_m=0$;ф

Момент опору крученню:

$$W_k = \frac{\pi \times 25^3}{16} = 3066,41 \text{ (мм}^3\text{)}$$

Дотичне напруження:

$$\tau_v = \tau_m = \frac{49,4 \times 1000}{2 \times 3066,41} = 8,06 \text{ (МПа)}$$

Коефіцієнти запасу міцності :

$$n_\sigma = \frac{279,5}{\frac{1,9}{0,95 \times 0,88} \times 78,783 + 0,05 \times 0} = 1,561 ;$$

$$n_\tau = \frac{162,11}{\frac{1,4}{0,95 \times 0,77} \times 8,06 + 0 \times 5,33} = 10,51 ;$$

$$n = \frac{1,561 \times 10,51}{\sqrt{1,561^2 + 10,51^2}} = 1,55 < [n] = 2$$

Тому приймаємо $d_I=30$ мм, тоді:

Розрахунок для перерізу 1:

Сумарний згинальний момент:

$$M_{1u} = 38,614 \text{ Н} \times \text{м}$$

Момент опору:

$$W = \frac{\pi \times 30^3}{32} = 4209,243 \text{ (мм}^3\text{)}$$

Амплітуда циклів:

$$\sigma_v = \frac{38,614 \times 1000}{4209,243} = 11,01 \text{ (МПа)}$$

Середнє значення нормальної напруги: $\sigma_m=0$;

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Момент опору крученню :

$$W_k = \frac{\pi \times 30^3}{16} = 8418,486 \text{ (мм}^3\text{)}$$

Дотична напруження:

$$\tau_v = \tau_m = \frac{44,9 \times 1000}{2 \times 8418,486} = 3,201 \text{ (МПа)}$$

Коефіцієнти запасу міцності :

$$n_\sigma = \frac{279,5}{\frac{1,9}{0,95 \times 0,88} \times 11,01 + 0,05 \times 0} = 11,17$$

$$n_\tau = \frac{162,11}{\frac{1,4}{0,95 \times 0,77} \times 3,201 + 0 \times 3,201} = 26,461$$

$$n = \frac{11,17 \times 26,461}{\sqrt{11,17^2 + 26,461^2}} = \frac{117,194}{18,085} = 10,291 > [n] = 2$$

Розрахунок для перерізу 2 :

Сумарний момент, що вигинає :

$$M_{2u} = 175,646 \text{ Н} \times \text{м}$$

Момент опору:

$$W = \frac{\pi \times 30^3}{32} = 2649,375 \text{ (мм}^3\text{)}$$

Амплітуда циклів:

$$\sigma_v = \frac{175,646 \times 1000}{2649,375} = 66,3 \text{ (МПа)}$$

Середнє значення нормальної напруги : $\sigma_m = 0$;

Момент опору крученню :

$$W_k = \frac{\pi \times 30^3}{16} = 5298,75 \text{ (мм}^3\text{)}$$

Дотичне напруження

$$\tau_v = \tau_m = \frac{49,4 \times 1000}{2 \times 5298,75} = 4,65 \text{ (МПа)}$$

Коефіцієнти запасу міцності :

$$n_\sigma = \frac{279,5}{\frac{1,9}{0,95 \times 0,88} \times 66,3 + 0,05 \times 0} = 1,8 ;$$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

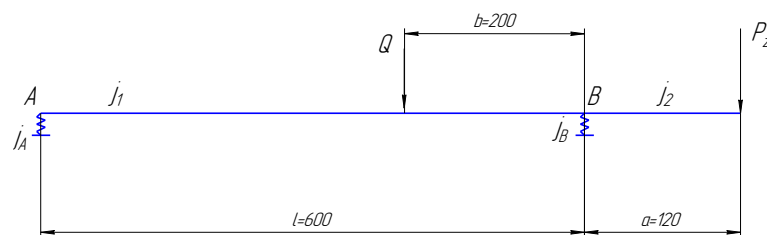
$$n_t = \frac{162,11}{\frac{1,4}{0,95 \times 0,77} \times 4,65 + 0 \times 3,466} = 18,1 ;$$

$$n = \frac{1,8 \times 18,1}{\sqrt{1,8^2 + 18,1^2}} = 2,18 > [n] = 2$$

3.5. Розрахунок шпинделя на жорсткість

Потужність приводу головного руху $P=11\text{кВт}$, максимальна частота обертання шпинделя модернізованого верстата $n_{\max}=2500\text{хв.}^{-1}$, клас точності верстата П. Для проектованого шпиндельного вузла в якості передньої опори вибираємо дворядний конічний роликовий підшипник 2-607920 по ГОСТ 21512-76, а якості задньої опори - однорядний конічний роликовий підшипник 17716Л по ГОСТ 520-71. Рекомендації по вибору підшипників та самі підшипники вибирали з [51,52]

Для наближеного розрахунку на жорсткість шпиндель розглянемо у вигляді балки на пружних опорах, навантаженої між опорами силою в зачепленні Q і рівнодійній тангенціальній і радіальній складовій сили різання P_p . [53-55]



Мал. 3.6 Розрахункова схема шпиндельного вузла

Сила зачеплення Q визначається за формулою [54]:

$$Q = \frac{P_0}{\cos \alpha} , \quad (3.63)$$

де P_0 - кільцева складова сили в зачепленні, Н;

α - кут зачеплення зубчастих коліс, $\alpha=20^\circ$.

Окружна складова P_0 рівна [54]:

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$P_0 = P_z * \frac{d_p}{d_n}, \text{ Н} \quad (3.64)$$

де P_z - тангенціальна складова сили різання, Н;

d_n - діаметр початкового кола приводного колеса шпинделя, мм;

d_p - розрахунковий діаметр в мм, який рівний:

$$d_p = \frac{1}{4} \times d_{max}, \text{ мм},$$

де d_{max} - найбільший діаметр оброблюваної заготовки в мм.

$$d_p = \frac{1}{4} \times 125 = 31,25 \text{ мм},$$

$$P_0 = 2000 \times \frac{31,25}{165} = 378,78 \text{ Н},$$

$$Q = \frac{378,78}{\cos 20^\circ} = 403,08 \text{ Н}.$$

Радіальне пружне переміщення шпинделя у 1 в зоні різання від сили Р з урахуванням деформації шпинделя і деформацій його опор визначається по формулі [54]:

$$y_1 = P \times \left[\frac{l \times a^2}{3 \times E \times J_1} + \frac{a^3}{3 \times E \times J_2} + \frac{1}{j_B} \times \frac{(l+a)^2 + \frac{j_B \times a^2}{j_A}}{l^2} \right], \text{ мм}, \quad (3.65)$$

де l - відстань між опорами шпинделя, мм;

$a=c d$ - відстань від передньої опори до зони різання, мм;

c - довжина передньої консолі шпинделя, мм;

d - відстань від кінця шпинделя до точки прикладення сили Р, мм;

b - відстань від приводного колеса до передньої опори шпинделя, мм;

E - модуль пружності, який рівний для сталі $E=2 \times 10^5$ МПа;

j_B, j_A - радіальні жорсткості передньої і задньої опор шпинделя, Н/мм;

J_1 - усереднений момент інерції перерізу шпинделя в прольоті між опорами шпинделя, мм⁴;

J_2 - усереднений момент інерції перерізу шпинделя на його консолі, мм⁴.

Радіальне пружне переміщення шпинделя у 2 в зоні різання від сили Q з урахуванням його власних пружних деформацій і пружних деформацій опор :

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$y_2 = Q \times \left[\frac{1}{j_B} \times \frac{(l+a) \times (l-b) - \frac{j_B}{j_A}}{l^2} - \frac{a}{6 \times E \times J_1 \times l} \times (b^3 + 2 \times l^2 \times b^2 - 3 \times l \times b^2) \right], \text{мм} \quad (3.66)$$

Сумарна деформація шпинделя рівна:

$$y = y_1 + |y_2|, \text{мм.} \quad (3.67)$$

Навантаження від сил різання : $P = 2000\text{Н}$.

$$J_1 = \frac{\pi}{64} \times (D^4 - d^4), \text{мм}^4, \quad (3.68)$$

де d - діаметр отвору шпинделя, мм;

D - середній зовнішній діаметр шпинделя, мм.

$$J_1 = \frac{\pi}{64} \times (70^4 - 45^4) = 976803(\text{мм}^4),$$

$$J_2 = \frac{\pi}{64} \times (100^4 - 60^4) = 4270400(\text{мм}^4).$$

Обчислюємо жорсткість передньої опори j_B . У передній опорі стоїть підшипник кочення серії 2-607920.

$$F_r = 2000\text{Н}$$

Встановлюємо з попереднім натягом $e = -3\text{мкм}$.

Радіальна податливість: $\delta_{r0} = 1,5\text{мкм}$

Відносний попередній натяг:

$$\frac{e}{\delta_{r0}} = \frac{-3}{1,2} = -2(\text{мкм}).$$

Коефіцієнт, що враховує натяг або проміжок в підшипнику: $\beta = 0,25$

Обчислюємо радіальну податливість в контакті найбільш навантаженого тіла кочення з доріжкою кочення в підшипнику з попереднім натягом:

$$\delta_r' = \beta \times \delta_{r0} = 0,25 \times 1,5 = 0,375(\text{мкм})$$

Визначаємо радіальну податливість в контакті кілець підшипника з посадочними поверхнями валу і корпусу :

$$\delta_r'' = \frac{4 \times P \times k}{\pi \times d \times B} \times \left(1 + \frac{d}{D} \right), \quad (3.69)$$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

де $k = 0,05 \div 0,25$;

d, D, B - відповідно внутрішній, зовнішній діаметри і ширина підшипника, мм.

$$\delta_r'' = \frac{4 \times 2000 \times 0,05}{\pi \times 80 \times 80} \times \left(1 + \frac{80}{140}\right) = 0,031(\text{мкм})$$

Радіальна податливість в підшипнику рівна [54]:

$$\delta_r = \delta_r' + \delta_r'' \quad (3.70)$$

$$\delta_r = 0.375 + 0.031 = 0,4 (\text{мкм}) = 0.0004 \text{ мм.}$$

Визначимо жорсткість опори j_B :

$$j_B = \frac{P}{\delta_r} = \frac{2000}{0,0004} = 5000000(\text{Н/мм}).$$

Обчислюємо жорсткість задньої опори j_A .

В якості задньої опори стоїть однорядний радіальний роликопідшипник 17716Л.

$$F_r = 2000\text{Н}$$

Радіальна податливість : $\delta_{r0} = 15,5\text{мкм}$

$$\text{Відносний попередній натяг: } \frac{e}{\delta_{r0}} = \frac{-3}{15,5} = -0,194(\text{мкм}).$$

Коефіцієнт, що враховує натяг або проміжок в підшипнику: $\beta=0,9$

Обчислюємо радіальну податливість в контакті найбільш навантаженим тілом кочення з доріжкою кочення в підшипнику з попереднім натягом:

$$\delta_r' = \beta \times \delta_{r0} = 0,9 \times 15,5 = 13,95(\text{мкм})$$

Визначаємо радіальну податливість в контакті кілець підшипника з посадочними поверхнями валу і корпусу [54]:

$$\delta_r'' = \frac{4 \times P \times k}{\pi \times d \times B} \times \left(1 + \frac{d}{D}\right), \quad (3.71)$$

де $k = 0,05 \div 0,25$;

d, D, B - відповідно внутрішній, зовнішній діаметри і ширина підшипника,

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

мм.

$$\delta_r'' = \frac{4 \times 2000 \times 0,05}{\pi \times 70 \times 26,25} \times \left(1 + \frac{70}{125}\right) = 0,1(\text{мкм})$$

Радіальна податливість в підшипнику рівна:

$$\delta_r = 13.95 + 0.1 = 14.05 (\text{мкм}) = 0.01405 \text{ мм.}$$

Визначимо жорсткість опори j_A :

$$j_A = \frac{P}{\delta_r} = \frac{2000}{0,01405} = 142552(\text{Н/мм}).$$

Розрахуємо радіальне пружне переміщення шпинделя у 1 в зоні різання від сили Р з урахуванням деформації шпинделя і деформацій його опор :

$$y_1 = 2000 \times \left[\frac{620 \times 126^2}{3 \times 2 \times 10^5 \times 976803} + \frac{126^3}{3 \times 2 \times 10^5 \times 4270400} + \frac{1}{5000000} \times \right. \\ \left. \times \frac{(620+126)^2 + \frac{5000000}{142552} \times 126^2}{620^2} \right] = 0,036(\text{мм})$$

Розрахуємо радіальне пружне переміщення шпинделя у 2 в зоні різання від сили Q з урахуванням його власних пружних деформацій і пружних деформацій опор :

$$y_2 = 403,08 \times \left[\frac{1}{5000000} \times \frac{(620+126) \times (620-488) - \frac{5000000}{142552}}{333^2} - \right. \\ \left. - \frac{126}{6 \times 2 \times 10^5 \times 976803 \times 620} \times \right. \\ \left. \times (488^3 + 2 \times 620^2 \times 48^2 - 3 \times 620 \times 488^2) \right] = \\ -7,14 \times 10^{-4}(\text{мм})$$

Сумарна деформація шпинделя рівна:

$$y = 0,03 + |-7,14 \times 10^{-4}| = 0,036714 \text{ мм.}$$

$$y_{\max} \leq 0,0002 \times l = 0,0002 \times 620 = 0,124(\text{мм})$$

$$y_{\max} \leq 0,124(\text{мм})$$

$$y = 0,036714 \text{ мм} < y_{\max} = 0,124 \text{ мм}$$

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

3.6. Розрахунок підшипників

Підберемо підшипники кочення для валу I, обертання, що має частоту $n=1500 \text{ хв.}^{-1}$ з передачею моментів, що крутять, прямозубими колесами. Привід працює з помірними поштовхами. Сумарні реакції опор :

$$P_A = \sqrt{P_{Ax}^2 + P_{Ay}^2} = \sqrt{914,9^2 + 332^2} = 973,275(\text{Н})$$

$$P_B = \sqrt{P_{Bx}^2 + P_{By}^2} = \sqrt{643,7^2 + 235^2} = 685,255(\text{Н})$$

В якості опор орієнтовно вибираємо радіальні однорядні шарикові підшипники 208К ГОСТ 8338-75. Підшипники встановлюють на жорсткі двоопорні вали з відстанню між опорами $L_{оп} \leq 10 \cdot d$. [56, 57, 58], враховуючи при цьому динамічні навантаження. Прогин валу під дією зовнішніх сил не повинен викликати великих кутових зміщень його осі, а перекіс зовнішніх кілець відносно внутрішніх не повинен перевищувати 10...15'.

Статичну радіальну вантажопідйомність визначаємо по формулі [54]:

$$C_{ор} = 12,3 \times i \times z \times D_w^2 \times \cos \alpha, \quad (3.72)$$

де i - число рядів тіл кочення в підшипнику;

z - число тіл кочення в однорядному підшипнику, число тіл кочення в одному ряду багаторядного підшипника при однаковому числі їх в кожному ряду;

D_w - діаметр тіла кочення (кульки), мм;

α - номінальний кут контакту підшипника для розрахунку вантажопідйомності, град. для радіальних підшипників $\alpha=0$.

Тоді:

$$C_{ор} = 12,3 \times 1 \times 13 \times 5,95^2 \times 1 = 5640,85(\text{Н})$$

Еквівалентне статичне радіальне навантаження не визначаємо, оскільки частота обертання валу $n > 1 \text{ хв.}^{-1}$.

Для визначення динамічної радіальної вантажопідйомності вибираємо значення коефіцієнта f_s , заздалегідь визначивши відношення [54]

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$\frac{D_w \times \cos \alpha}{D_0}, \quad (3.73)$$

де D_0 - діаметр кола комплекту кульок, мм.

Його можна вичислити як середнє значення суми зовнішнього і внутрішнього діаметрів підшипника :

$$D_0 = \frac{D + d}{2} = \frac{35 + 55}{2} = 45(\text{мм})$$

Тоді, виходячи з відношення

$$\frac{D_w \times \cos \alpha}{D_0} = \frac{5,95 \times 1}{45} = 0,132, \text{ використовуючи лінійну інтерполяцію, по}$$

[54] отримаємо значення коефіцієнта

$$f_c = 58,6.$$

Динамічну радіальну вантажопідйомність визначаємо по формулі:

$$C_p = f_c \times (i \times \cos \alpha)^{0,7} \times z^{0,667} \times D_w^{1,8}, \quad (3.74)$$

де f_c - коефіцієнт, залежний від геометрії деталей підшипників, точності їх виготовлення і матеріалу.

Тоді:

$$C_p = 58,6 \times 1 \times 13^{0,667} \times 5,95^{1,8} = 8035,7(\text{Н})$$

Порівнюємо вичислені значення статичної і динамічної радіальної вантажопідйомності :

$$C_{op} = 5640,85 < C_0 = 5650$$

$$C_p = 8035,7 < C = 10400,$$

які не перевищують розрахункових.

Осьове навантаження на підшипники відсутнє, то приймаємо:

$$P = P_B \times K_B \times K_T \quad - \text{еквівалентне динамічне радіальне навантаження,}$$

де K_B динамічний коефіцієнт безпеки, що враховує вплив умов роботи вузла на довговічність підшипника;

K_T коефіцієнт, що враховує вплив температурного режиму роботи вузла

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

на довговічність підшипника.

Прийmemo:

$$K_B = 1,3; K_T = 1,0.$$

Тоді:

$$P = 973,275 \times 1,3 \times 1,0 = 1265,257(\text{H})$$

Довговічність підшипників визначаємо по формулі[57]:

$$L_h = \frac{10^6}{60 \times n} \times \left(\frac{C}{P} \right)^P,$$

Де L_h - довговічність підшипників;

C - з довідника;

n - частота обертання валу;

P - еквівалентне динамічне радіальне навантаження.

Тоді:

$$L_h = \frac{10^6}{60 \times 1500} \times \left(\frac{10400}{1265,257} \right)^3 = 78174(\text{годин})$$

Таким чином, з ймовірністю $P_B=0,9$ що відповідає рівню 90 процентної надійності можна стверджувати, що довговічність вибраних підшипників складає 15174 годин. Фонд робочого часу в годиннику при сорока годинному робочому тижні складає приблизно $\Phi_2 \approx 2000$ ч. При двозмінному режимі роботи з коефіцієнтом використання $K_u=0,7$ річний фонд роботи верстата в годиннику складе: $\Phi_{pm} = 2 \times \Phi_2 \times K_u = 2 \times 2000 \times 0,7 = 2800(\text{годин})$.

Довговічність підшипників в календарних роках:

$$L_r = \frac{L_h}{\Phi_{p.m.}} = \frac{78174}{2800} = 27,8(\text{років})$$

що цілком достатньо.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Інструкція з безпечних прийомів роботи на проектованому обладнанні

1. До самостійної роботи на верстаті в якості наладчиків допускаються робітники, які пройшли навчання з техніки безпеки при обслуговуванні даного верстата автомата і допущені кваліфікаційною комісією до його експлуатації.

2. До роботи на верстаті в якості операторів допускаються робітники, які отримали інструктаж роботи на даному верстаті.

3. Про всі помічені недоліки в роботі верстата-автомата чи його окремих вузлів негайно повідомити майстру.

4. Оператори і наладчики повинні добре знати і суворо виконувати вимоги техніки безпеки і технології.

5. Не торкатись до струмопровідних частин електрообладнання і апаратури загального освітлення.

6. Не приступати до зміни інструменту і прибирання обладнання, доки електромонтер не відключить автомат і не вивісить плакат «Не вмикати—працюють люди».

7. Після кожного ремонту перевірити на налагодному режимі справність роботи обладнання і відповідність його передбаченій технології.

8. Перед вимиканням автомата в роботу виконати огляд лінії, перевірити, чи немає сторонніх предметів, а також людей в робочих зонах.

9. На виключеному верстаті забороняється виконувати зміну інструмента, усувати несправності обладнання, видаляти з верстатів деталей та інших матеріалів.

10. Не виконувати заміри деталей при автоматичному циклі.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ							
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата								
Розроб.		Тарашук В. Ю			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці				Лім		Аркуш	Аркушів
Перевір.		Крупа В.В.										
Консульт		Окіпний І.Б.										
Н. контр.		Кобельник В.Р.							ТНТУ, ФМТ, МВЗ-41			
Зав. каф.		Крупа В.В.										

11. Під час роботи на атоматичному режимі не доторкатись до рухомих частин верстата, інструмента, оброблювальної деталі.

12. Не видаляти стружку від місця її утворення за межі автомата руками. Користуватися при цьому передбаченим технологією способом

13. У випадку, коли в процесі роботи те чи інше пристосування, інструмент, передбачені технологією, практично виявились незручними, не користуватись іншими випадковими інструментами, пристосуваннями до ти пір, поки це питання не буде узгоджене з майстром і технологом цеху і не буде виконана відповідна зміна в технологічній карті [59].

14. Застосовувати тільки справні ключі відповідних розмірів. Застосовувати прокладку між зівом ключа і гранями гайок забороняється. При роботі кінцями не нарощувати їх трубою чи іншими важелями (якщо це не передбачено конструкцією ключа).

15. Після закінчення роботи наладчик чи майстер зобов'язаний вимкнути напругу натискуваннями кнопки «Попередній стоп».

16. Здати інструмент, обладнання і деталі, якими ви користувались.

4.2. Дії населення при оповіщенні про радіоактивне зараження навколишнього середовища

Отримавши повідомлення про небезпеку радіоактивного зараження, негайно потрібно надіти протигаз або респіратор, а при їх відсутності — ватно-марлеву пов'язку, дітей віком до півтора року помістити у захисні дитячі камери та йти в захисну споруду.

Якщо захисна споруда далеко і нема протигазу (камери захисної дитячої для дитини), залишатися у приміщенні. Увімкнути радіоточку (радіоприймач, телевізор) для прослуховування інформаційних повідомлень управління (відділу) з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

області (району, міста), закрити вікна, двері, вентиляційні отвори (люки), виконати герметизацію приміщення [60].

З метою захисту від дії радіонуклідів необхідно з моменту отримання повідомлення про радіоактивне зараження негайно розпочати проведення йодної профілактики. Для цієї мети протягом 7 днів кожний день приймати по 1 таблетці (0,25 г) йодистого калію і давати дітям віком до 2 років 1/4 таблетки, дітям віком від 2 до 14 років - половину таблетки. Таблетки необхідно придбати в аптеці або отримати в лікувально-профілактичному закладі в перші години після аварії (катастрофи). Можна використати йодистий калій з аптечки індивідуальної А1-2. Йодну настойку можна приготувати самому: 3-5 крапель розчину йоду на склянку води, дітям віком до 2 років - 1-2 краплі.

Якщо за умовами радіаційної обстановки подальше перебування людей у будинку (на вулиці) небезпечно, тоді проводиться евакуація населення. Потрібно Слідкувати за повідомленнями управління з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення області (відділу з НС та ЦЗН міста обласного підпорядкування або району). Уточнити час початку евакуації, місце подання автотранспорту. Залишаючи квартиру (будинок), вимкнути джерела електроенергії, взяти з собою документи, гроші, необхідні речі, вдягнути протигаз (респіратор або змочену ватно-марлеву пов'язку), накидку або плащ, гумові чоботи. Не забути попередити сусідів про початок евакуації.

Після прибуття до нового місця проживання, необхідно провести дезактивацію засобів захисту органів дихання, одягу, взуття і санітарну обробку покривів шкіри на обладнаному санітарному обмивочному пункті (СОП) або самостійно. Самостійна обробка полягає у видаленні радіоактивних речовин з відкритих часток шкірних покривів тіла, одягу, взуття і засобів захисту. Послідовність дії така: зняти накидку (плащ, пальто і т. д.) і, ставши спиною проти вітру, витрусити її. Після того повісити одяг на перекладину (мотузку) і віником (щіткою) змести з неї радіоактивний пил.

Після цього потрібно почистити взуття щіткою або будь-яким

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

підручним засобом і вимити водою. Після цього обробити відкриті частини шкіри водою або розчином з індивідуального протихімічного пакету (ІПП-8). Для обробки шкіри можна використовувати сухі тампони, рушник і т. д.

У подальшому проводиться повна санітарна обробка на мийних пунктах (бані, пральні і т. д.) з заміною одягу.

Перед початком проведення санітарної обробки і після неї необхідно пройти дозиметричний контроль.

При аваріях (катастрофах) на радіаційно небезпечних об'єктах частина території області може опинитися в умовах підвищеного радіаційного зараження.

У цій обстановці треба суворо дотримуватися заходів радіаційної безпеки і санітарної гігієни.

Головну небезпеку для людей на такій території, забрудненій радіоактивними речовинами, становить внутрішнє опромінювання внаслідок потрапляння радіоактивних речовин всередину організму з повітрям, що вдихається та при прийомі харчів і води.

Ось чому необхідно захистити органи дихання від радіоактивних речовин, підготувати своє житло, дотримуватися правил поведінки на зараженій території.

Для захисту органів дихання використовують респіратор типу "пелюсток", респіратори Р-2, У-2К (для дорослого населення), ватно-марлеві пов'язки, маски від пилу ПТМ-1 з тканини, а також цивільні протигази.

Засоби індивідуального захисту можна не використовувати при перебуванні в житлових і адміністративних будинках, в тиху безвітряну погоду і після дощу.

Для уникнення ураження шкіряних покривів необхідно використовувати плащі з капюшонами, накидки із щільної тканини або поліетиленової плівки, комбінезони, гумове взуття, рукавиці, а при наявності і захисний спеціальний одяг.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Усі вікна в домі закрити плівкою, входні двері обладнати м'якими шторами.

Закрити димоходи, вентиляційні отвори (люки). Килимові доріжки і килими зверніть.

М'які меблі накрити чохлами, столи накрити плівкою або клейонкою. Перед входними дверима поставити ємність з водою і поруч розстелит килимчик.

Водорозбірні колонки обладнати наметами. Продукти зберігати у скляній тарі або поліетиленових пакетах, в холодильниках.

Для попередження або послаблення дії на організм радіоактивних речовин та можливого уникнення захворювання променевою хворобою:

- максимально обмежити перебування на відкритій території, при виході з приміщення використовувати засоби індивідуального захисту (респіратор, пов'язку, плащ, гумові чоботи);
- при перебуванні на відкритій території не роздягатися, не сідати на землю, не палити;
- перед входом у приміщення взуття вимити водою або витерти мокрою ганчіркою, верхній одяг витрусити і почистити вологою щіткою;
- суворо дотримуватись правил особистої гігієни;
- у всіх приміщеннях, що призначені для перебування людей, кожний день робити вологе прибирання, бажано з використанням миючих засобів;
- приймати харчі тільки в закритих приміщеннях, ретельно мити руки з милом перед їжею;
- воду вживати тільки з перевірених джерел;
- сільськогосподарські продукти з індивідуальних господарств, особливо молоко, зелень, овочі і фрукти вживати в їжу тільки за рекомендаціями органів охорони здоров'я;
- відмовитись від купання у відкритих водоймах до перевірки ступеня їх радіоактивного забруднення.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу деталі на технологічність, визначеного типу виробництва проведено вибір та обґрунтування типу заготовки у піщано-глиняні форми та виконано її креслення
2. Розроблено технологічний маршрут обробки деталі
3. Для кожної операції показано систему базування заготовки, затиску, а також оброблені поверхні
4. Призначено режими різання для операцій табличним методом.
5. Проведено кінематичний розрахунок елементів шпиндельної бабки токарного верстата, розроблено кінематичну схему приводу головного руху.
6. Проведено розрахунки елементів приводу головного руху, зокрема: пасової передачі, зубчастих передач, валів, а також виконано розрахунок радіальної жорсткості шпинделя

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ		
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ		
Розроб.	Таращук В. Ю						
Переір.	Крупа В.В.						
Реценз.							
Н. контр.	Кобельник В.Р.						
Зав. каф.	Крупа В.В.				ТНТУ, ФМТ, МВЗ-41		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: навчальний посібник / Ю.М. Малафєєв; Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 201 с.
2. Міренський І.Г. Основи технології машинобудування: навчальний посібник. Харків: ХНАМГ, 2007. 275 с.
3. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А. Технологія машинобудування: підручник. Житомир, ЖДТУ, 2005. 876 с.
4. Паспорт на верстат 16K20Ф3: керівництво, креслення, схеми, додатки.
5. Altintas Y. Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design / Y Altintas. – 2012. – 382 p.
6. Васильків В.В., Радик Д.Л. Експериментальні дослідження у технології машинобудування: Навчальний посібник;. Тернопіль: ТНТУ, 2012. 256 с.
7. Васильків В. В. Технології виробництва заготовок литтям : навчальний посібник / В. В. Васильків, Л. М. Данильченко, Д. Л. Радик. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2023. – 492 с.
8. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.
9. Ворощук В.Я., Вітенько Т.М. «Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі SolidWorks». Навчальний посібник. 2023. – 164 с.
10. Кузнецов Ю. М., Скляр Р. А., Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнецов, Р. А. Скляр; під ред. Ю. М. Кузнецова. – К.: ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ		
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Перелік посилань		
Розроб.	Таращук В. Ю						
Переір.	Крупа В.В.						
Реценз.							
Н. контр.	Кобельник В.Р.						
Зав. каф.	Крупа В.В.						
					Літ	Аркуш	Аркушів
					ТНТУ, ФМТ, МВЗ-41		

11. Скляров Р. А., Шанайда В. В. Розробка критеріальних оцінок для аналізу компоновок верстатів з паралельною кінематикою. *Матеріали ІХ наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, м. Тернопіль, 18–19 трав. 2016 р. Тернопіль, 2016. С. 74.

12 Крижанівський В. А., Кузнєцов Ю. М., Скляров Р. А. Сучасний стан, прогнозування і перспективи розвитку верстатів з паралельною кінематикою. // Наукові праці ЖДТУ.-Житомир, 2005.- №6, част.1. - С. 320-334.

13. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. / Крижанівський В. А., Кузнєцов Ю. М., Валявський І. А., Скляров Р. А. – Кіровоград, 2004. – 449 с.

14. Скляров Р. А., Шанайда В. В., Савчук М. А. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій / Р. Скляров, В. Шанайда, М. Савчук // Вісник ТНТУ. — 2011. — Том 16. — № 1. — С.117-125.

15. Скляров Р. А., Шанайда В. В. Динамічна модель приводу автоматичної заміни інструментів багатоцільових верстатів. *Обладнання і технології сучасного машинобудування* : Матеріали Всеукр. науково-практ. конф., м. Тернопіль, 11 трав. 2017 р. Тернопіль, 2017. С. 155–156.

16. Кузнєцов Ю. М., Саленко О. Ф., Харченко О. О., Щетинін В. Т. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: навч. Посібник - Київ-Кременчук-Севастополь: Вид-во «Точка», 2014. — 500 с.:

17. Технологія обробки на верстатах з ЧПК : навч. посіб. / Б. М. Гевко та ін. м. Тернопіль : Крок, 2014. 131 с.

18. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку /: навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.

19. Крупа В. В. Металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. Тернопіль, 2015. 168 с.
URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/5656>

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

20. Кривий П., Крупа В., Продан В. Конструкторсько-технологічні передумови підвищення якості оброблення глибоких отворів тонкостінних циліндрів. Вісник ТДТУ. 2010. Т. 15, № 1. С. 147–156.
URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/486>.

21. Кривий П. Д., Крупа В. В. Геометричні та математичні моделі формування шорсткості циліндричних поверхонь при точінні та розточуванні. Вісник ЖДТУ. 2011. Т. 1, № 2(53). С. 44–55.
URL: <http://vtn.ztu.edu.ua/article/view/70846>.

22. Кривий П.Д. Метод оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач консольних фрезерних верстатів / П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Н. М. Тимошенко // Прогресивні технології в машинобудуванні : збірник наукових праць, Львів-Плай. – Львів, 2020. – С. 103–105.

23. Кобельник В.Р. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118 / В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – Вип. 8. – С. 99–108.

24. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01: / Кобельник Володимир Романович; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2013. - 21 с.

25. Кривий П.Д. Методи вимірювання головного заднього кута спірального свердла / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник, В.І. Продан, В.Г. Яковлєв // Науковий вісник ХДМА : Науковий журнал. – Херсон : ХДМА, 2012. – № 2 (7). – С. 145–155.

26. Volodymyr Shanaida, Ruslan Skliarov, Valeriy Lazaryuk. Mathematical models for the analysis of the parameters of channels in the planning of mechanical processing and welding operations/ Proceedings ITTAP'2023: 3rd International

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, November 22–24, 2023, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland. 2023, 3628, pp. 43-54. (Scopus) <https://ceur-ws.org/Vol-3628/paper12.pdf>

27. Analysis of the stress-strain state of the vehicle frame by finite element method // Mykola Stashkiv, Ivan Pidgurskyi, Oleh Pidluzhnyi, Mykola Pidgurskyi, Mykhaylo Levkovych, Ruslan Skliarov, Andriy Mushak // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2022. — Vol 108. — No 4. — P. 89–102.

28. Кобельник В.Р. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів/Кобельник В.Р, Крупа В.В., Тимошенко Н.М. // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези допов. – Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.

29. Складов Р. А., Четвержук Т. І., Полінкевич Р. М., Редько Р. Г., Залета О. М. Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів. Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки», Випуск 71, Луцьк, 2021, № 71. – 363 с. – С. 322-329.

30. Вплив випадковості подачі на висоту мікронерівностей поверхні при її точінні або розточуванні / П. Кривий, Н. Тимошенко, М. Шарик, В. Крупа Львів : Машинознавство. 2013. №9-10 (195-196). С. 76-83.

31. Математична модель впливу стохастичності подачі на величину сили різання в імовірнісному аспекті / Володимир Крупа, Володимир Кобельник, Надія Тимошенко, Ігор Петrenchко // МММТЕС, 22-23 листопада 2022 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. — С. 41–42.

32. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory / V. Krupa et al. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952> (date of access: 22.05.2024).

33. V. Krupa, N. Tymoshenko, V. Kobelnyk, I. Petrechko, Probability-statistical estimation method of feed influence on the tangential cutting force under

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

turning, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 114/1 (2022) 22-31.

34. Кривий П. Д., Крупа В. В. Інструментальне забезпечення процесу комбінованого розточування глибоких отворів тонкостінних циліндрів. Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. 2012. № 2. С. 23–34.

35. Крупа В. В. Визначення конструкторсько-технологічних параметрів багаторізцевих розточних головок з поділом припуску та подачі. Вісник ТДТУ. 2011. Т. 16, № 1. С. 105–117.
URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/959>.

36. Substantiation of parameters for three-cutter boring head with allowance and feed distribution and asymmetric cutter position / Petro Kryvyi, Volodymyr Krupa, Volodymyr Kobelnyk, Yaroslav Kosiv. // Scientific Journal of TNTU. — Ternopil : TNTU, 2019. — Vol 96. — No 4. — P. 57–69.

37. Підвищення продуктивності процесу і якості плоскої поверхні сформованої комбінаційним торцевим фрезеруванням / П. Д. Кривий та ін. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. 2020. № 3 (47). С. 199--206.

38. Кобельник В.Р. Жорсткість вертикально-свердильних верстатів / В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – Вип. № 1 (40). – С. 34–40.

39. Nahalyuk A., Krupa V. Modeling of a lathe bed using the method of topological optimization. *Scientific Journal of TNTU*. – Tern.: TNTU. 2023. Т. 111, № 3. С. 67–75. URL: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.03.

40. Дослідження жорсткості системи затискний гвинтовий пристрій – деталь / О. П. Скиба та ін. Перспективні технології та прилади. 2014. № 5. С. 154–158.

41. Пік А. І., Фльонц І. В., Мельничук С. Л. Стенд для дослідження характеристик піднімально-транспортних лебідок. Вісник Харківського

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

національного технічного університету сільського господарства. 2016. № 168. С. 92–96.

42. Дослідження пружно-силових характеристик затискних цанг, виготовлених за діючими та новими технологіями / Р. Г. Редько та ін. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». 2014. № 44. С. 249–253.

43. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І.Грабченко, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 3-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2020. – 471 с.

44. Грицай І. Є. Теорія різання. Лезове та абразивне оброблення металів: навчальний посібник. / І.Є. Грицай. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. 232 с.

45. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

46. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>

47. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: підручник; за ред. Сіліна Р.І. Львів: Бескид Біт, 2008. 448 с.

48. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин:- Київ «Вища школа» 1993. – 560с.

49. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навч. посіб. до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи /Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2022. 220

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

50. Шанайда В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001. 163 с.

51. High speed spindles for manual tool change. GMN. Cat. 2508 0914 ENG // Оф. сайт фірми GMN. 2014.. URL: http://www.gmnusa.com/upload/news/2508_0914_e_2.pdf

52. Standart spindles: precision grinding spindles, cartridge spindles, precision boring heads. NSK. Cat. No. E2202a // Оф. сайт фірми NSK. 2012. []. URL: [http://www.nskamericas.com/cps/rde/xbcr/mx_es/Standard_spindle catalogue_e2202a_120411.pdf](http://www.nskamericas.com/cps/rde/xbcr/mx_es/Standard_spindle_catalogue_e2202a_120411.pdf)

53. Данильченко Ю.М., Петришин А.І. Динамічний аналіз механічної коливної системи «шпиндельний вузол-основа» // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ. - 2011. - №28. – С. 169-174.

54. Статичний розрахунок шпиндельних вузлів на опорах кочення: Методичні вказівки до виконання розрахунків у дипломних проектах та курсових проектах. Частина 1 / Уклад.: І.І.Верб, О.В.Даниленко – К.: НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського“, 2017. – 104 с.

55. Проектування обладнання галузевого машинобудування: Шпиндельні вузли на опорах кочення. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра, Київ: КПІм. Ігоря Сікорського, 2020. – 135

56. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль : ТНТУ 2023. 246

57. Данильченко Ю.М., Боронко О.О., Коломієць В.І. Визначення власних частот та форм коливань радіально-упорного кулькового підшипника // Вісник НТУУ «КПІ», сер. Машинобудування. – 2011. - №61. – Т.1. - С.87-90.

58. Верб І. І. Проектування обладнання галузевого машинобудування:

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Змашування та ущільнення підшипників кочення : Навчальний посібник / І. І. Верба, О. В. Даниленко. – Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2020. – 87 с.

59. Вітенько Т.М. Корозія та антикорозійні покриття: навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ, 2011. – 59 с.

60. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях: Методичний посібник . Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. - 156 с.

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

					КРБ 16-058.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		