

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Конструювання виконавчих механізмів токарного верстата для
забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал»

Виконав: студент	4	курсу групи	МВ-41
спеціальності	133 «Галузеве машинобудування»		
	(шифр і назва спеціальності)		
		(підпис)	Сарабун С.Л.
			(прізвище та ініціали)
Керівник		(підпис)	Лещук Р.Я.
			(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		(підпис)	Кобельник В.Р.
			(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри		(підпис)	Крупа В.В.
			(прізвище та ініціали)
Рецензент		(підпис)	Сташків М.Я.
			(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

Крупа В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Сарабуну Степану Любомировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Конструювання виконавчих механізмів токарного верстата для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал»

Керівник роботи Лещук Роман Ярославович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 23 » 01 2025 року № 4/7-35

2. Термін подання студентом завершеної роботи 05.06.2024

3. Вихідні дані до роботи Технічне креслення деталі «Вал-шестерня»

Базовий технологічний процес обробки деталі

Річна програма випуску N=2000 шт.

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

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ 1. Характеристика об'єкту виробництва

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ Технологічний розрахунок

Розробка маршрутного та операційного технологічного процесу обробки

Інструментальне забезпечення технологічної операції

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ Кінематичний розрахунок верстату

Конструювання вузла верстату

Розробка конструкції пристрою для механічної обробки

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

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

Інструментальні налагодження – 1 ф.А1

Виконавчі механізми верстата – 2 ф.А1.

Пристосування верстатне – 1 ф.А1.

Контрольне пристосування – 1 ф.А1.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності,	к.т.н., доцент Окіпний І.Б.		
основи охорони праці			
Нормоконтроль	к.т.н., доцент Кобельник В.Р.		

[illegible]

_____ Сарабун С.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Лещук Р.Я.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу.....	2
ВСТУП.....	4
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	
1.1 Призначення і технічна характеристика виробу	5
1.2. Визначення типу виробництва.....	8
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки.....	8
1.4 Вибір методів обробки поверхонь.....	11
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
2.1. Проектування маршрутного технологічного процесу	16
2.2 Розрахунок припусків	17
2.3 Розрахунок режимів різання	20
2.4 Проектування операційного технологічного процесу.....	30
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Аналіз верстатів аналогів.....	33
3.2. Кінематичний розрахунок приводу головного руху	37
3.3. Розрахунок приводу	39
3.4 Розрахунок і проектування контрольного пристосування	75
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	79
ВИСНОВКИ.....	84
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	85
ДОДАТКИ.....	87

					КРБ 21-065.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ		
Розроб.		Сарабун					
Перевір.		Лещук					
Консульт.							
Н. Контр.		Кобельник					
Зав.каф.		Крупа					
					Літ.	Арк.	Акрюшів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

ВСТУП

В даний час токарні верстати знаходять застосування в багатьох галузях промисловості. При проектуванні верстатів токарної групи найбільш актуальними питаннями є підвищення продуктивності, універсальності і точності таких верстатів.

У переважній більшості випадків верстати використовуються як для чорнової обробки, так і для чистової. Це обумовлено умовами роботи верстатів, високою вартістю і нераціональністю змісту окремих верстатів для чорнової і для чистової обробки. Ці умови сприяють посиленню вимог до точності, продуктивності та універсальності обладнання.

Основні завдання, що стоять перед верстатобудуванням - значне підвищення продуктивності праці і рівня автоматизації в машинобудуванні, задоволення безперервно зростаючих вимог до точності обробки, підвищення надійності верстатів.

До числа тенденцій розвитку верстатів з ЧПК відносять: концентрацію операцій при одному установі, автоматичну зміну інструментів, скорочення числа розточувальних інструментів за рахунок введення поперечного переміщення супортів і перетворення верстатів в контурні, перехід на системи управління на інтегральних елементах, розширення можливостей корекції програми на радіус і довжину інструменту, на швидкість і подачу без переробки програми, застосування центральної системи управління для групи верстатів.

					КРБ 21-065.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розроб.	Сарабун						
Перевір.	Лещук						
Консульт.							
Н. Контр.	Кодельник						
Зав.каф.	Крупа						
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, гр. МВ-41		

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Призначення і технічна характеристика виробу

Габаритні розміри деталі – «Вал» - Ø92 x 288 мм.

маса деталі – 14,1 кг.

Сталь 20 Х ДСТ 4543-71.

Вал є деталлю редуктора, вона призначене для передачі обертового моменту від шестерні. Передача обертового моменту на вал виконується через прямозубе з'єднання.

Прямозубий вінець, число зубів $z = 22$, модуль $m = 5$, ступінь точності по ДСТ 1643-81 6 - В. Ширина зубчастого вінця 70мм, шорсткість – $R_a 2,5$ радіальне биття щодо бази - 0,02 мм.

Вал має шпонковий паз 50x4x16P9 для передачі крутного моменту.

Базова поверхня деталей по кресленнях замовника Ø80K7 .Поверхня забезпечує установку в підшипник, базова поверхня Ø 55K6має шпонковий паз 70x4x16P9 шорсткість боковин паза - $R_a 6,3$, дна - $R_a 12,5$ допуск на симетричність паза 0,2 мм., допуск паралельності - 0,02 мм.

По торцям виконані фаски - 2 x 45 °.

Незазначені розміри виконуються по Н14; h14; $\pm IT14 / 2$.

Матеріал деталі – Сталь 20Х ДСТ 4543-71 - легована сталь.
Застосовується в машинобудуванні для виготовлення навантажених деталей.

Таблиця 1.1. Хімічний склад і механічні властивості

C	Mn	Cr	Si	Ni	S	P	Cu	HB
0,17- 0,23	0,5-0,8	0,7-1	0.17-0.37	до 0.3%	До 0.035%	До 0.035%	До 0.3%	217-35

					КРБ 21-065.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.	Сарабун						
Перевір.	Лещук						
Консульт.							
Н. Контр.	Кобельник						
Зав.каф.	Крупа						
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

Робоче креслення деталі містить всі дані необхідні для її виготовлення: розміри, проекції, перетину, параметри шорсткості, допустимі відхилення від правильних геометричних форм; допустимі просторові відхилення у взаємному розташуванні елементарних поверхонь деталі; матеріал із зазначенням марки і ДСТУ, і інші механічні вимоги.

Конструкція деталі має просту стійку форму з зручними технічними базами. Форма деталі дозволяє отримати заготовку дуже близьку за формою до основної конструкції. Приймається якісний спосіб отримання заготовки – штампування, яке повинне забезпечити отримання виточки без припусків на обробку, що спрощує сам процес обробки деталі - трудомісткості.

Конфігурація і матеріал деталі дозволяють застосовувати більш досконалі вихідні заготовки (типу гарячого об'ємного штампування).

Конструкція деталі дозволяє використовувати обробку багато інструментальними налагодженнями (точіння зовнішнього діаметра і торців), проте в умовах дрібносерійного виробництва така обробка себе не виправдає.

Точність деталі висока, точними поверхнями є Ø80K7 Ra0,4, Ø55K6 Ra0,63, Ø80K7 Ra1,25 а також бічні і внутрішні поверхні зубів. Для досягнення K6 і Ra 0,4 необхідно задіяти шліфування та полірування.

При обробці паза можлива операція з попереднім налаштуванням верстата на розмір

Умови для врізання і виходу ріжучого інструменту забезпечені.

Досягнення необхідної точності розмірів, а також необхідної шорсткості і допустимих просторових відхилень, і геометричних похибок не викликають труднощів при обробці деталі на стандартному обладнанні.

Знайдемо коефіцієнт шорсткості даної деталі по формулі:

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{ср}}$$

де Шср - середня шорсткість за варіантами технології.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Ш_{ср} = \frac{\sum Ш_i * n_i}{m_i},$$

де Ш_i - шорсткість поверхні;

n_i - кількість однакових параметрів шорсткості;

m_i - загальна кількість параметрів шорсткості.

R_a 12,5 - 10 поверхонь (1,2,5,8,9,10,13,14,15,18);

R_a 6,3 - 1 поверхні (3);

R_a 2,5 - 1 поверхня (11);

R_a 0,63 - 1 поверхня (4);

R_a 1,25 - 2 поверхні (17,12,);

R_a 0,4 - 1 поверхня (11).

$$Ш_{ср} = \frac{12,5 * 10 + 6,3 * 1 + 2,5 * 1 + 0,63 * 1 + 1,25 * 2 + 0,4 * 1}{16} = 8,5 \text{ мкм}$$

Звідки,

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{ср}} = 1 - \frac{1}{8,5} = 0,88 < 1$$

Знайдемо коефіцієнт квалітету даної деталі по формулі:

$$K_m = 1 - \frac{1}{T_{ср}},$$

де T_{ср} - середній квалітет за варіантами технології.

$$T_{ср} = \frac{\sum T_i * n_i}{m_i}$$

де T_i - квалітет поверхні;

n_i - кількість однакових розмірів з однаковим квалітетом точності;

m_i - загальна кількість розмірів.

14 квалітет - 10 поверхонь (1,2,5,7,8,9,10,13,14,15,16,18);

11 квалітет - 1 поверхня (11);

9 квалітет - 1 поверхня (3);

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 квалітет - 2 поверхні (6,17);

6 квалітет - 1 поверхні (4).

$$T_{cp} = \frac{14 * 12 + 11 * 1 + 9 * 1 + 7 * 2 + 6 * 1}{17} = 12,2$$

Звідки,

$$Km = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{12,2} = 0,9 < 1$$

Рівні технологічності виробу по трудомісткості і технологічної собівартості остаточно визначають після розробки технологічного процесу і отримання необхідних для розрахунку даних з урахуванням зниження трудомісткості виробу і заготовки, матеріалу і методу отримання.

1.2. Визначення типу виробництва

Тип виробництва визначаємо виходячи з розрахункового обсягу випуску N_0 , дет / рік:

$$N_0 = N_m 0,7 * K_t$$

Де, m - маса деталі, $m = 14,1$ кг

K_t - коефіцієнт трудомісткості виготовлення, для деталей середньої складності

$K_t = 1$.

$$N_0 = 2000 * 14,1^{0,75} * 1 = 14552$$

що відповідає середньосерійному виробництву.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки

Для деталі типу «Вали» середньої складності зі сталі для серійного виробництва доцільно застосувати в якості заготовки прокат або гарячу штампування. Для остаточного вибору методу отримання заготовки виконаємо порівняльний економічний аналіз. В основу аналізу покладемо порівняння сумарних вартостей C змінної частки витрат на отримання заготовки C_z і її механічну обробку $C_{обр}$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_i = C_{zi} + C_{обри}$$

Змінні витрати на отримання заготовки C_z , грн., складають:

$$C_{zi} = C_{mi} \times M_{zi} \times K_{спі} \times K_{слі}$$

де C_{mi} — ціна 1 кг матеріалу, грн./кг;

M_{zi} — маса заготовки, кг;

$K_{спі}$, $K_{слі}$, - коефіцієнти, враховують спосіб отримання заготовки та її складність.

Визначаємо припуск на обробку Z :

а) для заготовки з прокату:

пов. 1 , 18 , $l_1=288$, $l_2=121,5$, $Z=8$

пов. 11 , $l_1=64$, $l_2=288$, $Z=4,2$.

б) для штампованої заготовки:

пов. 1 , $l_1=90$, $l_2=55$, $Z=4$;

пов. 4 , $l_1=55$, $l_2=90$, $Z=4$;

пов. 5 , $l_1=61$, $l_2=80$, $Z=4$;

пов. 9 , $l_1=92$, $l_2=20$, $Z=3$;

пов. 10 , $l_1=70$, $l_2=121,5$, $Z=5$;

пов. 11 , $l_1=121,5$, $l_2=50$, $Z=5$;

пов. 13 , $l_1=24$, $l_2=121,5$, $Z=3,5$;

пов. 14 , $l_1=92$, $l_2=24$, $Z=3$;

пов.18, $l_1=288$, $l_2=80$, $Z=9$.

Визначаємо розміри заготовки з урахуванням припусків і проставляємо на рис. 1.1.

Визначаємо напуски: Для заготовки із прокату приймаємо найближчий діаметр прутка діаметром 130.

Для штамповки призначаємо попередньо ухил 5 и радіуси переходів R_3 . Креслимо напуски на рис.1.3.1и проставляємо розміри заготовки з урахуванням припусків та напусків.

Визначаємо масу деталі:

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_d = 0,785(5,5^2 \times 9 + 8^2 \times 6,1^2 + 9,2^2 \times 2 + 12,15^2 \times 7^2 + 9,2^2 \times 2,4 + 8^2 \times 2,7) \times 0,0075$$

$$= 13,8 \text{ кг}$$

$$M_{z1} = 0,785 \times 13^2 \times 30,4 \times 0,00785 = 31,6 \text{ кг}$$

$$M_{z2} = 0,785 \cdot (5,7^2 \times 9,1 + 9,7^2 \times 8,7 + 13,15^2 \times 7,1 + 9,7^2 \times 5,7) \times 0,00785 = 17,4 \text{ кг.г}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{им1} = M_d / M_{z1} = 13,8 : 31,6 = 0,43$$

$$K_{им2} = M_d / M_{z2} = 13,8 : 17,4 = 0,79$$

Визначаємо Цм, грн./кг і поправочний коефіцієнт за:

$$Ц_{м1} = Ц_{м2} = 19$$

$$КСП1 = 1,2$$

$$КСП2 = 2,5; КСЛ2 = 1$$

Підставляємо знайдене значення в формулу

$$C_{31} = 19 \times 31,6 \times 1,2 \times 1 = 720,4 \text{ грн.}$$

$$C_{32} = 19 \times 17,4 \times 2,5 \times 1 = 826,5 \text{ грн.}$$

Змінні витрати на чорнову обробку Собр, грн. складають:

$$СМ_i = С_{уд} \times (M_{zi} - M_d) / K_o$$

де С_{уд} — питомі витрати на зняття 1 кг стружки при чорновій обробці, грн./кг;

К_о - коефіцієнт оброблюваності матеріалу.

Розраховуємо СМ для кожного із варіантів:

1) визначаємо для середньо серійного виробництва С_{уд}=26.

2) визначаємо для сталі 20Х К_о = 1,2.

3 Підставляємо отримані значення в формулу

$$СМ1 = 26 \times (31,6 - 13,8) : 0,8 = 462,8 \text{ грн.}$$

$$СМ2 = 26 \times (17,4 - 13,8) : 0,8 = 86,4 \text{ грн.}$$

Підставляємо отримані значення С_з и СМ в формулу

$$C_1 = 720,4 + 462,8 = 1183,2 \text{ грн.}$$

$$C_2 = 826,5 + 86,4 = 913,2 \text{ грн.}$$

$$C_2 < C_1$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За мінімуму перемінних витрат приймаємо 2-й варіант - штампування

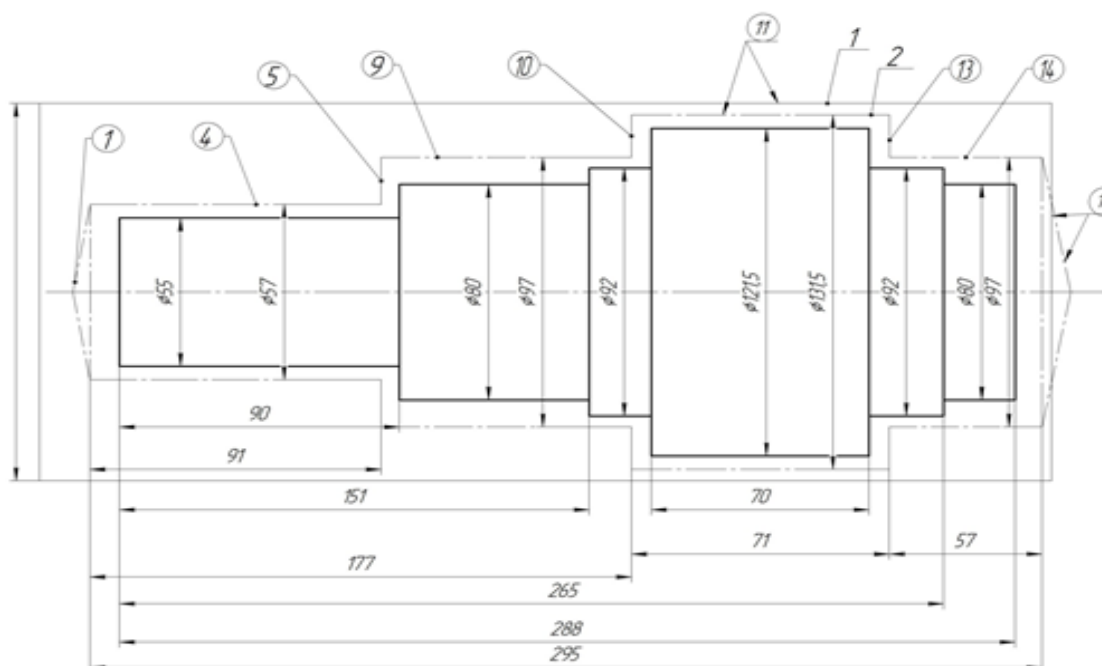


Рисунок 1.1-Заготовка 1-прокат,2-штамповка

1.4-Вибір методів обробки поверхонь

Деталь — «Вал». Виробництво середньосерійне.

При виборі методів обробки та їх послідовності враховуємо, що:

- крім зазначених переходів необхідно відповідно до вимог креслення вала ввести ТО — цементация;
- вал деталь нежорстка ($l / d = 7$), тому в процесі термообробки можливе його викривлення і зниження точності на 1 квалітет;
- заготовка вала - штампування, відносно чиста, очищена від окалини, величина облою і задирок не більше 2 мм, тому обдирне шліфування перед механічною обробкою вводити не слід;
- обробку вала до ТО економічно доцільно проводити методами лезвійної обробки, а після ТО - методами абразивної обробки.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір методів починаємо з найточнішою поверхні. такими поверхнями є шийки під підшипники, поверхні 6 і 17.

Визначаємо, що для обробки поверхні 6, 17,4 (7, квалітет точності, шорсткість Ra = 1,25, мкм) можуть бути застосовані наступні варіанти послідовності методів обробки.

Таблиця 1.2 - Оптимальні варіанти обробки поверхні 4

№ вар.	Переходи						Коеф. питом. витрат
	1	2	3	4	5	6	
1	Т(12)	1,4 Т _П (10)	2,1 Т _Ч (8)	3,9 Т _Т (6)	ТО(7)	Ш _Ч (6)	7,4
2				ТО(9)	3,6 Ш _Ч (7)		7,1
3					2,6 Ш _П (8)		6,1
4			ТО(11)	2,6 Ш _П (9)	3,6 Ш _Ч (7)		7,6
5					2,6 Ш _П (8)		6,6
6				2,2 Ш(10)	2,6 Ш _П (8)		6,2
7		ТО(13)	2,2 Ш(11)	2,6 Ш _П (9)	3,6 Ш _Ч (7)		8,4
8					2,6 Ш _П (8)		7,4
9				2 Ш(10)	2,6 Ш _П (8)		6,8

					КРБ 21-065.00.00.000		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Оптимальний варіант обробки вибираємо по мінімуму сумарних питомих витрат, які характеризуються сумою КУі всіх переходів даного варіанта.

При цьому оскільки переходи Т (12) і ШЧ (6), а також ТО присутні у першій-ліпшій нагоді обробки, їх з розрахунку виключаємо.

Мінімальний коефіцієнт питомих витрат $KY = 6,1$ відповідає варіанту 3, який передбачає ТО після чистової токарної обробки. Тому прийmemo цей варіант обробки: Т (12; 12,5) -ТП (10; 3,2) - ТЧ (8; 1,6) -ТО (9) - ШП (8; 1,6) - ШЧ (6; 0,8).

Тут в дужках вказані квалітет точності і шорсткість поверхні Ra , мкм, для кожного переходу.

Для обробки місця під підшипники, пов. 6 (7-й квалітет, $Ra = 0,4$), приймаємо додатковий перехід полірування.

Отриманим вище результатом скористаємося для призначення методів обробки інших поверхонь.

Шийка під муфту, поверхня 4 (6-й квалітет, $Ra = 0,63$):

Т (12; 12,5) -ТП (10; 3,2) - ТЧ (8; 1,6) -Тт(6;0,8) -ТО (9) - Шч (6; 1,6).

Зовнішня поверхня зубчастого вінця, поверхня 11 (11; $Ra 2,5$):

Т (12; 12,5) -ТП (10; 2,5) -ТО (11).

Вільні шийки, поверхня 9 і 14, канавки, поверхня 7, 16, (14; 12,5):

Т (12; 12,5) -ТО (13).

Уступи поверхня 8 і 15 (12; 12,5):

Т (12; 12,5)-ТО (9)

Уступ, поверхня 5 (12; 12,5):

Т (12; 12,5) -ТО (13)..

Торці зубчастого вінця, поверхня 10 і 13 (14; 12,5):

Т (12; 12,5) -ТО (13).

Торці, поверхня 1 і 18 (14; 12,5):

Ф (13; 12,5) -ТО (14).

Ф - фрезерування

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шпонковий паз, поверхня 2 і 3 (9; 1,6):

Ф (8; 1,6) -ТО (9).

Зубчастий вінець, поверхня 12 (6 ступінь точності, Ra = 1,25):

ЗФ (8 ст .; 6,3) -СФ-ШВ (7 ст .; 1,6) -ТО-Шч (6 ст .; 1,25).

ЗФ-зубофрезерування,

СФ зняття фасок,

ШВ-шевінгування.

Центрові отвори, поверхня 19 і 20

С (9; 1,6) -ТО (10) -Шч (9; 0,8)

С-свердління

Таблиця. 1.3-Методи обробки поверхонь

№ пов.	Вид пов.	Квал. точн.	Шорст. Ra, мкм	Послідовність обробки
1	П	14	12,5	Ф-ТО
2	П	14	12,5	Ф-ТО
3	П	9	3,2	Ф-ТО
4	Ц	6	0,63	Т-Тп- Тч - ТО-Шп-Шч
5	П	14	12,5	Т-Тп-ТО
6	Ц	7	0,4	Т-Тп- Тч -ТО-Шп-Шч-ПО
7	Ц	14	12,5	Т-ТО
8	П	14	12,5	Т-ТО
9	Ц	14	12,5	Т-ТО
10	П	14	12,5	Т-ТО
11	Ц	12	2,5	Т-Тп-Тч-ТО
12	Ф	6ст	1,25	ЗФ-СФ-ШВ-ТО-Шч
13	П	14	12,5	Т-ТО
14	Ц	12	12,5	Т-ТО

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15	П	14	12,5	Т-ТО
16	Ц	14	12,5	Т-ТО
17	Ц	7	1,25	Т-Тп- Тч – ТО-Шп
18	П	14	12,5	Ф-ТО
19	КВ	9	0,8	С-ТО- Шч
20	КВ	9	0,8	С-ТО- Ш

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Проектування маршрутного технологічного процесу

Базовий маршрутний технологічний процес виготовлення деталі був розроблений для умов одиничного виробництва. Так, як ми розглядаємо виготовлення деталі в умовах серійного виробництва, то планований процес буде відрізнятися від базового. Для підвищення точності обробки маршрут ділять на чорнову і чистову обробку. На чорновій обробці знімають основну величину припуску. Після термообробки виправляють технологічні бази і проводять остаточну обробку. При складанні маршруту обробки за окремими операціями встановимо тип верстатів. Для порівняння зведемо базовий і проєктований маршрути обробки в таблицю

При проєктуванні нового технологічного процесу були внесені наступні зміни:

- виключені такі операції як слюсарна і маркувальна;
- токарні операції, що виконуються на універсальних верстатах, замінені операціями виконуваними на верстатах з ЧПК
- застосовані установчі пристосування з механізованим приводом;
- застосовані револьверні головки і інструментальні магазини.

Вищевказані заходи дозволяють скоротити основний час, збільшити продуктивність, якість обробки, знизити собівартість виробу.

					КРБ 21-065.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.		Сарабун					
Перевір.		Лещук					
Консульт.							
Н. Контр.		Кодельник					
Зав.каф.		Крупа					
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

Таблиця 2.1 - Таблиця маршрутів обробки «Вала»

№	Назва операції	устаткування
005	Фрезерно-центрувальна	МР-71М
010	Токарна	16К20Ф3
015	Термічна	
020	Токарна з ЧПК	16К20Ф3
025	Токарська ЧПК	16К20Ф3
030	Зубофрезерна	5К324
035	Термічна	
040	Фрезерна	6Н11
045	Круглошліфувальна	3М153
050	Контрольна	

2.2 Розрахунок припусків

Визначаємо припуски на обробку деталі "Вал". Метод отримання заготовки штампування. Виробництво середньо серійне. Припуск на найточнішу поверхню розраховуємо підсумовуванням по найточнішими поверхнями деталі "Вал" є поверхня 4.

- 1) Визначаємо припуск на кожну операцію

$$Z_1 = a_0 + 0.5Td_0 + \sqrt{Tp_0^2 + Ty_1^2} = 0,5 + 0,5 * 1,9 + \sqrt{0,6^2 + 0,25^2} = 2,1\text{мм};$$

$$Z_2 = a_1 + 0.5Td_1 + \sqrt{Tp_1^2 + Ty_2^2} = 0,2 + 0,5 * 0,3 + \sqrt{0,09^2 + 0,25^2} = 0,7\text{мм};$$

$$Z_3 = a_2 + 0.5Td_2 + \sqrt{Tp_2^2 + Ty_3^2} = 0,1 + 0,5 * 0,12 + \sqrt{0,036^2 + 0,25^2} = 0,413\text{мм};$$

$$Z_4 = a_{T0} + a_3 + 0.5Td_3 + \sqrt{Tp_4^2 + Ty_1^2} = 0,05 + 0,1 + 0,5 * 0,074 + \sqrt{0,022^2 + 0,02^2} = 0,216\text{мм};$$

$$Z_5 = a_4 + 0.5Td_4 + \sqrt{Tp_4^2 + Ty_5^2} = 0,05 + 0,5 * 0,046 + \sqrt{0,014^2 + 0,02^2} = 0,098\text{мм};$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Визначаємо операційні розміри. Діаметр d_5 заданий на кресленні деталі $d_5 = 55^{+0.018}_{+0.02}$

$$d_4 = d_5 + 2Z_5 = 55,018 + 2 * 0,098 = 55,23 \text{ мм};$$

$$d_3 = d_4 + 2Z_4 = 55,23 + 2 * 0,216 = 55,7 \text{ мм};$$

$$d_2 = d_3 + 2Z_3 = 55,7 + 2 * 0,413 = 56,6 \text{ мм};$$

$$d_1 = d_2 + 2Z_2 = 55,6 + 2 * 0,7 = 58 \text{ мм};$$

$$d_0 = d_1 + 2Z_1 = 58 + 2 * 2,1 = 62,2 \text{ мм};$$

3) Загальний припуск на обробку:

$$2Z_0 = d_0 - d_4 = 62,2 - 50,018 = 7,182 \text{ мм}$$

Таблиця.2.2 - Розрахунок припусків і операційних розмірів деталі “Вал ”

№ перех.	Найм. перех.	Квал. точн.	Допуск Td, мм	Допуск Tr, мм	Дефектн. слой a , мм	Допуск устан. Tu,мм	Припуск Z, мм	Операц. розмір d, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
поверхня 4 $\varnothing$ 55 к7								
0	Шт	16	1,9	0,6	0,5	-	-	62,2
1	Т	12	0,3	0,09	0,2	0,25	2,1	58
2	Тп	10	0,12	0,036	0,1	0,25	0,7	56,6
3	Тч	8	0,046	0,014	0,05	0,25	0,413	55,7
ТО	Зак.	9	0,074	0,022	0,1	-	-	-
4	Шп	8	0,046	0,014	0,05	0,02	0,216	55,23
5	Шч	6	0,016	-	-	0,02	0,098	55,018
поверхня 11 $\varnothing$ 121,5 h14								
0	Шт	16	2,5	0,75	0,5	-	-	126,1
1	Т	12	0,4	0,12	0,2	0,8	1,9	122,3
2	Тп	10	0,16	0,05	0,1	0,8	0,4	121,5
поверхня 9,14 $\varnothing$ 92 h14								
0	Шт	16	2,2	0,7	0,5	-	-	94,6
1	Т	12	0,35	0,1	0,2	0,25	1,3	92
					КРБ 21-065.00.00.000			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

поверхня 6,17 80 к7								
0	Шт	16	2,2	0,66	0,5	-	-	83,9
1	Т	12	0,35	0,105	0,2	0,25	1,3	80,3
2	Тп	10	0,14	0,03	0,1	0,25	0,3	80,7
3	Тч	8	0,054	0,02	0,05	0,25	0,12	81,4
	ТО	9	0,087	0,03	0,1	-	-	-
4	Шп	8	0,054	0,02	0,05	0,02	0,12	80,13
5	Шч	7	0,035	-	-	0,02	0,05	80,0,32
поверхня 80								
0	Шт	16	2,5	0,75	0,5	-	-	154
1	Т	12	0,4	0,12	0,2	0,25	1,5	151
поверхня 10 , 13								
0	Шт	16	1,9	0,6	0,5	-	-	74,2
1	Т	12	0,3	0,09	0,2	0,25	2,1	70
поверхня 1 , 18								
0	Шт	16	3,2	0,96	0,5	- 1	-	293,6
1	Ф	13	0,52	0,16	0,25		2,8	288

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

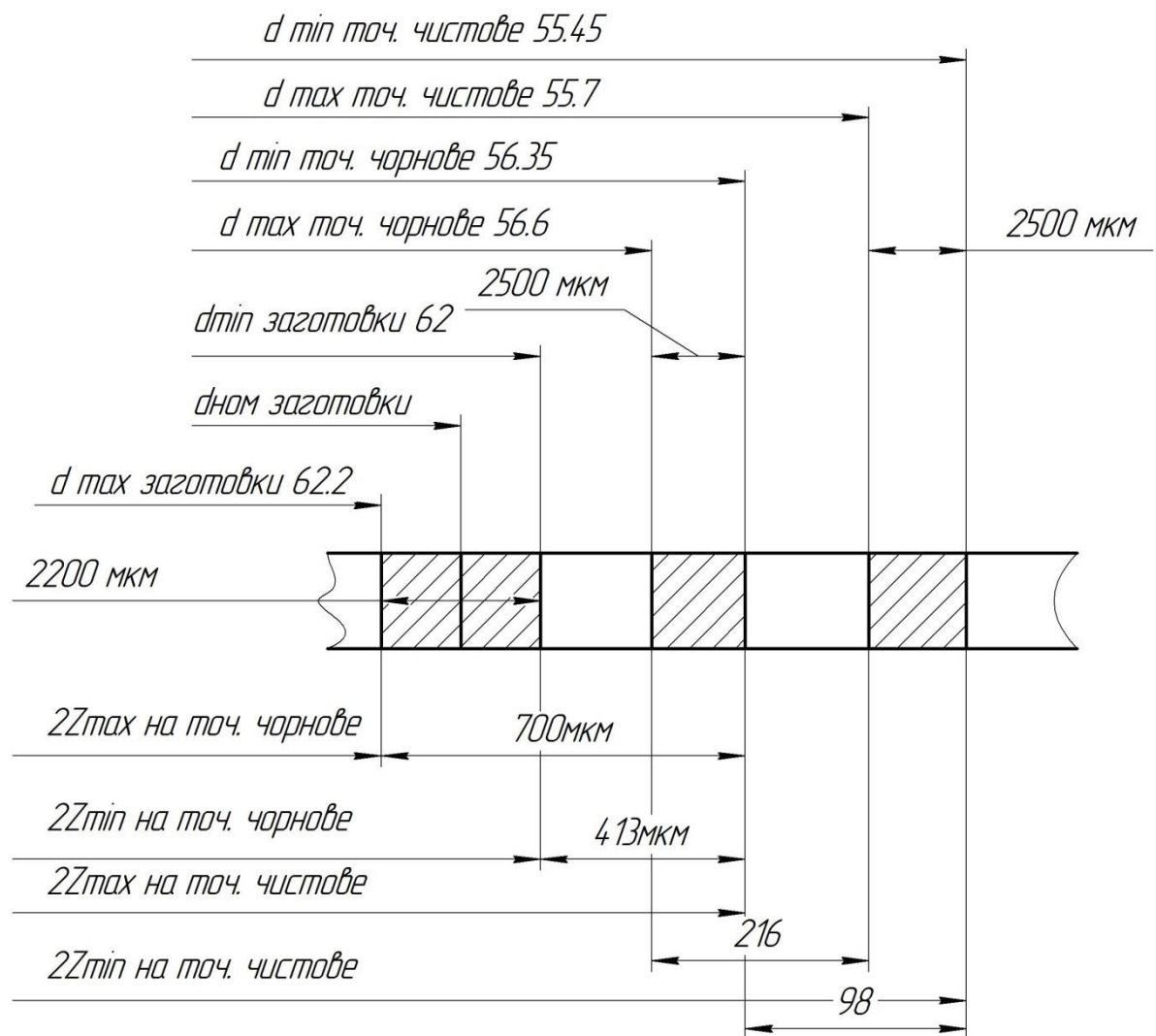


Рис. 2.1- Схема полів допусків

2.3 Розрахунок режимів різання

Токарна чорнова обробка Ø55K6. (0 15)

Різець: HS345

Глибина різання

$$t = \frac{D_z - D_o}{2} = \frac{62.2 - 58}{2} = 2.1 \text{ мм} .$$

Глибину $t=2.1$ мм беремо за один прохід

Призначаємо подачу: $S = 0,2$ мм /об.

Глибина різання для першого проходу $t=2.1$ мм.

Швидкість різання

					KPB 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} S^{y_v}} K_v = \frac{340}{30^{0,2} 2.1^{0,15} 0.2^{0,45}} * 0.52 = 165 \text{ м / хв} ,$$

$$C_v = 340, m = 0,2, x_v = 0,15, y_v = 0,45$$

Де, K_{mv} - коефіцієнт що враховує якість оброблюваного матеріалу

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{mv} = 1 \left(\frac{750}{750} \right)^1 = 1$$

де σ_B - тимчасовий опір розриву, $\sigma_B = 750$ МПа;

K_r - коефіцієнт, що характеризує групу сталі по оброблюваності.

K_v - показник ступеня, при обробці різцями з твердого сплаву

K_{nv} - коефіцієнт, що відображає стан пов ерхності заготовки, для штампування. $K_{nv} = 0,9$

K_{nv} - коефіцієнт, що враховує якість матеріалу інструмента, для оброблюваного матеріалу і марки інструментального матеріалу

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 165}{3,14 \cdot 55} = 955 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаються за паспортом верстата $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$

Дійсна швидкість різання:

$$v = \frac{\pi * D * n}{1000} = \frac{3.14 * 55 * 1000}{1000} = 172.7 \text{ м / хв}$$

Головна складова сили різання P_z :

$$P_z = 10 C_p t^x S^y V^n K_p = 10 \cdot 300 \cdot 2.1^1 \cdot 0.2^{0,75} \cdot 172.7^{-0,15} \cdot 0,89 = 775 \text{ Н} ,$$

де, C_p, x, y, n - коефіцієнти залежать від матеріалу заготовки, матеріалу різального інструменту, виду обробки і її характеру.

$$C_p = 300; x = 1,0; y = 0,75; n = - 0,15$$

K_p - поправочний коефіцієнт

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_p = K_{mp} K_{\phi p} K_{jp} K_{gp} K_{\lambda p} = 1 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,89,$$

де K_{mp} - поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності для легованої сталі $\sigma_B = 750 \text{ МПа}$,

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{750}{750} \right)^{0,75} = 1$$

де n - показник ступеня, $n = 0,75$

$K_{\phi p}, K_{jp}, K_{gp}, K_{\lambda p}$ - поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів різальної частини інструмента та складову сили різання

$$K_{\phi p} = 0,89;$$

$$K_{jp} = 1;$$

$$K_{gp} = K_{\lambda p} = 1 - \text{для різальної частини з твердого сплаву.}$$

Потужність різання:

$$N = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60} = \frac{775 \cdot 172 \cdot 7}{1020 \cdot 60} = 2,1 \text{ кВт}$$

Необхідна потужність різання на приводі верстата

$$N_{np} = \frac{N}{\eta} = \frac{2,1}{0,85} = 2,4 \text{ кВт},$$

де η - ККД верстата

За умовою $N_{ст} > N_{np}$ вибираємо верстат 16К20Ф3 з ЧПК з $N_{ст} = 10 \text{ кВт}$

Коефіцієнт використання верстата по потужності:

$$\eta_{\text{м}} = \frac{N_{np}}{N_{ст}} = \frac{2,4}{10} = 0,24.$$

Обертовий момент:

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000} = \frac{775 \cdot 55}{2 \cdot 1000} = 21,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Повинна виконуватись умова:

$$M_{кр.Рез} \leq M_{кр.Ст};$$

Крутний момент допускається міцністю механізму головного руху

$$M_{кр.Ст} = 9750 \cdot \frac{N_{дв} \cdot \eta}{n_{ст. min}} = 9750 \cdot \frac{10 \cdot 0,8}{1756} = 45 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Умова $M_{кр.Рез} = 11,2 \text{ Н} \cdot \text{м} \leq M_{кр.Ст} = 45 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – умова виконується.

Визначаємо основний технічний час для двох проходів:

$$T_o = \frac{L}{n_{ст} \cdot S_{ст}} \cdot i = \frac{97,2}{1000 \cdot 0,2} \cdot 2 = 0,9 \text{ хв},$$

де $L = L_d + l_{вр} + l_{пер.} = 90 + 5,2 + 2 = 97,2 \text{ мм}$ – довжина проходу інструменту в напрямку подачі;

де $L_d = 24 \text{ мм}$ – довжина оброблюваної поверхні;

$l_{вр} = t \cdot \text{ctg } \varphi + (1 \dots 2) = 3,2 \cdot \text{ctg } 90 + (1 \dots 2) = 5,2 \text{ мм}$ – довжина шляху врізання;

$l_{пер.} = 2 \text{ мм}$ – довжина перебігу інструменту;

i – кількість проходів.

Розрахунок режимів різання на операцію шліфування Ø 80K7

Вибираємо шліфувальний круг ПП 600х63х305 22А40 - СТ26К3

Абразивний матеріал - електрокорунд білий 22А

Зернистість круга - 40

Твердість - СТ26

Зв'язка - керамічна КЗ

Форма - пряма ПП

Глибина різання при круглому шліфуванні визначається величиною поперечної подачі (St) мм / хв.

Приймаємо $St = 0,025 \text{ мм} / \text{хв}$

$S_{пр} = 18 \text{ мм} / \text{хв}; S_{поп} = St$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо глибину шліфування:

$$t_0 = 0,025 \text{ мм/хід.}$$

Приймаємо паспортну величину верстата: $t=0,025 \text{ мм/хід.}$

Визначення швидкості різання:

Швидкість різання складає $V_{кр}=30...35 \text{ м/с.}$

Приймаємо $V_{кр}=30 \text{ м/с.}$

Визначаємо частоту обертання абразивного інструменту:

$$n_{кр} = \frac{1000 \cdot V_{кр} \cdot 60}{\pi \cdot D_{кр}} = \frac{1000 \cdot 30 \cdot 60}{3,14 \cdot 600} = 955,4 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо паспортну величину: $n_{кр.ст} = 950 \text{ хв}^{-1}.$

Визначаємо дійсну швидкість різання:

$$V_{кр,д} = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n_{кр.ст}}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 600 \cdot 950}{60 \cdot 1000} = 29,8 \text{ м/с}$$

Визначаємо частоту обертання заготовки:

Швидкість обертання заготовки : $V_з = 15 ... 55 \text{ м/хв.}$

Приймаємо: $V_з = 15 \text{ м/хв.}$

$$n_з = \frac{1000 \cdot V_з}{\pi \cdot D_з} = \frac{1000 \cdot 15}{3,14 \cdot 80,13} = 59,6 \text{ хв}^{-1}.$$

Приймаємо найближчу меншу паспортну величину верстата:

$$n_{з.ст} = 63 \text{ хв}^{-1}.$$

Визначаємо дійсну швидкість заготовки:

$$V_{кр,з} = \frac{\pi \cdot D_з \cdot n_{з.ст}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80,13 \cdot 63}{1000} = 15,8 \text{ м/хв.}$$

Визначення швидкості повздовжнього переміщення столу:

$$V_{пр.ст} = \frac{n_{з.ст} \cdot S}{1000} = \frac{63 \cdot 40}{1000} = 2,5 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо потужність різання:

$$N = C_N \cdot V_з^r \cdot t^x \cdot S^Y \cdot d^q = 2,65 \cdot 14,6^{0,5} \cdot 0,01^{0,5} \cdot 40^{0,55} \cdot 30,2^0 = 7,7 \text{ кВт,}$$

де $C_N=2,65$; $r=0,5$; $x=0,5$; $Y=0,55$; $q=0$ – значення постійного коефіцієнту та показники ступеня.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка режимів різання за потужністю привода головного руху:

$$N \leq N_{\text{дв}} \cdot \eta,$$

де $N_{\text{дв}}$ – потужність верстата;

η – ККД станка.

$$7,7 \leq 10 \cdot 0,85$$

$N \leq N_{\text{дв}}$ – умова виконується.

Визначення основного технологічного часу для одного проходу:

$$T_M = \frac{L \cdot h}{n_z \cdot S \cdot B_{\text{кр.}} \cdot t} \cdot K = \frac{124 \cdot 0,025}{100 \cdot 18 \cdot 63 \cdot 0,005} \cdot 1,3 = 0,007 \text{ хв},$$

$$h = \frac{t_2}{2} = \frac{0,05}{2} = 0,025 \text{ мм} - \text{припуск на сторону для остаточного}$$

шліфування;

$K=1,3$ – коефіцієнт (при остаточному шліфуванні);

L – довжина переміщення шліфувальної бабки:

$$L = l + H = 61 + 63 = 124 \text{ мм}$$

Розрахунок режимів різання на операцію 035 для фрезерування зубів

$m=5$, $z=22$.

На зубофрезерному верстаті моделі 5К324 фрезерується шестерня розмірами **$\varnothing 121,5 \text{ мм}$** і довжиною **$70 \text{ мм}$** . Заготівля встановлюється на столі в спеціальному пристрої.

Вибираємо різальний інструмент.

Приймаємо черв'ячну модульну фрезу з нормальним зубом зі швидкорізальної сталі HS 6-5-2. Діаметр фрези $D = 80 \text{ мм}$.

Призначаємо режими обробки.

Період стійкості інструмента: $T = 120 \text{ хв}$

Визначаємо швидкість різання:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^u \cdot Z^p} = \frac{68,5 \cdot 80^{0,25}}{120^{0,2} \cdot 7^{0,3} \cdot 0,07^{0,2} \cdot 70^{0,1} \cdot 1^{0,1}} \cdot 0,16 = 7,8 \text{ м / хв}$$

Де, $C_v = 68,5$ - коефіцієнт ;

$m = 0,2$; $x = 0,3$; $y = 0,2$; - показник степеня

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$K_v = 0,16$ - поправочний коефіцієнт.

$$t = 1.4m = 1.4 * 5 = 7\text{мм.}$$

Частота обертання шпинделя визначається за формулою:

$$n_s = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 7.8}{3.14 * 121.5} = 20.4 \text{ хв}^{-1}$$

Фактичну швидкість різання визначаємо за формулою:

$$V = \frac{\pi * D * n}{1000} = \frac{3.14 * 121.5 * 20.4}{1000} = 7.7 \text{ хв}^{-1}$$

Визначаємо силу різання:

$$P_z = \frac{C_p t^x S^y B \cdot z \cdot n^K K_p}{D^q \cdot n^w} = \frac{68.2 * 7^{0.86} * 0.07^{0.72} * 70^1 * 14^{0.1} * 1}{121.5^{0.86} * 20.4^0} = 78.7 \text{ Н}$$

Де, $C_p = 68.2$ - коефіцієнт

$q = 0.86$; $x = 0.86$; $y = 0.72$; $n = 0.1$; $w = 0$ - показники степеня

t - глибина різання, $t = m * 1.4 = 5 * 1.4 = 7\text{мм}$

K_p - поправочний коефіцієнт.

$$K_p = \left(\frac{\sigma_6}{750} \right)^n = \left(\frac{750}{750} \right)^1 = 1$$

Де, $n = 1$ - показник ступеня.

Визначаємо швидкість руху подачі:

$$S_m = S_z * n = 0.07 * 20.4 = 1.42 \text{ мм / хв}$$

визначаємо потужність різання ($N_{\text{різ}}$):

$$N_p = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60} = \frac{78.7 * 7.7}{1020 \cdot 60} = 2 \text{ кВт}$$

Перевіряємо по потужності приводу верстата.

$$N_{\text{рез}} < N_{\text{шт}}$$

Потужність приводу верстата: $N_{\text{ст}} = N_{\text{ЕДВ}} * \eta$

Де, $N_{\text{ЕДВ}} = 7\text{кВт}$ - потужність електродвигуна,

$\eta = 0.75$ - ККД верстата

$$N_{\text{ст}} = 7 * 0.75 = 5.25\text{кВт}$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$N_p < N_{ст}$ - обробка можлива

Розрахунок режимів різання на операцію 040 операції для фрезерування паза 16 * 70 мм

На шпоночно- фрезерному верстаті моделі 6913(потужність двигуна $N_d=2,2$ кВт; ККД верстата $\eta=0,75$) фрезерується паз В = 16, L = 70, і глибиною 4мм.

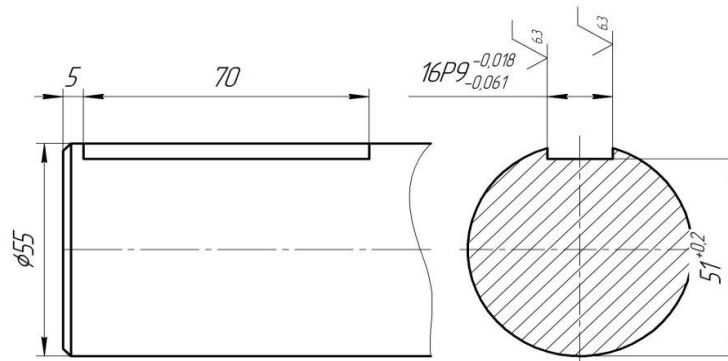


Рисунок 2.2 – Ескіз оброблюваного пазу

Заготовка встановлюється на столі в спеціальному пристрої.

Вибираємо різальний інструмент.

Приймаємо шпонкову фрезу з нормальним зубом зі швидкорізальної сталі SC 6-5-2. Діаметр фрези приймаємо рівним ширині паза, $D = B = 16$ мм.

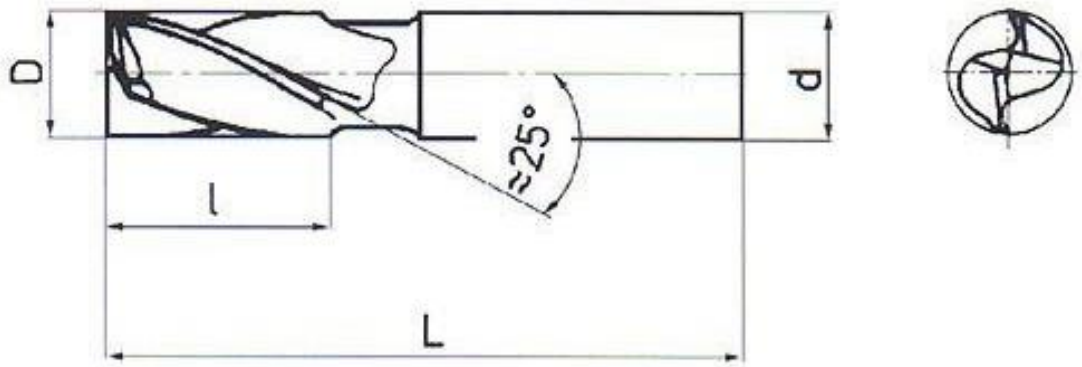
Геометричні параметри фрези:

- $\gamma = 15^\circ$;

- $\alpha = 14^\circ$

- $\varphi = 3^\circ$;

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок–2.3 Фреза шпонкова

Призначаємо режими обробки:

Призначаємо подачу на зуб фрези

$$S_z = 0,14 \text{ мм / зуб}$$

Призначаємо період стійкості інструменту:

$$T = 90 \text{ хв}$$

Обробку проводимо за 3 проходи.

Визначаємо швидкість різання:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v} \cdot B^u \cdot Z^p} = \frac{12 \cdot 16^{0.3} \cdot 0.64}{80^{0.26} \cdot 2^{0.5} \cdot 0.08^{0.25} \cdot 16^0 \cdot 2^0} = 7.5 \text{ м / хв}$$

Де, $C_v = 12$ - коефіцієнт;

$q = 0.3$; $m = 0.26$; $x = 0.3$; $y = 0.25$; $u = 0$; $p = 0$ - показники степеня.

K_v - поправочний коефіцієнт.

$$K_v = K_{mv} * K_{nv} * K_{uv}$$

де, K_{mv} - коефіцієнт що враховує якість оброблюваного матеріалу;

$K_{nv} = 0.8$ - коефіцієнт що враховує стан поверхні заготовки;

$K_{uv} = 0.3$ - коефіцієнт враховує матеріал інструменту;

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_b} \right) = 1 \left(\frac{750}{460} \right) = 0.64$$

де, $\sigma_b = 460$ МПа - межа міцності оброблюваного матеріалу;

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$N = -0,9$ - показник степеня;

$$K_v = 0.64 * 1 * 1 = 0.64$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 7.5}{3.14 * 16} = 149.2 \text{ хв}^{-1}$$

Визначаємо фактичну швидкість різання:

$$V = \frac{\pi * D * n}{1000} = \frac{3.14 * 16 * 149.2}{1000} = 7.5 \text{ м / хв}$$

Визначаємо силу різання:

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S^y B^n \cdot z \cdot K_{mp}}{D^q \cdot n^w} = \frac{10 \cdot 68.2 \cdot 2^{0.86} \cdot 0.08^{0.72} \cdot 16^1 \cdot 1 \cdot 1.6}{16^{0.86} \cdot 129.3^0} = 473.8 \text{ Н}$$

де $C_p = 68.2$ - коефіцієнт;

$q = 0.86$; $x = 0.86$; $y = 0.72$; $n = 0.1$; $w = 0$ - показники ступеня;

K_p - поправочний коефіцієнт.

$$K_{mp} = \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^n = \left(\frac{750}{460} \right)^1 = 1.6$$

Визначаємо швидкість руху подачі:

$$S_m = S_z * Z * n = 0.08 * 2 * 129.3 = 20.6 \text{ мм / хв}$$

Визначаємо потужність різання:

$$N_p = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60} = \frac{473.8 * 7.5}{1020 \cdot 60} = 0.05 \text{ кВт}$$

Визначаємо коефіцієнт використання верстата за потужністю:

$$K_N = \frac{N_z}{N_{дв} \cdot \eta} = \frac{0.05}{2.2 \cdot 0.75} = 0.03$$

де $N_{дв}$ – потужність двигуна головного руху, кВт

$\eta = 0.75$ - ККД верстата, умова $K_N \leq 1.0$ – виконується.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо величину крутного моменту на шпинделі:

$$M = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000} = \frac{473.8 \cdot 16}{2 \cdot 1000} = 3.7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Повинна виконуватись умова:

$$M \leq M_{\text{ст}}$$

Крутний момент, допустимий міцністю механізму головного руху:

$$M_{\text{ст}} = 9750 \cdot \frac{N_{\text{дв}} \cdot \eta}{n_{\text{ст. min}}} = 9750 \cdot \frac{2.2 \cdot 0.75}{745} = 22 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Умова $M = 3.7 \text{ Н} \cdot \text{м} \leq M_{\text{ст}} 22 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – виконується.

Визначення основного технічного (машинного) часу для одного проходу:

$$T_o = \frac{l + l_{\text{пер.}}}{S_{\text{мин.ст}}} = \frac{70 + 0}{14} = 5 \text{ хв};$$

де $l = 70$ мм – довжина оброблюваної поверхні;

$l_{\text{пер.}} = 0$ – довжина шляху перебігу інструмента, так як паз – закритий.

2.4 - Проектування операційного технологічного процесу

005 А Фрезерно- центрувальна;

Б Фрезерно- центрувальний МР-71М;

О Встановити, перевірити, закріпити. З переустановленням деталі, підрізати торець, центрувати торці за формою В4 ДСТ 14034-74.

Т Встановлюється в призмах;

010 А Токарна з ЧПК;

Б Токарний з ЧПК 16K20Ф3;

О Встановити, перевірити, закріпити. З переустановленням деталі, точити за програмою, чорнова обробка по контуру з припуском під чистову обробку. . З переустановленням деталі точити зовнішню поверхню, зняти фаски $2 \times 45^\circ$.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Т Патрон механізований самоцентруючий спеціальний; люнет відкритий; центр, що обертається; застосовуються токарні прохідні різці з механічним кріпленням змінної ромбічної пластини *HS345*;

штангенциркуль ШЦ-I-75-0,05.

015 А Термічна;

Б Піч;

О Проводиться нормалізація заготовки, для зняття внутрішніх напружень, і поліпшення структури металу.

020 А Токарна з ЧПК;

Б Токарний з ЧПК 16K20Ф3С32;

О Встановити, перевірити, закріпити. З переустановленням деталі, точити за програмою. Проводиться чистова обробка торців. Перецентруватися

Т Патрон механізований самоцентруючий спеціальний; центр, що обертається; штангенциркуль ШЦ-I-75-0,05;

025 А Токарна з ЧПК;

Б Токарний з ЧПК 16K20Ф3С32;

О Встановити, перевірити, закріпити. З переустановленням деталі, точити за програмою. Проводиться чистова обробка контура з припуском під шліфування.

Т Патрон механізований самоцентруючий спеціальний; центр, що обертається; штангенциркуль ШЦ-I-75-0,05;

030 А Зубофрезерна;

Б Зубофрезерний 5K324;

О Встановити, перевірити, закріпити. Проводиться нарізування 22 зубів $m = 5$ за ступенем точності 6 - В.

Т Використовується червячна фреза HS 6-5-2.

035 А Термічна;

Б Цементация;

О Цементация зубів: , до HRC 56-62.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

040 А Шпонково-фрезерна;
Б Шпонково-фрезерний 6Н11;
О Встановити, перевірити, закріпити. Фрезерувати шпонковий паз 16Р9, глибиною 4мм, довжиною 70мм.

Т Призми з пневматичним затиском; фреза шпонкова Ø16мм, з 2-ма пластинами SC 6-5-2; контрольно-вимірювальний пристрій для контролю паралельності та симетричності стінок пазу; штангенциркуль ШЦ-I-75-0,05; мікрометр МК 25-50-0,05.

040 А Круглошліфувальна;
Б Круглошліфувальний 3М153;
О Встановити, перевірити, закріпити. Шліфувати попередньо та начисто поверхні Ø55k7, Ø80k7 з забезпеченням співвісності не більше за 0,005мм.

Т Патрон повідковий; центра упорні; люнет закритий; шліфувальний круг ПП 600х63х305 25А40 - СТ26К3; пристрій активного контролю БВ6000; пристрій спеціальний для контролю співвісності та радіального биття.

045 А Контрольна;
Б Контрольно-вимірювальна машина;
О Контролювати точність деталі згідно з кресленням.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Аналіз верстатів аналогів

Верстатобудування своєю продукцією забезпечує машинобудівні заводи засобами виробництва. Тому особливу увагу слід приділяти системному підходу, розробці єдиного стратегічного плану його розвитку для задоволення сучасних потреб машинобудування. Розробка окремих, навіть дуже досконалих верстатів не дасть очікуваного економічного ефекту, так як в сучасних умовах нові верстати уже на етапі розробки повинні ставати частиною гнучких виробничих ділянок, а ті частиною виробничих систем, які включають в себе робітників та допоміжне обладнання. Тому модернізація чи розробка нових верстатів повинна передбачати створення сучасного цифрового, інтегрованого технологічного середовища на всіх виробництвах комплектуючих та готової продукції, так як вони знаходяться в єдиній системі.

За останні 60 років технологічний уклад машинобудівних виробництв переріс з універсальних верстатів, пройшовши етапи спеціальних, з числовим програмним керуванням (ЧПК) і нині базується на обробних центрах та технологічних комплексах; інструмент замість універсального використовується як системи спеціального та унікального інструменту; керування від людини передано інтегрованим інформаційним системам і таке інше. Тобто крок за кроком людство наближається до безлюдного виробництва, а обладнання стає більш спеціалізованим з високими показниками якості.

Токарний верстат з ЧПК [ТС16А16Ф3Ф](#) фірми “СтаноМашКомплекс”. Загальний вид верстата наведений на рисунку 1.1.

					КРБ 21-065.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.	Сарабун						
Перевір.	Лещук						
Консульт.							
Н. Контр.	Кобельник						
Зав.каф.	Крупа						
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		



Рисунок 3.1 - Верстат [TC16A16Φ3](#)

Основні технічні характеристики верстата мод. TC16A16Φ3Ф, наведені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики верстата мод. TC16A16Φ3Ф

№	Найменування	Значення
1	Максимальний діаметр заготовки, мм:	320
	Максимальний діаметр виробу типу диск, мм:	320
	Найбільший діаметр обробки над супортом, мм:	160
2	Максимальна вага заготовки, кг.	130
3	Діаметр пінолі, мм	50
4	Конус пінолі задньої бабки	Морзе 4
5	Тип напрямних X	кочення
6	Тип напрямних Z	кочення
7	Розмір хвостовика різального інструменту	20×20
8	Максимальне переміщення по осі X, мм	300
9	Максимальне переміщення по осі Z, мм	350

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№	Найменування	Значення
10	Система ЧПК	Siemens 808 Advanced
11	Подача, мм/мин:	0,01-800
12	Габаритні розміри верстата, мм: довжина ширина висота	1900 1350 1500
13	Масса верстата , кг	1200

Токарний верстат з ЧПК GOODWAY серії TS для обробки невеликих деталей (GOODWAY) (рисунок 3.2)



Рисунок 3.2 - Токарний верстат з ЧПК GOODWAY серії TS

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні технічні характеристики верстата мод. GOODWAY серії TS, наведені у таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики верстата мод. GOODWAY

№	Найменування	Значення	
		TS-100	TS-150
1	Виробничі можливості		
2	Найбільший діаметр встановлюваного виробу	330 мм	
3	Найбільший діаметр обточки	200 мм	
4	Стандартний діаметр обточки	165 мм	
5	Максимальна довжина обточки	290 мм	
6	Максимальна вага заготовки	50 кг	
7	Шпиндель		
8	Розмір патрона	6"	
9	Передній кінець шпинделя	A2-5	
10	Отвір у шпинделі	41 мм	56 мм
11	Найбільший діаметр оброблюваного прутка	32 мм	45 мм
12	Вихідна потужність двигуна (пост./15 минут)	5,5 / 7,5 кВт	
13	Діапазон швидкостей обертання шпинделя	60 - 6000 об/хв	
14	Ось X і Z		
15	Швидкість швидкого переміщення по осям X/Z	24 м/хв	
16	Макс. переміщення по осі X	305 мм	
17	Макс. переміщення по осі Y	320 мм	
18	Загальні характеристики		
19	Маса верстата	1750 кг	
20	Габарити верстата (ДхШхВ)	17	

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Кінематичний розрахунок приводу головного руху

Визначаємо необхідну потужність двигуна:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{эф}}}{\eta} = \frac{6.7}{0.9} = 7.4 \text{ кВт} ;$$

де $\eta = 0.9$.

Вибираємо електродвигун типу 1PH7107 фірми “Siemens” [3].

Потужність $P = 7.5 \text{ кВт}$; $n_{\text{ном}} = 1500 \text{ хв}^{-1}$; $n_{\text{мах}} = 9000 \text{ хв}^{-1}$; Основні розміри двигуна наведені на рисунку 3.3.

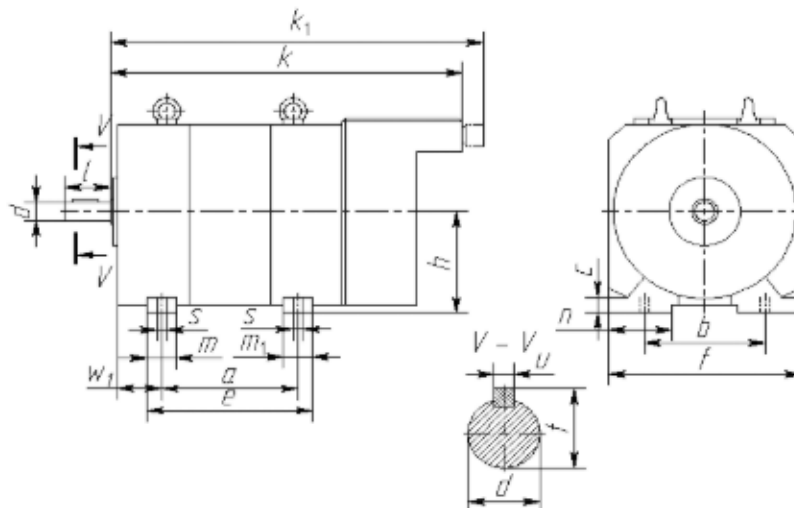


Рисунок 3.3.- Електродвигун 1PH7107

Визначаємо діапазон регулювання двигуна при постійній потужності:

$$D_{\text{дв}} = \frac{n_{\text{дв.мах}}}{n_{\text{дв.ном}}} = \frac{9000}{1500} = 6.$$

Визначаємо діапазон регулювання швидкості шпинделя при постійній потужності:

$$D_{\text{шп}} = \frac{n_{\text{шп.мах}}}{n_{\text{черн.}}} = \frac{5972.3}{229.4} = 26.03.$$

Визначаємо кількість діапазонів регулювання швидкостей:

$$Z_K = \frac{\ln D_{\text{шп}}}{\ln \phi_K} = \frac{\ln 26.03}{\ln 1.26^7} = 2.$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{\min} = \frac{\lg(\frac{n_{\max}}{n_{\min}})}{\lg \varphi_k} + 1 = \frac{\lg\left(\frac{9000}{40}\right)}{\lg 1.26} + 1 = 25.$$

Будуємо графік частот обертання:

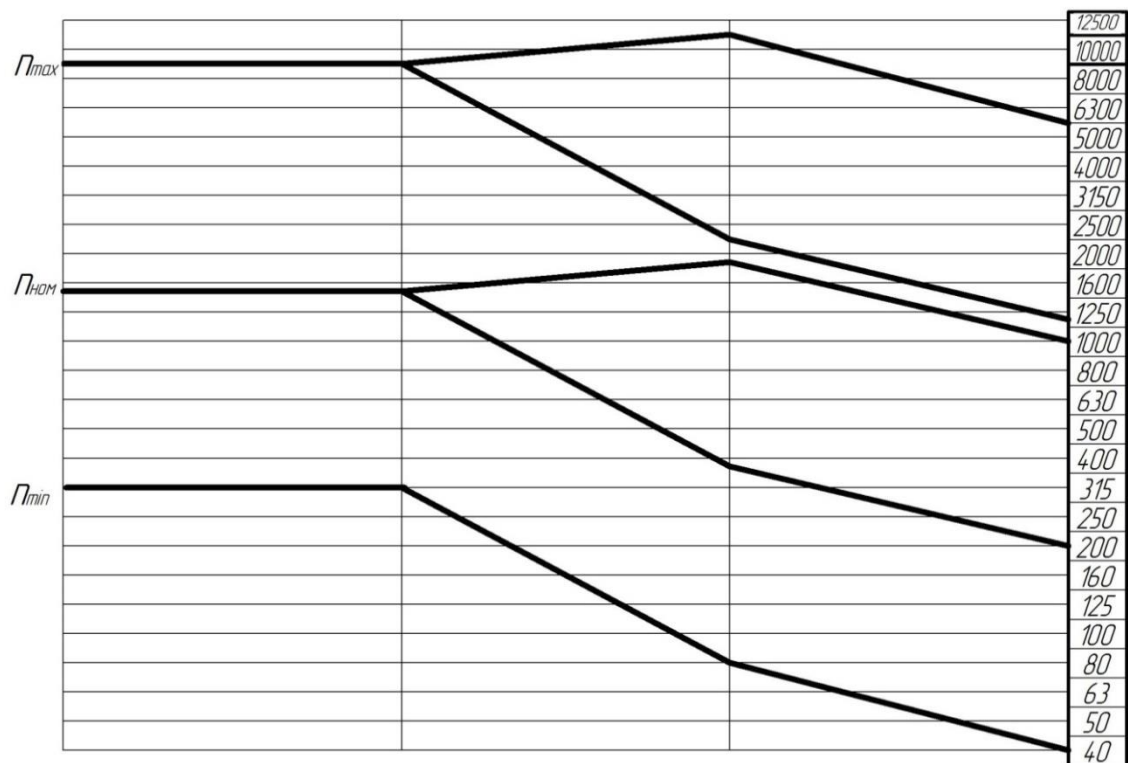


Рисунок 3.4-Графік частот обертання

Табл.3.3- Розрахунок числа зубів

$\frac{5}{4}$	9	*5	$\frac{25}{20}$	$\frac{50}{40}$
$\frac{1}{4}$	5	*9	$\frac{9}{36}$	$\frac{18}{72}$

Н.О.К.=45

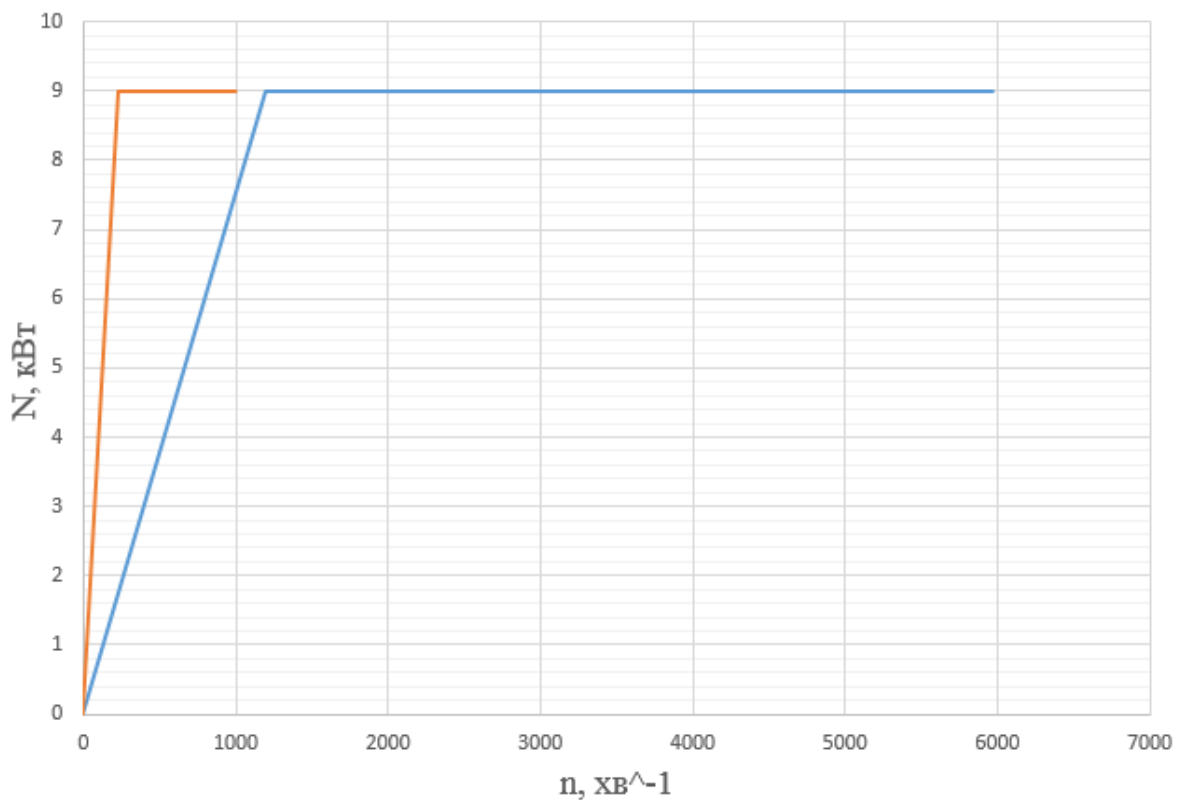


Рисунок 3.5- Діаграма потужності

3.3. Розрахунок приводу

Проектувальний розрахунок зубчастих коліс

Розрахунок прямозубої циліндричної передачі 1-2

Вихідні дані вибираємо з результатів кінематичного розрахунку.

$$P_1 = 8,73 \text{ кВт};$$

$$P_2 = 8,4 \text{ кВт};$$

$$n_1 = 1300 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_2 = 1900 \text{ хв}^{-1};$$

$$U_{1-2} = 1,25.$$

Проектувальний розрахунок

Призначення матеріалів і розрахунок допустимих напружень. Приймається для виготовлення шестерні й колеса Сталь 45 з термообробкою-поліпшення.

Обґрунтування. Зуби нарізають після ТО заготовки, при цьому досягається

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

достатня точність виготовлення зубчастих коліс без використання дорогих фінішних операцій. Колеса добре підпрацьовуються.

- для шестерні - твердість поверхні зубів $H_1 = 269..302$ HB;

$\sigma_{B1} = 890$ МПа; $\sigma_{T1} = 650$ МПа.

- для колеса – твердість поверхні зубів $H_2 = 235..262$ HB;

$\sigma_{B2} = 780$ МПа; $\sigma_{T2} = 540$ МПа.

Доступні контактні напруження:

$$[\sigma]_H = \frac{\sigma_{H \lim b}}{S_H} K_{HL} * Z_R * Z_V * K_L * K_{xH};$$

Для шестерні:

$$\sigma_{H \lim b} = 2H_{HB} + 70 = 2 * 285 + 70 = 640 \text{ МПа.}$$

$$S_H = 1,1;$$

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO1}}{N_{HE1}}} = \sqrt[6]{\frac{23374855}{599418840}} = 0,58 < 1, \text{приймається } K_{HL} = 1.$$

$$N_{HO1} = 30 * H_{HB}^{2,4} = 30 * 285^{2,4} = 23374855;$$

$$\begin{aligned} N_{HE1} &= 60 * n_1 * \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^3 * t_i \right] = \\ &= 60 * 1144 * \left(\frac{P}{P} \right)^3 * 5000 + \left(\frac{0,7P}{P} \right)^3 * 4500 + \left(\frac{0,5P}{P} \right)^3 * 3000 \\ &== 599418840. \end{aligned}$$

$$Z_R = 1 \text{ (приймається } Ra = 1,25 \dots 0,63);$$

$$Z_V = 1 \text{ (очікується } V < 5 \text{ м/с);}$$

$$K_L = 1 \text{ (закрита передача, що добре змащується);}$$

$$K_{xH} = 1 \text{ (очікується діаметр коліс менше 700 мм).}$$

$$[\sigma]_{H1} = \frac{640}{1,1} * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 = 582 \text{ МПа.}$$

Для колеса:

$$\sigma_{H \lim b} = 2H_{HB} + 70 = 2 * 250 + 70 = 570 \text{ МПа.}$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_H = 1,1;$$

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO2}}{N_{HE2}}} = \sqrt[6]{\frac{17067789}{374636775}} = 0,59, \text{ приймається } K_{HL} = 1;$$

$$N_{HO2} = 30 * H_{HB}^{2,4} = 30 * 250^{2,4} = 17067789;$$

$$N_{HE2} = \frac{H_{HE1}}{U_{1-2}} = \frac{599418840}{1,6} = 374636775;$$

$$Z_R = 1 \text{ (приймається } Ra = 1,25 \dots 0,63);$$

$$Z_V = 1 \text{ (очікується } V < 5 \text{ м/с);}$$

$$K_L = 1 \text{ (закрита передача, що добре змащується);}$$

$$K_{XH} = 1 \text{ (очікується діаметр коліс менше 700 мм).}$$

$$[\sigma]_{H2} = \frac{570}{1,1} * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 = 518 \text{ МПа.}$$

За розрахункове допустиме контактне напруження для прямозубої циліндричної передачі приймається менше з $[\sigma]_{H1}$ і $[\sigma]_{H2} - [\sigma]_{розр} = 518 \text{ МПа.}$

Призначення коефіцієнтів

$$\psi_{ba} = 1;$$

$$K_{H\alpha} = 1;$$

$$K_{H\beta} = 1,055 \text{ (див. табл. 35 при } \frac{b_2}{d_1} = \psi_{ba} \frac{U_{1-2} + 1}{2} = 0,315 \frac{1,6 + 1}{2} = 0,4),$$

$$K_{HV} = 1,2.$$

Розрахунок міжосьової відстані:

$$a \geq K_{ap}(U_{1-2} + 1) * \sqrt[3]{\frac{P_1 * K_{H\alpha} * K_{H\beta} * K_{HV}}{n_1 * \psi_{ba} * U_{1-2} * [\sigma]_{H \text{ розр}}^2}} =$$

$$= 9,75 * 10^3(1,6 + 1) * \sqrt[3]{\frac{4,06 * 1 * 1,055 * 1,2}{1144 * 0,315 * 1,6 * 518^2}} = 81 \text{ мм}$$

Приймається стандартна $a = 100 \text{ мм.}$

Призначення модуля:

$$m = (0,01 \dots 0,025)a = (0,01 \dots 0,025) * 100 = (1 \dots 2,5) \text{ мм}$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймається $m = 2$;

$$(z_1 + z_2) = \frac{2a}{m} = \frac{2 * 100}{2} = 100$$

Призначення чисел зубців:

$$z_1 = \frac{z_1 + z_2}{U_{1-2} + 1} = \frac{100}{1,6 + 1} = 38$$

$$z_2 = (z_1 + z_2) - z_1 = 100 - 38 = 62$$

$$U_{1-2\phi} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{62}{38} = 1,6$$

$$\Delta U = \left| \frac{U_{1-2} - U_{1-2\phi}}{U_{1-2}} \right| * 100\% = \left| \frac{1,6 - 1,6}{1,6} \right| * 100\% = 0\% < [\Delta U] = 2,5\%$$

Розрахунок геометричних розмірів зубчастих коліс:

$$b = b_2 = \psi_{ba} * a = 0,315 * 100 = 31,5 \text{ мм}$$

Приймається з ряду нормальних лінійних розмірів $b_2 = 32 \text{ мм}$,

$$d_1 = m * z_1 = 2 * 38 = 76 \text{ мм}$$

$$d_{a1} = d_1 + 2m = 76 + 2 * 2 = 80 \text{ мм}$$

$$d_{f1} = d_1 - 2,5m = 76 - 2,5 * 2 = 71 \text{ мм}$$

$$d_2 = m * z_2 = 2 * 62 = 124 \text{ мм}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2m = 124 + 2 * 2 = 128 \text{ мм}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2,5m = 124 - 2,5 * 2 = 119 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} = a; \frac{76}{2} + \frac{124}{2} = 100$$

Призначення ступення точності:

$$V = \frac{\pi * d_1 * n_1}{60000} = \frac{3,14 * 76 * 1144}{60000} = 4,55 \text{ м/с}$$

Призначається ступінь точності: 8-В ДСТ 1643-81.

Перевірний розрахунок для передачі 1-2

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка на контактну втомну міцність

$$\sigma_H \leq [\sigma]_H$$

$$\sigma_H = z_M * z_H * z_\varepsilon * \frac{1}{d_1} * \sqrt{\frac{2 * 9,55 * 10^6 * P_1 * K_{H\alpha} * K_{H\beta} * K_{HV} * (U_{1-2} + 1)}{n_1 * b_2 * U_{1-2}}}$$

де $z_M = 275$ МПа;

$$z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,73}{3}} = 0,86;$$

$$\varepsilon_\alpha = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2}\right) = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{35} + \frac{1}{55}\right) = 1,73;$$

$$z_H = 1,76;$$

$K_{H\alpha} = 1$ (прямі зуби);

$K_{H\beta} = 1,055$ (див. табл. 35 при $\frac{b_2}{d_1} = \frac{32}{76} = 0,4$; поблизу одної з опор колеса припрацьовуються);

$K_{HV} = 1,18$ (див. табл. 36 при $V = 4,55 \frac{м}{с}$;

ступінь точності по нормі плавності – 8; $H_2 \leq 350$ НВ).

$$\sigma_H = 275 * 1,76 * 0,86 * \frac{1}{76} * \sqrt{\frac{2 * 9,55 * 10^6 * 4,06 * 1 * 1,055 * 1,18 * (1,6 + 1)}{1144 * 32 * 1,6}} = 359 \text{ МПа}$$

359 МПа < 518 МПа – контактну втомну міцність забезпечено.

Перевірка на втомну міцність при згинанні:

$$\sigma_F \leq [\sigma]_F;$$

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{F \text{ lim } b}}{S_H} * K_F * K_{FL}.$$

Для шестерні:

$$\sigma_{F \text{ lim } b} = 1,8 * H_{HB} = 1,8 * 285 = 513 \text{ МПа};$$

$K_{FC} = 1$ (неревверсивна передача);

$S_H = 2,2$ (при ймовірності не руйнування зубів більше 0,99);

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{382756923}} = 0,5 < 1, \text{приймається } K_{FL} = 1$$

$$N_{FO} = 4 * 10^6;$$

$$N_{FE1} = 60 * n_1 * \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^3 * t_i \right] =$$

$$= 60 * 1144 * (1 * 5000 + 0,7^6 * 4500 + 0,5^6 * 3000 = 382756923;$$

$$[\sigma]_{F1} = \frac{513}{2,2} * 1 * 1 = 233 \text{ МПа.}$$

Для колеса:

$$F_{limb} = 1,8 * H_{HB} = 1,8 * 250 = 450 \text{ МПа;}$$

$$K_{FC} = 1 \text{ (неревверсивна передача);}$$

$$S_H = 2,2 \text{ (при ймовірності не руйнування зубів більше 0,99);}$$

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE2}}} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{239223076}} = 0,5 < 1, \text{приймається } K_{FL} = 1;$$

$$N_{FO} = 4 * 10^6;$$

$$N_{FE2} = \frac{N_{FE1}}{U_{1-2}} = \frac{382756923}{1,6} = 239223076;$$

$$[\sigma]_{F2} = \frac{450}{2,2} * 1 * 1 = 205 \text{ МПа.}$$

$$Y_{F1} = 3,7 \text{ (табл. 22 при } z_1 = 38 \text{ і } x = 0);$$

$$Y_{F2} = 3,62 \text{ (табл. 22 при } z_2 = 62 \text{ і } x = 0).$$

$$\frac{[\sigma]_{F1}}{Y_{F1}} = \frac{233}{3,7} = 63;$$

$$\frac{[\sigma]_{F2}}{Y_{F2}} = \frac{205}{3,62} = 57.$$

Більш «слабким» елементом є колесо, по якому ведеться подальший розрахунок.

$$\sigma_{F2} = Y_{F2} * \frac{2 * 9,55 * 10^6 * P_2 * K_{F\alpha} * K_{F\beta} * K_{FV}}{n_2 * d_2 * b_2 * m}$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $K_{H\alpha} = 1$ (прямі зуби);

$K_{H\beta} = 1,1$ (див. табл. 35 при $\frac{b_2}{d_1} = \frac{32}{76} = 0,4$; поблизу однієї з опор, колеса припрацьовуються);

$K_{HV} = 1,14$ (див. табл. 36 при $V = 4,55 \frac{M}{c}$;

ступінь точності по нормі плавності – 8).

$$\sigma_{F2} = 3,62 * \frac{2 * 9,55 * 10^6 * 3,94 * 1 * 1,1 * 1,14}{715 * 124 * 32 * 2} = 61,2 \text{ МПа.}$$

61,2 МПа < 205 МПа – втомну міцність при згинанні забезпечено.

Перевірка на контактну міцність при дії максимальних навантажень.

$$\sigma_{H \max} \leq [\sigma]_{H \max};$$

$$\sigma_{H \max} = \sigma_H * \sqrt{K_{\text{пер}}} = 359 * \sqrt{2,03} = 511 \text{ МПа,}$$

$$\text{де } K_{\text{пер}} = \left(\frac{T_{\max}}{T_{\text{ном}}} \right) \left(\frac{P_{\text{ед}}}{P_{\text{потр}}} \right) = 2,2 * \frac{4}{4,32} = 2,03;$$

$$[\sigma]_{H \max} = 2,8 * \sigma_T = 2,8 * 540 = 1512 \text{ МПа.}$$

511 МПа < 1512 МПа – контактну міцність при дії максимальних навантажень забезпечено.

Перевірка на міцність при згинанні максимальним навантаженням:

$$\sigma_{F \max} \leq [\sigma]_{F \max};$$

$$\sigma_{F \max} = \sigma_F * K_{\text{пер}} = 61,2 * 2,03 = 124,4 \text{ МПа;}$$

$$[\sigma]_{F \max} = 2,75 H_{HB} = 2,75 * 250 = 688 \text{ Мпа.}$$

124,4 МПа < 688 МПа – міцність при згинанні максимальним навантаженням забезпечено.

Розрахунок прямозубої циліндричної передачі 3-4

Вихідні дані вибираємо з результатів кінематичного розрахунку.

$$P_3 = 3,9 \text{ кВт;}$$

$$P_4 = 3,78 \text{ кВт;}$$

$$n_3 = 715 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_4 = 201,4 \text{ хв}^{-1};$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{3-4} = 3,55.$$

Проектувальний розрахунок

- для шестерні - твердість поверхні зубів $H_3 = 269..302$ HB;

$$\sigma_{B3} = 890 \text{ МПа}; \sigma_{T3} = 650 \text{ МПа}.$$

- для колеса – твердість поверхні зубів $H_4 = 235..262$ HB;

$$\sigma_{B4} = 780 \text{ МПа}; \sigma_{T4} = 540 \text{ МПа}.$$

Доступні контактні напруження:

$$[\sigma]_H = \frac{\sigma_{H \lim b}}{S_H} K_{HL} * Z_R * Z_V * K_L * K_{XH}.$$

Для шестерні:

$$\sigma_{H \lim b} = 2H_{HB} + 70 = 2 * 285 + 70 = 640 \text{ МПа};$$

$$S_H = 1,1;$$

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO3}}{N_{HE3}}} = \sqrt[6]{\frac{23374855}{296803650}} = 0,65 < 1, \text{приймається } K_{HL} = 1;$$

$$N_{HO3} = 30 * H_{HB}^{2,4} = 30 * 285^{2,4} = 23374855;$$

$$\begin{aligned} N_{HE3} &= 60 * n_3 * \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^3 * t_i \right] = \\ &= 60 * 715 * \left(\frac{P}{P} \right)^3 * 5000 + \left(\frac{0,7P}{P} \right)^3 * 4500 + \left(\frac{0,5P}{P} \right)^3 * 3000 \\ &= 296803650 \end{aligned}$$

$$Z_R = 1 \text{ (приймається } R_a = 1,25 \dots 0,63);$$

$$Z_V = 1 \text{ (очікується } V < 5 \text{ м/с);}$$

$$K_L = 1 \text{ (закрита передача, що добре змащується);}$$

$$K_{XH} = 1 \text{ (очікується діаметр коліс менше 700 мм).}$$

$$[\sigma]_{H3} = \frac{640}{1,1} * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 = 582 \text{ МПа}.$$

Для колеса:

$$\sigma_{H \lim b} = 2H_{HB} + 70 = 2 * 250 + 70 = 570 \text{ МПа}.$$

$$S_H = 1,1;$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO4}}{N_{HE4}}} = \sqrt[6]{\frac{17067789}{836606661}} = 0,52, \text{ приймається } K_{HL} = 1$$

$$N_{HO4} = 30 * H_{HB}^{2,4} = 30 * 250^{2,4} = 17067789$$

$$N_{HE4} = \frac{H_{HE3}}{U_{3-4}} = \frac{296803650}{3,55} = 836606661$$

$$Z_R = 1 \text{ (приймається } Ra = 1,25 \dots 0,63);$$

$$Z_V = 1 \text{ (очікується } V < 5 \text{ м/с);}$$

$$K_L = 1 \text{ (закрита передача, що добре змащується);}$$

$$K_{XH} = 1 \text{ (очікується діаметр коліс менше 700 мм).}$$

$$[\sigma]_{H4} = \frac{570}{1,1} * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 = 518 \text{ МПа.}$$

За розрахункове допустиме контактне напруження для прямозубої циліндричної передачі приймається менше з $[\sigma]_{H1}$ і $[\sigma]_{H2} - [\sigma]_{розр} = 518 \text{ МПа.}$

Призначення коефіцієнтів

$$\psi_{ba} = 0,2 \text{ (приймається з рекомендацій, див. табл. 18);}$$

$$K_{H\alpha} = 1 \text{ (прямі зуби);}$$

$$K_{H\beta} = 1,1 \text{ (див. табл. 35 при } \frac{b_4}{d_3} = \psi_{ba} \frac{U_{3-4}-1}{2} = 0,2 \frac{3,55-1}{2} = 0,255);$$

$$K_{HV} = 1,2 \text{ (для проектувального розрахунку).}$$

Розрахунок міжосьової відстані:

$$a \geq K_{ap}(U_{3-4} - 1) * \sqrt[3]{\frac{P_3 * K_{H\alpha} * K_{H\beta} * K_{HV}}{n_3 * \psi_{ba} * U_{3-4} * [\sigma]_{H \text{ розр}}^2}} =$$

$$= 9,75 * 10^3(3,55 - 1) * \sqrt[3]{\frac{3,9 * 1 * 1,1 * 1,2}{715 * 0,2 * 3,55 * 518^2}} = 83,4 \text{ мм}$$

Приймається стандартна $a=100 \text{ мм;}$

Призначення модуля:

$$m = (0,01 \dots 0,025)a = (0,01 \dots 0,025) * 100 = (1 \dots 2,5) \text{ мм}$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймається $m = 2$;

$$(z_4 - z_3) = \frac{2a}{m} = \frac{2 * 100}{2} = 100$$

Призначення чисел зубців:

$$z_3 = \frac{z_4 - z_3}{U_{3-4} - 1} = \frac{100}{3,55 - 1} = 39$$

$$z_4 = (z_4 - z_3) + z_3 = 100 + 39 = 139$$

$$U_{3-4\phi} = \frac{z_4}{z_3} = \frac{139}{39} = 3,56$$

$$\Delta U = \left| \frac{U_{3-4} - U_{3-4\phi}}{U_{3-4}} \right| * 100\% = \left| \frac{3,55 - 3,56}{3,55} \right| * 100\% = 0,2\% < [\Delta U] \\ = 2,5\%$$

Розрахунок геометричних розмірів зубчастих коліс:

$$b_3 = b_4 = \psi_{ba} * a = 0,2 * 100 = 20 \text{ мм}$$

Приймається з ряду нормальних лінійних розмірів $b_4 = 20 \text{ мм}$

$$d_3 = m * z_3 = 2 * 39 = 78 \text{ мм}$$

$$d_{a3} = d_3 + 2m = 78 + 2 * 2 = 82 \text{ мм}$$

$$d_{f3} = d_3 - 2,5m = 78 - 2,5 * 2 = 73 \text{ мм}$$

$$d_4 = m * z_4 = 2 * 139 = 278 \text{ мм}$$

$$d_{a4} = d_4 - 2m = 278 - 2 * 2 = 274 \text{ мм}$$

$$d_{f4} = d_4 + 2,5m = 278 + 2,5 * 2 = 283 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$\frac{d_4}{2} - \frac{d_3}{2} = a; \frac{278}{2} - \frac{78}{2} = 100$$

Призначення ступення точності:

$$V = \frac{\pi * d_3 * n_3}{60000} = \frac{3,14 * 78 * 715}{60000} = 2,91 \text{ м/с}$$

Призначається ступінь точності: 8-В ДСТ 1643-81.

Перевірний розрахунок для передачі 3-4

Перевірка на контактну втомну міцність

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_H \leq [\sigma]_H$$

$$\sigma_H = z_M * z_H * z_\varepsilon * \frac{1}{d_3} * \sqrt{\frac{2 * 9,55 * 10^6 * P_3 * K_{H\alpha} * K_{H\beta} * K_{HV} * (U_{3-4} - 1)}{n_3 * b_4 * U_{3-4}}}$$

де $z_M = 275$ МПа;

$$z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,94}{3}} = 0,82$$

$$\varepsilon_\alpha = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{z_4} - \frac{1}{z_3} \right) = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{125} - \frac{1}{35} \right) = 1,94$$

$$z_H = 1,76$$

$K_{H\alpha} = 1$ (прямі зуби);

$K_{H\beta} = 1,06$ (див. табл. 35 при $\frac{b_4}{d_2} = \frac{20}{78} = 0,25$; на консолі колеса припрацьовуються);

$K_{HV} = 1,12$ (див. табл. 36 при $V = 2,91 \frac{м}{с}$;

ступінь точності по нормі плавності – 8).

$$\sigma_H = 275 * 1,76 * 0,82 * \frac{1}{78} * \sqrt{\frac{2 * 9,55 * 10^6 * 3,9 * 1 * 1,06 * 1,2 * (3,56 - 1)}{715 * 20 * 3,56}} = 339 \text{ МПа}$$

339 МПа < 518 МПа – контактну втомну міцність забезпечено.

Перевірка на втомну міцність при згинанні:

$$\sigma_F \leq [\sigma]_F$$

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{F \lim b}}{S_H} * K_F * K_{FL}$$

Для шестерні:

$$\sigma_{F \lim b} = 1,8 * H_{HB} = 1,8 * 285 = 513 \text{ МПа},$$

$K_{FC} = 1$ (нереверсивна передача);

$S_H = 2,2$ (при ймовірності не руйнування зубів 0,99);

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE3}}} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{239223076}} = 0,5 < 1, \text{приймається } K_{FL} = 1,$$

$$N_{FO} = 4 * 10^6;$$

$$N_{FE3} = 60 * n_3 * \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^3 * t_i \right] =$$

$$= 60 * 715 * (1 * 5000 + 0,7^6 * 4500 + 0,5^6 * 3000 = 239223076$$

$$[\sigma]_{F3} = \frac{513}{2,2} * 1 * 1 = 233 \text{ МПа.}$$

Для колеса:

$$F_{limb} = 1,8 * H_{HB} = 1,8 * 250 = 450 \text{ МПа,}$$

$$K_{FC} = 1 \text{ (нереверсивна передача);}$$

$$S_H = 2,2 \text{ (при ймовірності не руйнування зубів 0,99);}$$

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE4}}} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{6738678}} = 0,6 < 1, \text{приймається } K_{FL} = 1,$$

$$N_{FO} = 4 * 10^6;$$

$$N_{FE4} = \frac{N_{FE3}}{U_{3-4}} = \frac{239223076}{3,55} = 67386781,$$

$$[\sigma]_{F4} = \frac{450}{2,2} * 1 * 1 = 205 \text{ МПа.}$$

$$Y_{F3} = 3,7 \text{ (табл.22 при } z_3 = 39 \text{ і } x = 0);$$

$$Y_{F4} = 3,6 \text{ (табл.22 при } z_4 = 139 \text{ і } x = 0).$$

$$\frac{[\sigma]_{F3}}{Y_{F3}} = \frac{233}{3,7} = 63$$

$$\frac{[\sigma]_{F4}}{Y_{F4}} = \frac{205}{3,62} = 57$$

Більш «слабким» елементом є колесо, по якому ведеться подальший розрахунок.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{F4} = Y_{F4} * \frac{2 * 9,55 * 10^6 * P_4 * K_{F\alpha} * K_{F\beta} * K_{FV}}{n_4 * d_4 * b_4 * t}$$

де $K_{H\alpha} = 1$ (прямі зуби);

$K_{H\beta} = 1,18$ (див. табл. 35 при $\frac{b_4}{d_2} = \frac{20}{78} = 0,25$); на косолі, колеса припрацьовуються);

$K_{HV} = 1,28$ (див. табл. 36 при $V = 2,91 \frac{м}{с}$;

ступінь точності по нормі плавності – 8).

$$\sigma_{F4} = 3,6 * \frac{2 * 9,55 * 10^6 * 3,78 * 1 * 1,18 * 1,28}{201,4 * 278 * 20 * 2} = 175 \text{ МПа.}$$

175 МПа < 205 МПа – втомну міцність при згинанні забезпечено.

Перевірка на контактну міцність при дії максимальних навантажень.

$$\sigma_{H \max} \leq [\sigma]_{H \max}$$

$$\sigma_{H \max} = \sigma_H * \sqrt{K_{\text{пер}}} = 339 * \sqrt{2,037} = 483 \text{ МПа}$$

$$\text{де } K_{\text{пер}} = \left(\frac{T_{\max}}{T_{\text{ном}}} \right) \left(\frac{P_{\text{ед}}}{P_{\text{потр}}} \right) = 2,2 * \frac{4}{4,32} = 2,037$$

$$[\sigma]_{H \max} = 2,8 * \sigma_T = 2,8 * 540 = 1512 \text{ МПа.}$$

483 МПа < 1512 МПа – контактну міцність при дії максимальних навантажень забезпечено.

Перевірка на міцність при згинанні максимальним навантаженням:

$$\sigma_{F \max} \leq [\sigma]_{F \max}$$

$$\sigma_{F \max} = \sigma_F * K_{\text{пер}} = 175 * 2,037 = 355 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{F \max} = 2,75 H_{HB} = 2,75 * 250 = 688 \text{ МПа}$$

355 МПа < 688 МПа – міцність при згинанні максимальним навантаженням забезпечено.

Проектувальний розрахунок валів

Визначаємо діаметри валів

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d = 110 \sqrt[4]{\frac{N_{дв}}{n_{вала}}}$$

$$d_1 = 110 \sqrt[4]{\frac{7,5}{1350}} = 30,03 = 30 \text{ мм}$$

$$d_2 = 110 \sqrt[4]{\frac{7,5}{370}} = 41,5 = 45 \text{ мм}$$

Перевірочні розрахунки на витривалість

Розрахунок навантажень:

$$F_{t1} = F_{t2} = \frac{2000 * T_{z1}}{d_1} = \frac{2000 * 53,05}{100} = 1061 \text{ Н}$$

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t1} * \tan \alpha = 1061 * \tan 20^\circ = 385,8 \text{ Н}$$

$$F_{t3} = F_{t4} = \frac{2000 * T_{z3}}{d_3} = \frac{2000 * 53,05}{45} = 2357,7 \text{ Н}$$

$$F_{r3} = F_{r4} = F_{t3} * \tan \alpha = 2357,7 * \tan 20^\circ = 858,13 \text{ Н}$$

Q=1155,7 – розрахунок пасової передачі;

Розрахунок вхідного валу

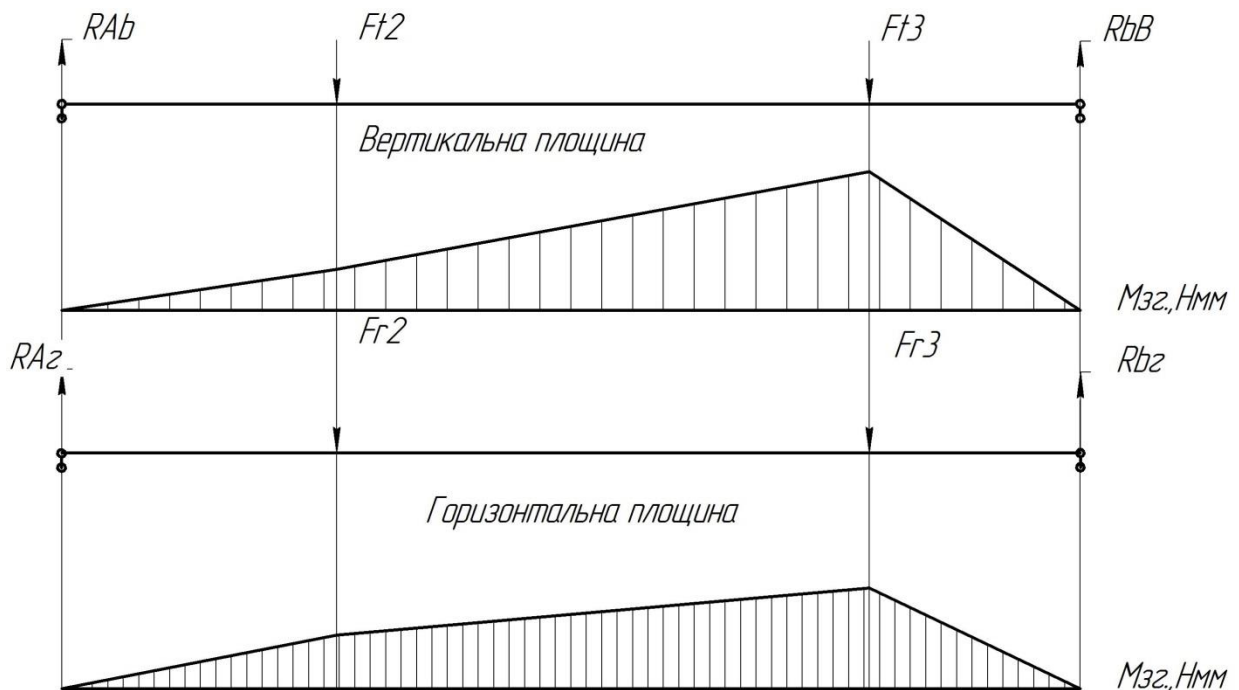


Рисунок 3.6 – Схема навантаження і епюр вхідного валу

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вертикальна площина:

$$a = 22,9 \text{ мм};$$

$$b = 51,6 \text{ мм};$$

$$c = 24,7 \text{ мм}.$$

$$\sum M_a = 0; -F_{t1} * a - F_{t3} * (a + b) + R_B^B * (b + c + a) = 0$$

$$R_B^B = \frac{F_{t1} * a + F_{t3} * (a + b)}{b + c + a} = \frac{1061 * 22.9 + 2357.7 * 74.5}{99.2} = 2015.6 \text{ Н}$$

$$\sum M_b = 0; -R_A^B * (b + c + a) + F_{t3} * c + F_{t2} * (b + c) = 0$$

$$R_A^B = \frac{F_{t3} * c + F_{t2} * (b + c)}{b + c + a} = \frac{2357.7 * 24.7 + 1061 * 76.3}{99.2} = 1403.1 \text{ Н}$$

Перевірка:

$$\sum F = 0; R_A^B - F_{t1} + R_B^B - F_{t3} = 0$$

Згинанні моменти у вертикальній площині:

$$M_1 = 0 \text{ Н * мм};$$

$$M_2 = R_A^B * a = 1403.1 * 22.9 = 32130.9 \text{ Н * мм};$$

$$M_3 = R_B^B * c = 2015.6 * 24.7 = 49785.3 \text{ Н * мм};$$

$$M_4 = 0 \text{ Н * мм}.$$

Горизонтальна площина:

$$\sum M_a = 0; -F_{r2} * a - F_{r3} * (a + b) + R_B^r * (b + c + a) = 0$$

$$R_B^r = \frac{F_{r2} * a + F_{r3} * (a + b)}{b + c + a} = \frac{385.8 * 22.9 + 858.1 * 74.5}{99.2} = 733.5 \text{ Н}$$

$$\sum M_b = 0; F_{r3} * c + F_{r2} * (c + b) - R_A^r * (b + c + a) = 0$$

$$R_A^r = \frac{F_{r3} * c + F_{r2} * (c + b)}{b + c + a} = \frac{858.1 * 24.7 + 385.8 * 76.3}{99.2} = 510.4 \text{ Н}$$

Перевірка:

$$\sum F = 0; -F_{r2} + R_A^r - F_{r1} + R_B^r = 0$$

Згинанні моменти у горизонтальній площині:

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_1 = 0 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_2 = R_A^\Gamma * a = 510.4 * 22.9 = 11688.16 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_3 = R_B^\Gamma * c = 733.5 * 24.7 = 18117.45 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_4 = 0 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Сумарні згинальні моменти

$$M_{зг1} = 0 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{зг2} = \sqrt{32130,9^2 * 11688,16^2} = 34190,7 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{зг3} = \sqrt{49785,3^2 + 18117,5^2} = 52979,4 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{зг4} = 0 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Небезпечний переріз валу є переріз у точці 3.

$$d = d_{n1} = 30 \text{ мм};$$

$$M_{зг} = 52979,4 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$T = 38700 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$S \geq [S];$$

$$[S] > 1,75 \dots 2,5$$

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} * \sigma_a + \psi_\sigma * \sigma_m} = \frac{320}{3,2 * 19,6} = 5,1$$

Матеріал валу: 40Х

$$\sigma_{-1} = 320 \text{ МПа};$$

$$\psi_\sigma = 0,25 - \text{легована сталь};$$

$$\sigma_a = \sigma_{зг} = \frac{M_{зг}}{W_0} = \frac{52979,4}{2700} = 19,6 \text{ МПа};$$

$$W_0 = 0,1 * d^3 = 0,1 * 30^3 = 2700 \text{ мм}^3;$$

$$\sigma_m = \sigma_p = \frac{F_a}{A} = 0 \text{ тому що } F_a = 0;$$

$$K_{\sigma D} = \frac{\frac{K_\sigma}{K_{d\sigma}} + K_F - 1}{K_V} = \frac{\frac{1,8}{0,77} + 1,1 - 1}{1} = 2,4;$$

$$K_\sigma = 2,4;$$

$$\sigma_B = 600 \text{ МПа};$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$K_{d\sigma} = 0,77$ – для діаметра валу $d = 30$ мм;

$K_F = 1,1$ – при шорсткості $R_a = 1,1$;

$K_V = 1$ – поверхневе зміцнення не передбачене.

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D} * \tau_a + \psi_\tau * \tau_m} = \frac{200}{2,4 * 3,55 + 0,15 * 3,55} = 22$$

$\tau_{-1} = 200$ МПа;

$\psi_\tau = 0,15$

$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_{кр}}{2} = \frac{7,1}{2} = 3,55$ МПа;

$$\tau_{кр} = \frac{T}{W_p} = \frac{38700}{0,2 * 30^3} = 7,1 \text{ МПа};$$

$$K_{\tau D} = \left(\frac{K_\tau}{K_{d\tau}} + K_F - 1 \right) = \left(\frac{1,8}{0,77} + 1,1 - 1 \right) = 2,4;$$

$K_\tau = 1,8$;

$K_{d\tau} = 0,77$ – для діаметра валу $d = 30$ мм;

$K_F = 1,1$ – при шорсткості $R_a = 1,1$;

$$S = \frac{S_\sigma * S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} = \frac{5,1 * 22}{\sqrt{5,1^2 + 22^2}} = 4,9$$

$[S] = 1,7 \dots 2,5$ – втомна витривалість валу забезпечена.

Розрахунок вихідного валу

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

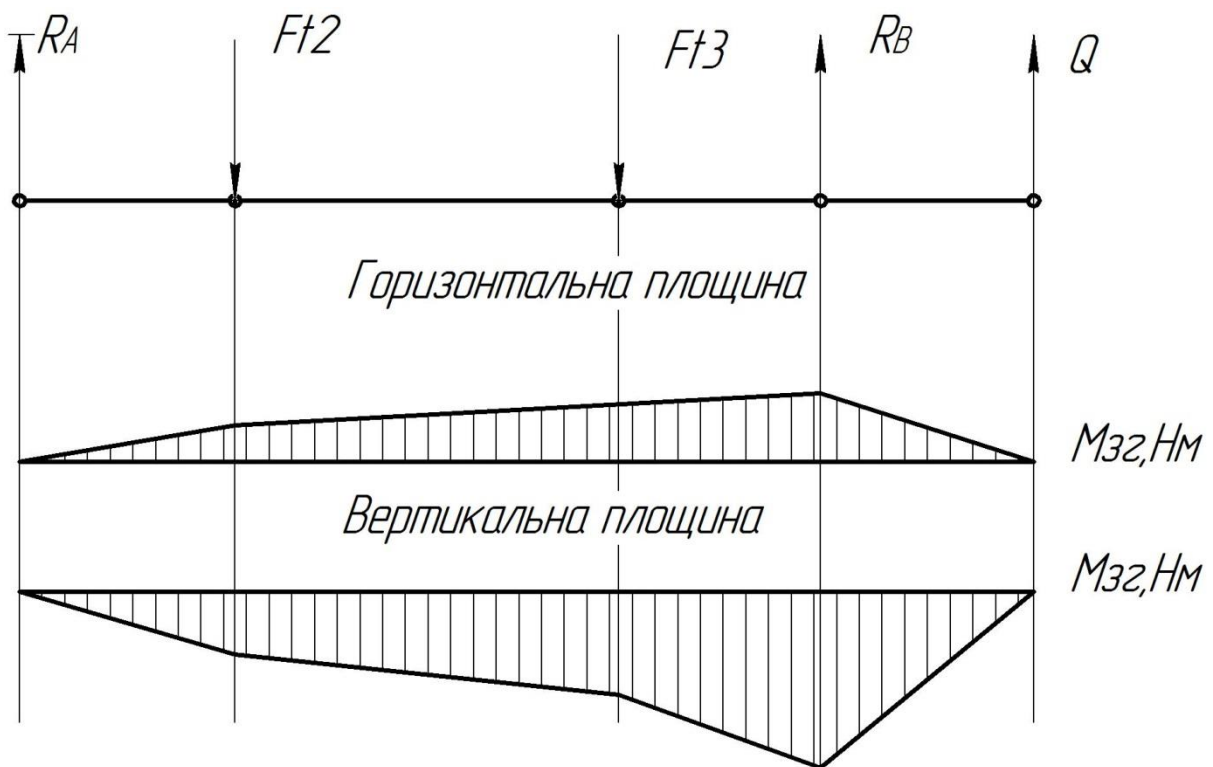


Рисунок 3.7 – Схема навантаження і епюр валу

Вертикальна площина:

$a = 28,4 \text{ мм}$; $d = 63,8 \text{ мм}$.

$b = 51,6 \text{ мм}$;

$c = 27,6 \text{ мм}$;

$$\sum M_a = 0; R_A^B * (a + b + c) - F_{t2} * a - F_{t3} * (a + b) = 0$$

$$R_B^B = \frac{F_{t2} * a + F_{t3} * (a + b)}{a + b + c} = \frac{1061 * 28,4 + 2357,7 * 80}{107,6} = 2032,9 \text{ Н}$$

$$\sum M_b = 0; -R_A^B * (a + b + c) + F_{t2} * (b + c) - F_{t3} * c = 0$$

$$R_A^B = \frac{F_{t2} * (b + c) + F_{t3} * c}{a + b + c} = \frac{1061 * 79,2 + 2357,7 * 27,6}{107,6} = 1385,72 \text{ Н}$$

Перевірка:

$$\sum F = 0; R_A^B - F_{t2} + R_B^B - F_{t3} = 0$$

Згинанні моменти у вертикальній площині:

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_1 = 0 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_2 = R_A^B * a = 1385.72 * 28.4 = 39354.5 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_3 = R_B^B * c = 2032.9 * 27.6 = 56108.4 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_4 = 0 \text{ H} * \text{мм}.$$

Горизонтальна площина:

$$\sum M_a = 0; -F_{r2} * a + R_B^r * (a + b + c) - F_{r3} * (a + b) - Q * (a + b + c + d) = 0$$

$$R_B^r = \frac{F_{r2} * a + F_{r3} * (a + b) + Q * (a + b + c + d)}{a + b + c} = \frac{385.8 * 28.4 + 858.13 * (28.4 + 51.6) + 1155.7 * 171.4}{107.6} = 2580.8 \text{ H}$$

$$\sum M_b = 0; -R_A^r * (a + b + c) + F_{r2} * (a + b) + F_{r3} * a - Q * (c + d) = 0$$

$$R_A^r = \frac{F_{r2} * (a + b) + F_{r3} * a - Q * (c + d)}{a + b + c} = \frac{858.13 * 27.6 + 385.8 * 79.2 - 1155.7 * 63.8}{107.6} = -181.17 \text{ H}$$

Перевірка:

$$\sum F = 0; R_A^r - F_{r2} - R_B^r + F_{r3} - Q = 0$$

Згинанні моменти у горизонтальній площині:

$$M_1 = M_5 = 0 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_2 = R_A^r * a = -181.17 * 28.4 = -5145.22 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_3 = -Q * (c + d) + R_B^r * c = -1155.7 * 91.4 + 2580.8 * 27.6 = -34400.9 \text{ H} * \text{мм}$$

$$M_4 = -Q * c = -1155.7 * 63.8 = -73733.66 \text{ H} * \text{мм}.$$

$$M_{зг1} = 0 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_{зг2} = \sqrt{39.354^2 + (-5142.22)^2} = 39689.02 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_{зг3} = \sqrt{56108.4^2 + (-34400.9)^2} = 65814.6 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_{зг4} = 73733.66 \text{ H} * \text{мм}.$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Небезпечний переріз валу є переріз є у точці 4.

$$d = d_{n2} = 45 \text{ мм};$$

$$M_{3\Gamma} = 54760 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$T = 193580 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$S \geq [S];$$

$$[S] > 1,75 \dots 2,5$$

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} * \sigma_a + \psi_{\sigma} * \sigma_m} = \frac{320}{3,4 * 8,09} = 11,6$$

Матеріал валу: Сталь 40Х

$$\sigma_{-1} = 320 \text{ МПа};$$

$$\psi_{\sigma} = 0,15;$$

$$\sigma_a = \sigma_{3\Gamma} = \frac{M_{3\Gamma}}{W_0} = \frac{73733,66}{9112,5} = 8,09 \text{ МПа};$$

$$W_0 = 0,1 * d^3 = 0,1 * 45^3 = 9112,5 \text{ м}^3;$$

$$\sigma_m = \sigma_p = \frac{F_a}{A} = 0 \text{ тому що, } F_a = 0;$$

$$K_{\sigma D} = \frac{\frac{K_{\sigma} + K_F - 1}{K_{d\sigma}}}{K_V} = \left(\frac{2,4}{0,72} + 1,1 - 1 \right) / 1 = 3,4;$$

$$K_{\sigma} = 2,4;$$

$$\sigma_B = 600 \text{ МПа};$$

$$K_{d\sigma} = 0,72 - \text{для діаметра валу } d = 45 \text{ мм};$$

$$K_F = 1,1 - \text{при шорсткості } R_a = 1,1;;$$

$$K_V = 1 - \text{поверхневе зміцнення не передбачене.}$$

$$S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D} * \tau_a + \psi_{\tau} * \tau_m} = \frac{200}{2,5 * 8,4 + 0,1 * 8,4} = 9,1$$

$$\tau_{-1} = 150 \text{ МПа};$$

$$\psi_{\tau} = 0,15;$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_{кр}}{2} = \frac{10,6}{2} = 5,3 \text{ МПа};$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau_{кр} = \frac{T}{W_p} = \frac{193580}{0,2 \cdot 45^3} = 10,6 \text{ МПа};$$

$$K_{\tau D} = \left(\frac{K_{\tau}}{K_{d\tau}} + K_F - 1 \right) = \left(\frac{1,8}{0,73} + 1,1 - 1 \right) = 2,5;$$

$$K_{\tau} = 1,8;$$

$$K_{d\tau} = 0,73 - \text{для діаметра валу } d = 45 \text{ мм};$$

$$K_F = 1,1 - \text{при шорсткості } R_a = 1,1;$$

$$S = \frac{S_{\sigma} \cdot S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}} = \frac{11,6 \cdot 9,1}{\sqrt{11,6^2 + 9,1^2}} = 7,1$$

$[S] = 1,7 \dots 2,5$ – втомна витривалість валу забезпечена.

Перевірочний розрахунок підшипників

Розрахунок підшипників вхідного валу

Для підшипника №208 маємо:

$$d = 30 \text{ мм};$$

$$D = 72 \text{ мм};$$

$$B = 19 \text{ мм};$$

$$C_r = 33,2 \text{ кН}.$$

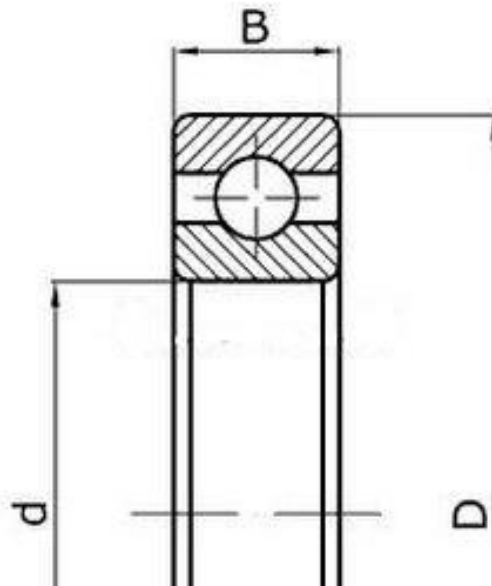


Рисунок 3.8 – Ескіз кулькового радіального підшипника

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішні радіальні навантаження на підшипники:

$$F_{R1} = \sqrt{(R_A^I)^2 + (R_A^B)^2} = \sqrt{1403,1^2 + 510,4^2} = 1493,04 \text{ Н}$$

$$F_{R2} = \sqrt{(R_B^I)^2 + (R_B^B)^2} = \sqrt{2015,6^2 + 733,5^2} = 2144,9 \text{ Н}$$

Більш навантажений підшипник в опорі В, по ньому ведемо розрахунок.

Еквівалентне динамічне навантаження підшипника:

$$P_{re} = P_r * K_e = 5651,1 * 1 = 2788,4 \text{ Н}$$

$$P_r = \chi * V * F_R * K_B * K_T = 1 * 1 * 2144,9 * 1,3 * 1 = 2788,4 \text{ Н}$$

$K_B = 1,3$ – коефіцієнт безпеки;

$K_T = 1$ – коефіцієнт температури роботи підшипника;

$V = 1$ – коефіцієнт кільця

$\chi = 1$ – коефіцієнт радіального навантаження.

$$K_e = 1$$

Довговічність підшипників у мільйонах обертів:

$$L = a_1 * a_{23} \left(\frac{C_r}{P_{re}} \right)^\alpha = 1 * 0,75 * \left(\frac{29100}{4633,9} \right)^3 = 852,4 \text{ млн/об}$$

$a_1 = 1$ при $S = 0,9$ – коефіцієнт надійності підшипника;

$a_{23} = 0,75$ – коефіцієнт умови роботи використання кулькового підшипника.

$\alpha = 3$ – для кулькового підшипника.

$$L_h = \frac{L * 10^6}{60 * n} = \frac{852,4 * 10^6}{60 * 1350} = 10523 \text{ год}$$

Розрахунок підшипників вихідного валу

Для підшипника №208 маємо:

$$d = 45 \text{ мм};$$

$$D = 100 \text{ мм};$$

$$B = 25 \text{ мм};$$

$$C_r = 52,7 \text{ кН}.$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішні радіальні навантаження на підшипники:

$$F_{R1} = \sqrt{(R_A^I)^2 + (R_A^B)^2} = \sqrt{1387,2^2 + (-181,17)^2} = 1399,04 \text{ Н}$$

$$F_{R2} = \sqrt{(R_B^I)^2 + (R_B^B)^2} = \sqrt{2032,9^2 + 2580,8^2} = 3285,3 \text{ Н}$$

Більш навантажений підшипник в опорі В, по ньому ведемо розрахунок.

Еквівалентне динамічне навантаження підшипника:

$$P_{re} = P_r * K_e = 5651,1 * 1 = 4270,89 \text{ Н}$$

$$P_r = x * V * F_R * K_B * K_T = 1 * 1 * 2144,9 * 1,3 * 1 = 4270,89 \text{ Н}$$

$K_B = 1,3$ – коефіцієнт безпеки;

$K_T = 1$ – коефіцієнт температури роботи підшипника;

$V = 1$ – коефіцієнт кільця

$X = 1$ – коефіцієнт радіального навантаження.

$$K_e = 1$$

Довговічність підшипників у мільйонах обертів:

$$L = a_1 * a_{23} \left(\frac{C_r}{P_{re}} \right)^\alpha = 1 * 0,75 * \left(\frac{52700}{4270,86} \right)^3 = 1409 \text{ млн/об}$$

$a_1 = 1$ при $S = 0,9$ – коефіцієнт надійності підшипника;

$a_{23} = 0,75$ – коефіцієнт умови роботи використання кулькового підшипника.

$\alpha = 3$ – для кулькового підшипника.

$$L_h = \frac{L * 10^6}{60 * n} = \frac{1470 * 10^6}{60 * 370} = 66216,2 \text{ год}$$

Перевірочний розрахунок шпонок

Вхідний вал

Діаметр валу $d=24$ мм; обертовий момент $T=79,5$ Н*м.

По ГОСТ 23360–78 вибираємо шпонку з розмірами:

$b=8$ мм – ширина шпонки;

$h=7$ мм – висота шпонки;

$t_1=4$ мм – глибина паза у валу;

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо $[\sigma]_{зм} = 160 \dots 190$ МПа для сталевих маточин.

Мінімальна довжина шпонки з умови зминання

$$l \geq \frac{2 * 10^3 * T_{ш2} * k_{пер}}{d_{ш1}(h - t_1)[\sigma]_{зм}} + b = \frac{2 * 10^3 * 79,5 - 2,03}{24(7 - 4) * 180} + 8 = 17,1 \text{ мм}$$

Приймаємо $l = 18$ мм з ряду довжин шпонок.

Вхідний вал (шестерня)

Діаметр валу $d=30$ мм; обертовий момент $T=53,05$ Н*м.

По ДСТ 23360–78 вибираємо шпонку з розмірами:

$b=8$ мм – ширина шпонки;

$h=7$ мм – висота шпонки;

$t_1=4$ мм – глибина паза у валу;

Приймаємо $[\sigma]_{зм} = 160 \dots 190$ МПа для сталевих маточин.

Мінімальна довжина шпонки з умови зминання

$$l \geq \frac{2 * 10^3 * T_{ш2} * k_{пер}}{d_{к2}(h - t_1)[\sigma]_{зм}} + b = \frac{2 * 10^3 * 53,05 - 2,03}{30(7 - 4) * 180} + 8 = 13,9 \text{ мм}$$

Приймаємо $l = 14$ мм з ряду довжин шпонок.

Вихідний вал вал (шків)

Діаметр валу $d=36$ мм; обертовий момент $T=193,58$ Н*м.

По ГОСТ 23360–78 вибираємо шпонку з розмірами:

$b=8$ мм – ширина шпонки;

$h=7$ мм – висота шпонки;

$t_1=4$ мм – глибина паза у валу;

Приймаємо $[\sigma]_{зм} = 160 \dots 190$ МПа для сталевих маточин.

Мінімальна довжина шпонки з умови зминання

$$l \geq \frac{2 * 10^3 * T_{ш2} * k_{пер}}{d_{ш3}(h - t_1)[\sigma]_{зм}} + b = \frac{2 * 10^3 * 52,09 - 2,03}{36(7 - 4) * 180} + 8 = 22 \text{ мм}$$

Приймаємо $l = 22$ мм з ряду довжин шпонок.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок пасової передачі

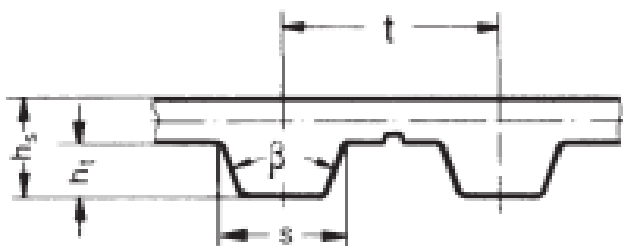


Рисунок 3.9- Габаритні розміри пасу

$t=10\text{мм}$; $S=5,3\text{мм}$; $H=4,5\text{мм}$; $\beta=40^\circ$.

Визначаємо передаточне число пасової передачі:

$$U = \frac{n_1}{n_2} = \frac{370}{200} = 1.85$$

Визначаємо діаметри шківів:

$$d_1 = 98.6\text{мм};$$

$$d_2 = 181.4\text{мм}.$$

Визначаємо колову силу:

$$F = \frac{T_{u1}}{R_{u1}} = \frac{193,58}{0,0493} = 3926 \text{ Н}$$

Визначаємо ширину пасу:

$$b = \frac{F}{[F]} \times 100 = \frac{3926}{16000} \times 100 = 24,5 \text{ мм};$$

Приймаємо $b=32 \text{ мм}$.

Визначаємо міжосьову відстань та довжину пасу:

$$a \geq 0.55 (d_1 + d_2) + h_s = 0.55 (98,6 + 181,4) + 5 = 159 \text{ мм};$$

$$l = 2a + \frac{\pi}{2}(d_2 + d_1) + \frac{(d_2 + d_1)^2}{4a} = 2 \times 159 + \frac{3.14}{2}(98,6 + 181,4) + \frac{(98,6 + 181,4)^2}{4 \times 159} = 890 \text{ мм};$$

$$a = \frac{1}{8} \left(2l - \pi(d_2 + d_1) + \sqrt{(2l - \pi(d_2 + d_1))^2 - 8(d_2 - d_1)^2} \right) =$$

$$\frac{1}{8} \left(2 \times 890 - 3.14(181,4 + 98,6) + \sqrt{(2 \times 890 - 3.14(181,4 + 98,6))^2 - 8(181,4 - 98,6)^2} \right) = 221,2 \text{ мм}.$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо силу Q:

$$Q = 2 F_0 \times \sin \left(\frac{\alpha_1}{2} \right) = 2 \times 580 .4 \times \sin \left(\frac{169 .3}{2} \right) = 1155 .7 \text{ Н}$$

$$\alpha_1 = 180 - 57 \frac{d_2 - d_1}{2a} = 180 - 57 \frac{181 .4 - 98 .6}{2 \times 221 .2} = 169 .3^\circ$$

Розрахунок напрямних

Вибираємо тип напрямних “ластівчин хвіст”, наведені на рисунку 3.10.

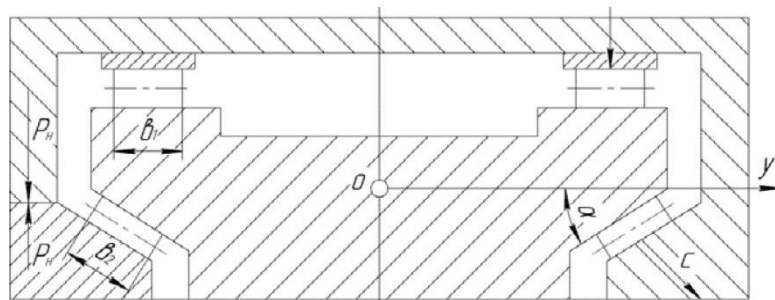


Рисунок 3.10- Направні типу “ластівчин хвіст”

Визначаємо кількість тіл кочення:

$$Z \leq \frac{G}{9.8 \times 4b} = \frac{1000}{9.8 \times 4 \times 2} = 12 .7 \approx 13 ;$$

де b - діаметр роликів, см;

G - вага супорта, Н.

Визначаємо моменти зовнішніх сил:

$$M_x = P_z Y_p + P_y Z_p - G Y_G = 3529 .1 \times 120 + 1411 .6 \times 200 - 1000 \times 80 = 625812 \text{ Нмм} = 625 .812 \text{ Нм} ;$$

$$M_y = -P_x Z_p + P_z X_p + G X_G = -705 .9 \times 200 + 3529 .1 \times 150 + 1000 \times 70 = 458185 \text{ Нмм} = 458 .18 \text{ Нм} ;$$

$$M_z = P_y X_p - P_x Y_p = 1411 .6 \times 150 - 705 .9 \times 120 = 127032 \text{ Нмм} = 127 .0322 \text{ Нм} ;$$

де $P_x=705.9\text{Н}$; $P_y=1411.6\text{Н}$; $P_z=3529.1\text{Н}$;

$Y_p=120\text{мм}$; $Z_p=200\text{мм}$; $X_p=150\text{мм}$; $Y_G=80\text{мм}$; $X_G=70\text{мм}$.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо максимальне навантаження на один ролик:

$$P_{\text{макс}} = \frac{B}{Z} = \frac{6275}{13} = 482,6 \text{ Н} ;$$

$$B = N_1 + (0.5 P_z + 0.5 G + \frac{M_x}{l}) \frac{b_1}{b_{\text{пр}}} = 830,4 + (0,5 \times 3529,1 + 0,5 \times 1000 + \frac{625812}{0,13}) \times \frac{0,02}{0,026} = 6275 \text{ Н}$$

$$b_{\text{пр}} = b_1 + b_2 \times \cos^2 \alpha = 2 + 2 \times \cos^2 55 = 2,6 \text{ см} ;$$

$$l = 130 \text{ мм} = 0,13 \text{ м} ;$$

$$N_1 = P_H \times \text{ctg } \alpha = 1186,2 \times \text{ctg } 55^\circ = 1186,2 \times 0,7 = 830,4 \text{ Н} ;$$

$$P_H = P_y \times 1,1 / \text{tg } 55^\circ = 3529,1 \times 1,1 / \text{tg } 55^\circ = 1186,2 \text{ Н}$$

Допустиме навантаження на ролик:

$$[P] = Kbd \varepsilon = 200 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-2} \times 1 \times 10^{-2} \times 1 = 4000 \text{ Н}$$

$$[P] > P_{\text{макс}}$$

Розрахунок на жорсткість

Визначаємо пружні переміщення:

$$\delta_{y0} = \frac{P_y (C_{pt})}{\xi L_{by}} = \frac{1411,6 (0,03 \times 1)}{1 \times 16 \times 2,68} = 0,98 \text{ мкм} ;$$

$$\delta_{z0} = \frac{P_z (C_{pt})}{\xi L_{bz}} = \frac{3529,1 (0,03 \times 1)}{1 \times 16 \times 5,2} = 1,2 \text{ мкм} ;$$

$$\varphi_x = \frac{M_x (C_{pt})}{\xi j_x} = \frac{625,812 (0,03 \times 1)}{1 \times 3515,2} = 0,005 \text{ мкм / см} ;$$

$$\varphi_y = \frac{M_y (C_{pt})}{\xi j_y} = \frac{458,185 (0,03 \times 1)}{1 \times 1774,9} = 0,007 \text{ мкм / см} ;$$

$$\varphi_z = \frac{M_z (C_{pt})}{\xi j_z} = \frac{127,032 (0,03 \times 1)}{1 \times 686,08} = 0,005 \text{ мкм / см} ;$$

Приведений момент інерції знаходимо за формулами:

$$J_x = \frac{b_{\text{пр}} L l^2}{2} = \frac{2,6 \times 16 \times 13^2}{2} = 3515,2 \text{ см}^4 ;$$

$$J_y = \frac{b_z L^3}{12} = \frac{5,2 \times 16^3}{12} = 1774,9 \text{ см}^4 ;$$

$$J_z = \frac{b_y L^3}{12} = \frac{2,68 \times 16^3}{12} = 686,08 \text{ см}^4 .$$

Для знаходження C_p визначаємо q:

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q = \frac{P_{b \max}}{b_2} = \frac{482 \cdot 6}{2} = 24130 \text{ Н/м}$$

$$C_p = 0,12 \text{ Н/м.}$$

Визначаємо пружні переміщення:

$$\delta x = \varphi y Z - \varphi z Y = 0.007 \times 20 - 0.005 \times 12 = 0.08 \text{ мм};$$

$$\delta y = \delta x_0 + \varphi x Z - \varphi z X = 0.98 + 0.005 \times 20 - 0.005 \times 15 = 1.005 \text{ мм};$$

$$\delta z = \delta z_0 + \varphi y X - \varphi x Y = 1.2 + 0.007 \times 15 - 0.005 \times 12 = 1.245 \text{ мм}.$$

Розраховуємо лінійну жорсткість рухомого вузла:

$$J_x = \frac{P_x}{\delta x} = \frac{705 \cdot 9}{80 \times 10^{-19}} = 8.823 \times 10^9 \text{ Н/м};$$

$$J_y = \frac{P_y}{\delta y_0} = \frac{1411 \cdot 6}{0.98 \times 10^{-19}} = 1.44 \times 10^9 \text{ Н/м};$$

$$J_z = \frac{P_z}{\delta z_0} = \frac{3529 \cdot 1}{1.2 \times 10^{-19}} = 2.94 \times 10^9 \text{ Н/м}.$$

Розрахунок витрат на тертя і довговічність:

$$T = T_0 + \frac{f_k}{r} P_1 = 5 + \frac{0.001}{0.5} \times 6275 = 17,55 \text{ Н};$$

P_1 - нормальне навантаження на одну напрямну,Н;

T_0 - початкова сила тертя на одній грані напрямної, Н;

r - радіус тіл кочення,см;

f_k - коефіцієнт тертя кочення.

Визначаємо допустиму силу на найбільш навантажене тіло кочення:

$$P = 729 \text{ db} \sqrt{\frac{2 \times 10^7 \times t}{60 \text{ ТнН}}} = 729 \times 1.0 \times 2.0 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^7 \times 10}{60}} =$$

T - термін служби, г;

n - число ходів каретки в хвилину;

H - довжина хода, см.

Визначаємо сумарну силу тертя:

$$F_{mp} = n_1 F_0 + \frac{f_k}{r_{np}} P_1 = 4 \times 4,5 + \frac{0,001}{0,5} \times 4529 \cdot 1 = 27,05 \text{ Н};$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тягове зусилля:

$$Q = P_x + F_{mp} = 705,9 + 27,05 = 732,95 \text{ Н};$$

Розрахунок ШВП

Розраховуємо тягове зусилля на гвинті:

$$Q = P_y + F_{mp} = 1411,64 + 1358,8 = 2770,4 \text{ Н}$$

- сила тертя:

$$F_{mp} = (G + P_z) \times f_{mp} = (1000 + 3529,1) \times 0,3 = 1358,8 \text{ Н}$$

- вага вузла:

$$G = 100 \text{ кг} = 1000 \text{ Н}$$

Таблиця 3.6.1 Умови для розрахунку

Маса подв.вузл, кг	Довжина гвинта,мм	Робоча довжина,м м	Осьова сила,Н	Частота обертів, м/хв	Швидкість холостого ходу
100	900	800	2417.6	27	3

Перевіряємо гвинт на стійкість за формулою Ейлера:

$$d_0 \geq \sqrt[4]{\frac{64 \times Q \times (\mu \times l)^2}{\pi^3 \times E}} = \sqrt[4]{\frac{64 \times 2770,4 \times (0,5 \times 800)^2}{3,14^3 \times 2 \times 10^5}} = 8,2 \text{ мм}$$

Таблиця 3.6.2 - Параметри ходового гвинта

d_0 ,мм	P ,мм	d_1 ,мм	r_1 ,мм	d_{KB} ,мм	d_{HB}	d_{KG}
40	10	6	1.75	37.53	47.9	54.95

Перевіряємо гвинт по критичній частоті обертання. Розрахунок проводиться по максимальній швидкості холостого ходу:

$$d_0 = 10^{-7} \times \mu l^2 \times n_s = 10^{-7} \times 0,5 \times 800^2 \times 375 = 12 \text{ мм}$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_B = KV_X \times \left(\frac{1000}{t} \right) = 1.25 \times 5 \times \left(\frac{1000}{10} \right) = 625 \text{хв}^{-1}$$

Визначаємо кількість кульок в кожному витку різьби гвинта:

$$z_i = \frac{3\pi \times d_0}{d_1} - 5 = \frac{3.14 \times 40}{6} - 5 = 15.9 \cong 16$$

Обчислюємо число кульок в гайці:

$$z = h z_1 = 5 \times 16 = 80$$

Визначаємо допустиме статичне навантаження:

– на кульку:

$$[F_{cm}] = 20 \times d_1^2 = 20 \times 6^2 = 720 \text{Н}$$

-на ГВИНТ:

$$[Q_{cm}] = z_p [F_{cm}] \times \sin 45 \times \cos \beta = 0,7 * 80 \times 720 \times \sin 45 \times \cos 4,5$$

$$\text{tg} \beta = \frac{t}{\pi d_0} = \frac{10}{3.14 \times 40} = 0.079$$

$$\beta = \text{arctg} 0,076 = 4,5$$

$$[Q_{cm}] = 28422 \text{Н}$$

Виконуємо розрахунок на довговічність по втоми поверхневих шарів:

$$K = 0.9 \sqrt[3]{\frac{60 \times T_n \times C_i}{10^7}} 0.9 \sqrt[3]{\frac{60 \times 5000 \times 13,5 * 8.3}{10^7}} = 1.3$$

$$C_i = 0.5 \times Z_i \times \left(1 + \frac{r_1}{r_0} \cos 45 \right) = 0.5 \times 16 \times (1 + 0.07 \cos 45) = 8.3$$

$$[Q_g] = \frac{[Q_{cm}]}{K} = \frac{28422}{1.3} = 21863.5 \text{Н}$$

$$[F_g] = \frac{[F_{cm}]}{K} = \frac{720}{1.3} = 553 \text{Н}$$

Розраховуємо сили попереднього натягу:

$$F_{\text{min}F} = \frac{0.5Q}{Z_p \times \sin \alpha \times \cos \beta} = \frac{0.5 \times 2770.4}{0.7 \times 80 \times \sin 45 \times \cos 4,3} = 30.8 \text{Н}$$

$$F_{\text{max}F} = [F_g] \times \left(1 - \frac{0.5Q}{[Q_g]} \right) = 553 \times \left(1 - \frac{0.5 \times 2770.4}{21863.5} \right) = 517.9 \text{Н}$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо допустиму осьову силу з урахуванням натягу:

$$[Q]_H = [Q_g] \times \frac{[F_g] - F_{M \max F}}{0.55 \times [F_g]} = 21863 \times \frac{553 - 517.9}{0.55 \times 553} = 2523.2 \text{ Н}$$

$$[Q]_H > Q = 2770.4 > 2523.2$$

Виконуємо розрахунок відносно осьового зближення двох гайок, необхідних для створення натягу:

$$S_H = 6 \sqrt[3]{\frac{F_{M \max F}^2}{100 \times d_1}} = 6 \sqrt[3]{\frac{517.9^2}{100 \times 6}} = 45.87 \text{ мкм}$$

Розраховується передача на жорсткість. Діаметр гвинта залежить від жорсткості приводу і його елементів:

$$J_B = \frac{\pi d_0^2 E}{4l} = \frac{3.14 \times 40^2 \times 2 \times 10^5}{4 \times 800} = 314000 \frac{1}{\text{мкм}}$$

$$I_{M \min} = 6K_n I_e l \left(\frac{d_0}{t} - 1 \right) \left(\frac{F_{M \min F} \times d_1}{10} \right)^{\frac{1}{3}} = 6 \times 0.3 \times 800 \left(\frac{40}{6} - 1 \right) \left(\frac{30.8 \times 6}{10} \right)^{\frac{1}{3}} = 21573.6$$

$$I_{M \max} = 6 \times 0.3 \times 800 \left(\frac{40}{6} - 1 \right) \left(\frac{559.4 \times 6}{10} \right)^{\frac{1}{3}} = 55145.1$$

$$J_n = l_0 d_0 = 5 \times 40 = 200$$

$$\frac{1}{J} = \frac{1}{J_B} + \frac{1}{J_M} + \frac{1}{J_n} = \frac{1}{21573.6} + \frac{1}{55145.1} + \frac{1}{200} = \frac{1}{76918.7}$$

Визначаємо осьовий зближення гайки щодо гвинта в результаті контактної деформації при Q:

$$\delta = \frac{1.4}{\sqrt[3]{d_1 \times F_{M \max F}}} - \frac{Q}{Z_{\text{роз.}}} = \frac{1.4}{\sqrt[3]{6 \times 517.4}} - \frac{2770.4}{80} = -34.6 \text{ мкм}$$

$$z_p = Z_p \sqrt{\frac{Q}{[Q]_H}} = 0.7 \times 80 \sqrt{\frac{2770.4}{2523.2}} = 58.6$$

Обчислюємо коефіцієнт корисної дії:

$$\text{tg } \rho = \frac{f_k}{r_1 \sin 45} = \frac{0.001}{1.75 \times 0.707} = \frac{0.001}{1.23} = 0.0008$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\rho = \arctg 0.0008 = 0.045$$

$$n_B = \frac{4.5}{\operatorname{tg}(4.5 + 0.0045)} = 0.99$$

Визначаємо момент холостого ходу:

$$M_x = Z_p F_n \sin \alpha [\sin (\beta + \rho) - \sin (\beta - \rho)] \frac{d_{KB}}{2}$$

$$= 0.7 \times 80 \times 517.9 \times \sin 45 [\sin 4.545 - \sin 4.455] \times \frac{37.53}{2} = 602.6 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Вибираємо двигун до привода подачі:

$$M_o = \frac{Qt}{2\pi} + M_{xx} = \frac{2770.4 \times 10}{2 \times 3.14} + 602.6 = 5014 \text{ Нмм} = 5,014 \text{ Нм};$$

Вибираємо тяговий двигун $Z=200$:

$$\text{Тоді } f_{\max} = \frac{n_{b \max}}{60} \times Z = \frac{1250}{60} \times 200 = 2083 \text{ Гц};$$

Вибираємо кроковий двигун фірми “Refit” SM86HT156 з параметрами:

Крок =1,8; напруга 3,5V; Струм 6,2A; Момент 12,2 Нм. Основні розміри двигуна показані на рисунку 3.11.

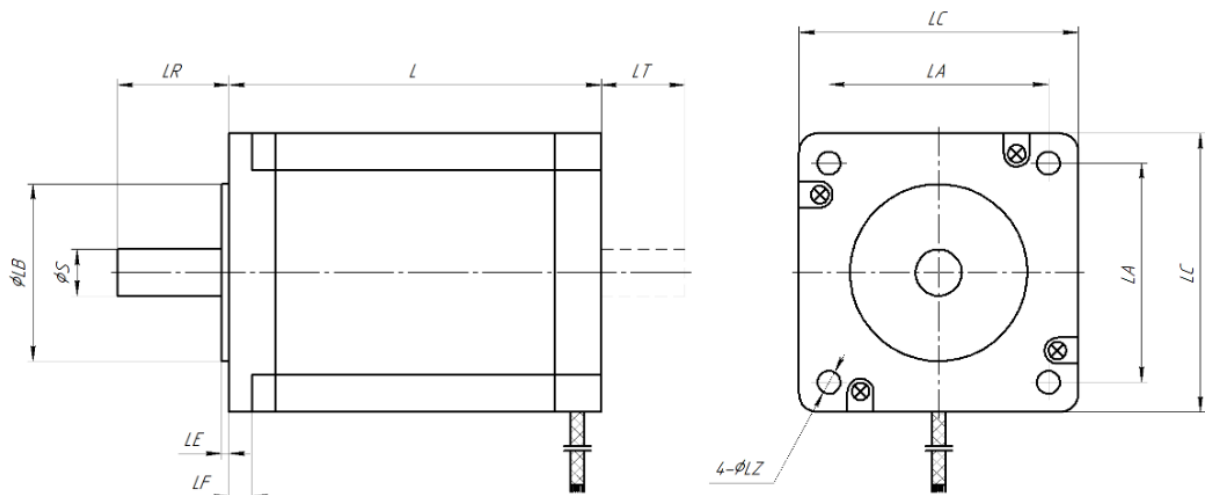


Рис 3.11-Габаритні розміри крокового двигуна

Габаритні розміри:

$LC=\varnothing 85,75\text{мм}$; $LB=\varnothing 73\text{мм}$; $L=156\text{мм}$; $LA=69,5\text{мм}$; $LE=1,6\text{мм}$; $LR=31,75\text{мм}$;

$LF=9,5\text{мм}$; $LZ=6,5\text{мм}$; $S=\varnothing 15,875\text{мм}$.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок шпинделя верстата

$D_1=98.6$ мм, $D_2=181,4$ мм ведучий шків закріплений на валу 2, котрий має частоту обертання $n=40\dots10000$ хв⁻¹. При обробці виникають сили різання $P_z = 3529,1H$, $P_y = 1411,6H$. Потужність на валу 7,5кВт. Матеріал шпинделя Сталь 40X HRC 48-56.

Вибираємо схему шпиндельного вузла ,вказану на рисунку 3.12.



Рисунок 3.12- Схема шпиндельного вузла

Розраховуємо мінімальний діаметр шпинделя:

$$d = 150 \dots 170 \times \sqrt[3]{\frac{N \times \eta_{\text{підш.}}}{n_{\text{мшн}}}} = d = 160 \times d = 160 \times \sqrt[3]{\frac{7,5 \times 0,99}{21,8}} = 111,7 \approx 120 \text{ мм} ;$$

$$U = \frac{d_2}{d_1} = \frac{181,4}{98,6} = 1,83 ; \quad n_2 = \frac{n_1}{U} = \frac{40}{1,83} = 21,8 \text{ хв}^{-1} ;$$

Діаметр внутрішнього отвору: $0,7d=0,7 \times 120=84$ мм.

Призначаємо підшипники:

Для передньої опори призначаємо:

Роликовий радіальний дворядний з короткими циліндричними роликами № 3182128($d=140$ мм; $D=210$ мм; $B=53$ мм; 4 клас точності.)

Для задньої опори:

Кульковий радіально упорний № 46224 ($d=120$ мм; $D=215$ мм; $B=40$ мм; 5 клас точності.)

Визначаємо радіальне биття переднього кінця шпинделя:

$$\delta = 1,5 \left[\frac{\delta_1}{\sqrt{m_1}} + \frac{a}{l} \left(\frac{\delta_1}{\sqrt{m_1}} + \frac{\delta}{\sqrt{m_2}} \right) \right] = 1,5 \left[\frac{8}{\sqrt{2}} + \frac{105}{490} \left(\frac{8}{\sqrt{2}} + \frac{14}{\sqrt{1}} \right) \right] = 14,8 \text{ мкм} ;$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

δ_1, δ_2 - відповідно радіальне биття передньої і задньої опори;

m - кількість рядів підшипника;

a - довжина консольної частини шпинделя;

l - довжина між опорної частини шпинделя.

Визначаємо реакції опор шпинделя за розрахунковою схемою рисунок 3.13.

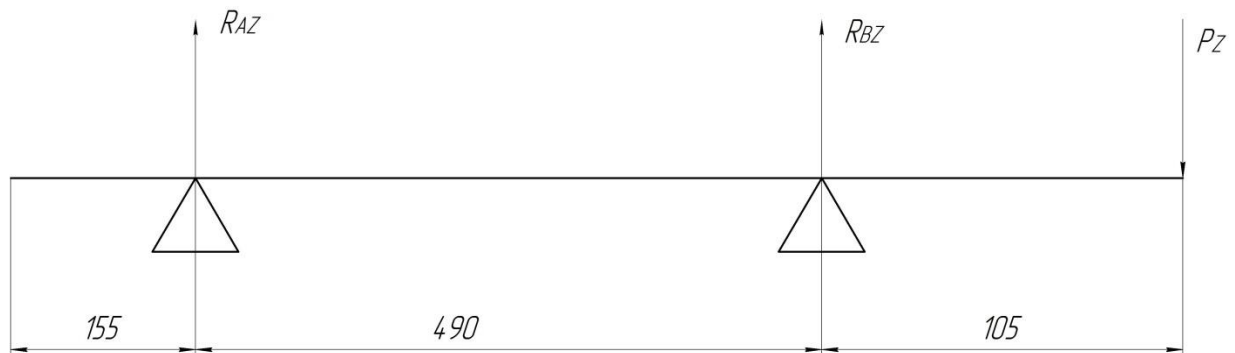


Рисунок 3.13- Розрахункова схема

$$\sum M_A = 0;$$

$$P_z \times 595 - R_{Bz} \times 490 = 0;$$

$$R_{Bz} = \frac{3529.1 \times 595}{490} = 4285.4 \text{ H}$$

$$\sum F_z = R_{Az} + R_{Bz} - P_z = 0;$$

$$R_{Az} = -R_{Bz} + P_z = -4285.4 + 3529.1 = -756.3 \text{ H}$$

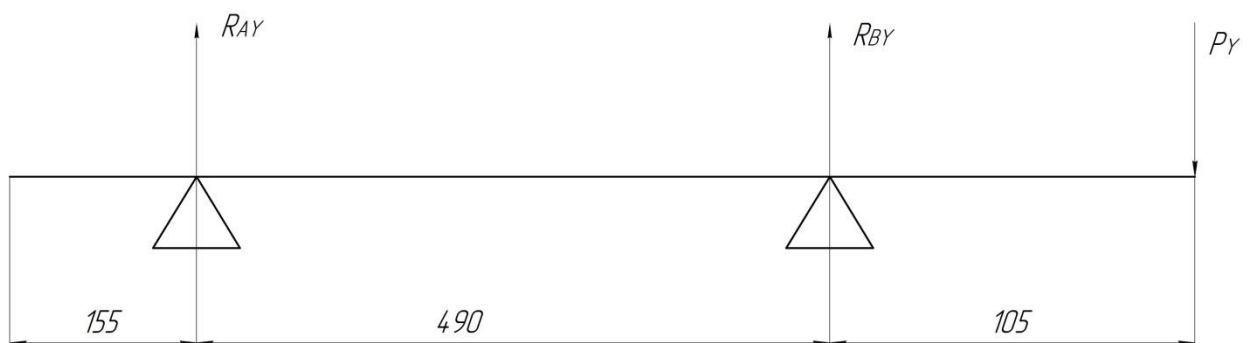


Рисунок 3.14 Розрахункова схема

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum M_A = 0;$$

$$P_Y \times 595 - R_{BY} \times 490 = 0;$$

$$R_{BY} = \frac{1411.6 \times 595}{490} = 1714.1 H$$

$$\sum F_Z = R_{AY} + R_{BY} - P_Y = 0;$$

$$R_{AY} = -R_{BY} + P_Y = -1714.1 + 1411.6 = -302.5 H$$

$$R_A = \sqrt{R_{AZ}^2 + R_{AY}^2} = \sqrt{(-756.3)^2 + (-302.5)^2} = 814.6 H;$$

$$R_B = \sqrt{R_{BZ}^2 + R_{BY}^2} = \sqrt{4285.4^2 + 1714.1^2} = 4615.5 H.$$

Визначаємо радіальне пружне переміщення переднього кінця шпинделя з урахування піддатливості його опор:

$$y = \frac{Pa^2}{3E} \left(\frac{a}{J_1} + \frac{l}{J_2} \right) + P \left(e_1 \frac{(l+a)^2}{l^2} + e_2 \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right);$$

J_1, J_2 – усереднені моменти відповідно консольної і між опорної частини шпиндельного вузла, мм.

$$P = \sqrt{P_Z^2 + P_Y^2} = \sqrt{3529.1^2 + 1411.6^2} = 3800.9 H;$$

$$J_1 = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = \frac{3.14(140^4 - 84^4)}{64} = 16405168 \text{ мм}^4;$$

$$J_2 = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = \frac{3.14(120^4 - 84^4)}{64} = 7730918 \text{ мм}^4;$$

Для визначення величини переміщення переднього кінця шпинделя необхідно розрахувати радіальну жорсткість для передньої опори яу для двухрядного роликового підшипника, для задньої як для однорядного.

Знаходимо радіальну піддатливість:

$$\delta_{r0} = 1.9 \text{ мкм};$$

$$\delta_{r0} = 0.5 \text{ мкм}$$

Визначаємо величину відносного натягу:

$$e / \delta_{r01} = -6 / 1.9 = -3.2;$$

$$e / \delta_{r02} = -6 / 0.5 = -12$$

Визначаємо коефіцієнт піддатливості:

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K \delta_1 = 0.2$$

$$K \delta_2 = 0.01$$

Визначаємо загальну піддатливість підшипників:

$$\delta r_{n1} = K \delta_1 \times \delta r_{o1} = 0.2 \times 1.9 = 0.38 \text{ мкм} ;$$

$$\delta r_{n2} = K \delta_2 \times \delta r_{o2} = 0.01 \times 0.5 = 0.05 \text{ мкм} .$$

Визначаємо зміщення обумовлене контактною деформацією доріжок кочення:

$$\delta r_{e1} = \delta r_{n1} - 0.5e = 0.38 - 0.5 \times (-6) = 3.38$$

$$\delta r_{e2} = \delta r_{n2} - 0.5e = 0.05 - 0.5 \times (-6) = 3.05$$

Визначаємо контактну деформацію на поверхнях посадок підшипників:

$$\delta r_{n1} = \frac{4 R_B \times K_2}{\pi d b} \times \left(1 + \frac{d}{D} \right) = \frac{4 \times 4615.5 \times 0.0005}{3.14 \times 140 \times 53} \times \left(1 + \frac{140}{210} \right) = 0.00064 \text{ мм} = 0.64 \text{ мкм} ;$$

$$\delta r_{n2} = \frac{4 R_A \times K_2}{\pi d b} \times \left(1 + \frac{d}{D} \right) = \frac{4 \times 814.6 \times 0.0015}{3.14 \times 120 \times 53} \times \left(1 + \frac{120}{215} \right) = 0.00038 \text{ мм} = 0.38 \text{ мкм} .$$

Визначаємо загальне пружне зближення кілець підшипника:

$$\delta r_1 = \delta r_{e1} + \delta r_{n1} = 3.38 + 0.64 = 4.02 \text{ мкм} ;$$

$$\delta r_2 = \delta r_{e2} + \delta r_{n2} = 3.05 + 0.38 = 3.43 \text{ мкм} .$$

Визначаємо жорсткість опор:

$$J_1 = \frac{R_1}{\delta r} = \frac{4615.6}{4.02} = 1148.2 \text{ Н / мкм} ;$$

$$J_2 = \frac{R_2}{\delta r} = \frac{814.6}{3.43} = 237.49 \text{ Н / мкм} ;$$

$$e_1 = \frac{1}{1148.2} = 0.00087 \text{ мкм / Н} ;$$

$$e_2 = \frac{1}{237.49} = 0.0042 \text{ мкм / Н} ;$$

Визначаємо радіальне переміщення переднього кінця шпинделя з урахування піддатливості його опор:

$$y = \frac{3800.9 \times 105^2}{3 \times 2 \times 10^5} \left(\frac{105}{164051168} + \frac{490}{7730918} \right) + 3800.9 \times \left(0.00087 \times \frac{(490 + 105)^2}{450^2} + 0.0042 \times \left(\frac{105}{490} \right)^2 \right) = 6.51 \text{ мм} .$$

Визначаємо жорсткість шпинделя:

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$j_{ш} = \frac{P}{y} = \frac{3800 \cdot 9}{6.51} = 583.8 \text{ Н / мм}$$

Жорсткість шпинделя в між опорній частині повинна буди не менш 500Н/мм для прецезійних верстатів. Виходячи з цього умова виконується.

Система змащення

Змазування коробки швидкостей реалізовується за допомогою масляного туману. Подача мастила до коробки забезпечуються за допомогою розпилювачів які направлені у зону змащення. В коробці використовується масло індустріальне, для гідравлічних систем з анти корозійними та протизношувальними присадками І-Г-С-46.

Для змазування кульково-гвинтової пари використовуємо “Літол-24”.

В шпинделі верстата змазування потребують підшипники оскільки працюють при високих швидкостях. Для змазування використовуємо “SKFLCHP” в складі якої мінеральне мастило.

3.4 Розрахунок і проектування контрольного пристосування

Опис пристосування.

Повідкові патрони застосовуються в токарній шліфувальній і рідко при фрезерної обробки. Застосовуються повідкові патрони для чистової обробки валів вимагають високої співвісності двох і більше поверхонь з різних установок оскільки вал базується на центрових отворах тобто встановлюється на центрах. Для передачі обертання від шпинделя до заготівлі, встановленої в центрах, застосовують повідкові пристрої. Найпростіше з них – токарний хомутик. Відігнутий хвостовик хомутика входить в радіальний паз планшайби, закріпленої на шпинделі верстата. Обертаючись разом зі шпинделем, планшайба захоплює за собою хомутик, а разом з ним встановлену в центрах заготовку. Застосовують також хомутики з прямими хвостовиками, для роботи з ними використовуються повідкові планшайби, у яких роль повідця

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконують палець або планка. Робота з хомутиком становить певну небезпеку: можливі випадки захоплення хвостовиком хомутика одягу робітника. Тому з метою безпеки застосовують планшайби з захисними кожухами (безпечні планшайби). Щоб не пошкодити поверхню затискається заготовка, на неї надягають розрізну втулку або під затискний болт підкладають гуму.

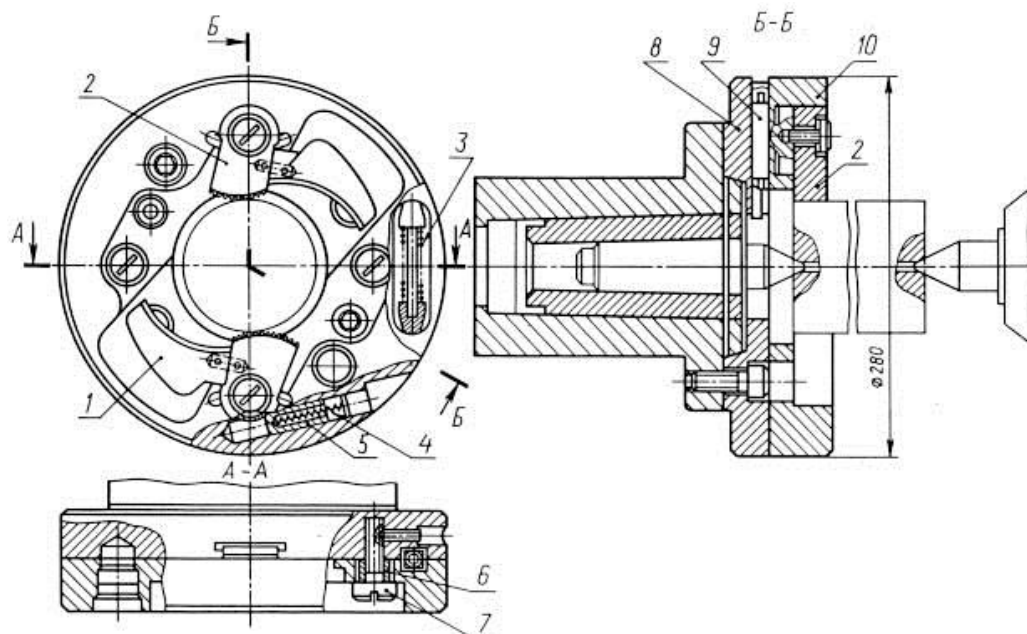


Рис 3.15- Повідковий патрон

(1 - груз; 2 - кулачок; 3, 4 - пружини; 5 - штовхач; 6 - розпірна втулка; 7 - гвинт; 8 - фланець; 9 - провідний палець; 10 - корпус патрона).

Для скорочення часу на установку і зняття хомутика застосовують швидкодіючі і самозатискні хомутики. Основною деталлю самозатискного повідкового хомутика є кільце, яке надягають на заготовку, встановлену в центрах. При включенні шпинделя планшайба впливає на поводок, який, повертаючись на осі, захоплює заготовку рифленою робочою поверхнею. При різанні цей хомутик тим надійніше затискає заготовку, чим більше перетин стружки.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Передачу крутного моменту від шпинделя на заготовку часто здійснюють спеціальним повідковим самозатискним патроном (планшайбою) з ексцентриковими кулачками.

Повідцем для валиків малих діаметрів може служити рифлений повідковий центр - «йорж». Для обробки трубчастих заготовок також користуються «йоржами», мають на робочій поверхні зубці – рифлення. Валики невеликого діаметра (до 20 мм) можливо закріплювати в зворотних центрах. На заготівлі попередньо проточують торцеві конуси і фаски, а передній і задній центри мають відповідні отвори з посадочними конусами. Заготівля захоплюється в обертання завдяки тертю між переднім зворотним центром і заготівлею. Метод кріплення в зворотних центрах застосовується тільки при чистовій обробки. Установка заготовок в центрах (з одяганням хомутика) триває 0,25-0,6 хв (в залежності від маси деталі). Установка в центрах з повідкового самозатискним патроном (планшайбою) або оправкою, а також установка в притискаючи тертя скорочує час на затиск і зняття деталі майже в два рази. Досвідчені токарі обробляють валики невеликого діаметра, закріплюючи в зворотних центрах типу «чарка» (з базуванням по фасці).

Аналізуючи схему дії сил різання і сил затиску, відзначаємо, що найбільш небезпечний вплив надає тангенціальна складова сили різання P_z прагне повернути заготівлю навколо осі. Цьому протидіє сила тертя виникає в зоні контакту ЗУ з деталлю.

$$Q = \frac{K * \left(P_z * \frac{d}{2} \right)}{\frac{d}{2} * f_1}$$

$$K = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6$$

де K - коефіцієнт запасу зусилля затиску;

$K_0 = 1,5$ - коефіцієнт гарантованого запасу;

$K_1 = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання через випадкових нерівностей;

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$K_2 = 1,15$ - коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання внаслідок затуплення інструменту;

$K_3 = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при переривчастому різанні;

$K_4 = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує тип циліндра;

$K_5 = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує ергономіку пристосування;

$K_6 = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує наявність крутного моменту;

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,07 < 2,5$$

f - коефіцієнт тертя $= 0,7$.

$$Q = \frac{2,5 \cdot \left(42 \cdot \frac{55}{2}\right)}{\frac{55}{2} \cdot 0,7} = 150 \text{ Н.}$$

Слабким елементом пристосування є гвинт, що кріпить кулачок диску приводу. Даний гвинт сприймає навантаження з боку сил затиску. Деталь працює на зминання.

Визначаємо силу навантаження:

$$P = \frac{Q}{3} = \frac{150}{3} = 50 \text{ Н.}$$

$$G_p = \frac{P}{F} = \frac{50}{18,1} = 2,76 < 100 \text{ Мпа.}$$

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Заходи з охорони праці на виробничій дільниці

Основне значення техніки безпеки – забезпечення безпеки і нешкідливості праці без зниження його продуктивності. Здійснення цих вимог зводиться до проведення комплексу заходів, направлених на запобігання працюючого від різного роду травм.

Виробничою травмою вважають тілесне ушкодження, у результаті якого настає тимчасова чи постійна втрата працездатності. Причинами виробничого травматизму є механічні, електричні, хімічні чи іншого роду впливи на організм людини, а також гострі отруєння, опіки, що виникли у виробничих умовах.

Неуважність працюючого як на робочому місці, так і при пересуванні по території цеху, заводу, несправність підйомно-транспортного устаткування, верстатів, пристосувань, погана організація робочих місць і т.д. часто приводять до нещасних випадків. Іноді причиною виробничих травм є захаращеність робочих місць і проходів напівфабрикатами і готовою продукцією. У механічних цехах до нещасливих випадків може привести незнання робітниками правил техніки безпеки, пристрою верстата, несправності електрообладнання верстата, відсутність огорожень і запобіжних пристроїв, застосування неправильних прийомів роботи на верстаті, неправильне носіння спецодягу, неуважність самого робітника, невиконання правил техніки безпеки і правил внутрішнього розпорядку та ін.

					КРБ 21-065.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ		
Розроб.	Сарабун						
Перевір.	Лещук						
Консульт.	Окіпний						
Н. Контр.	Кобельник						
Зав.каф.	Крупа						
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

Небезпеку представляють внутрішньозаводський автомобільний транспорт, безрейковий електротранспорт, підйомні крани, ручні вагонетки та ін.

Значна частина нещасних випадків із фрезерувальниками відбувається при транспортуванні, установці і знятті фрез, пристосувань і оброблюваних заготовок. Нижче приведені основні вимоги техніки безпеки по транспортуванню, установці і зняттю фрез:

- Фрези повинні зберігатися і транспортуватися в спеціальній тарі, забезпечуватися захисними дерев'яними колонами.
- При установці фрез необхідно надягати рукавиці. Легкі фрези масою до 3 кг установлюють вручну, а фрези масою від 3 до 8 кг варто встановлювати на консольно-фрезерних верстатах у такий спосіб:
 - а) покласти фрезу хвостовиком нагору на дерев'яну підкладку, покладену на столі верстата;
 - б) переміщаючи стіл, підвести фрезу під шпindelь;
 - в) підняти стіл нагору;
 - г) завести хвостовик фрези в отвір шпинделя і посадити фрезу на шпindelь;
 - д) закріпити фрезу.

Знімання фрез з верстата виконується в зворотному порядку при дотриманні тих же запобіжних заходів. Фрези масою більш 8 кг необхідно встановлювати за допомогою спеціальних підйомних засобів.

Пристосування і заготовки масою більш 20 кг встановлюють і знімають підйомними засобами. Кріплення оброблюваних заготовок на столі верстата в пристосування повинно бути надійним.

Важкі універсальні пристосування які постійно знаходяться на робочому місці, зберігаються на стелажах і спеціальних підставках.

Ураження електричною напругою небезпечно для життя людини, тому забороняється доторкатися до будь-яких проводів, особливо неізолюваних чи погано ізолюваних.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для захисту робітника від ЗОР і стружки застосовують захисні огороження зони різання. При відсутності зазначених пристроїв працювати на верстаті не дозволяється. Для захисту очей від поранень і опіків стружкою застосовують захисні окуляри, індивідуальні щитки, спеціальні кожухи для фрез й ін.

При нещасних випадках необхідно негайно звертатися за допомогою в медпункт. Тому що техніка безпеки безпосередньо зв'язана з технологією виробництва, то дотримання технологічної дисципліни, виконання правил технічної експлуатації, висока трудова дисципліна є найважливішими умовами, що забезпечують безпеку праці. Велике значення для створення сприятливих умов праці мають освітлення, вентиляція, опалення, захист від шуму, вібрацій, від впливу електричного струму, чистота і порядок як на кожному робочому місці, так і на підприємстві.

4.2. Засоби гасіння пожеж

Вода — найпоширеніший засіб гасіння пожеж, бо вона вбирає багато тепла. Літр води, перетвореної в пару, вбирає 639 ккал тепла. Одночасно вода, перетворюючись у пару, збільшується в 1700 раз в об'ємі і тим самим послаблює середовище горіння, витісняючи кисень повітря або розбавляючи його до концентрації, яка не підтримує горіння. Струмінь води, спрямований на тверде тіло, змочує частини, які ще не горять, і цим перешкоджає їх займанню.

Водяною парою гасять головним чином тверді, рідкі й газоподібні речовини, які знаходяться в закритих приміщеннях. Гасіння водяною парою ґрунтується на зниженні в зоні горіння процентного вмісту кисню. Якщо в повітрі буде 30—35% (за об'ємом) водяної пари, то горіння припиняється.

Піна для гасіння пожеж може бути хімічна або повітряно-механічна. Вона являє собою скупчення бульбашок з тонкою оболонкою, що містять

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вуглекислий газ. Хімічна піна, руйнуючись, виділяє вуглекислий газ, хоча вплив його невеликий. Внаслідок поганої теплопровідності і охолодження поверхні рідини, що горить, водою, яка міститься в піні, відбивається виділюване рідиною тепло.

Останнім часом дуже поширився спосіб утворення повітряно-механічної піни, до складу якої входить близько 90% повітря, 9,8—9,6% води і 0,2—0,4% піноутворювача. Для одержання повітряно-механічної піни застосовують спеціальні повітряно-пінні стволи продуктивністю від 2,5 до 10 й більше кубометрів піни на хвилину.

Гасіння інертними газами — вуглекислою та азотом відбувається за рахунок зниження процентного вмісту кисню в повітрі, внаслідок чого уже при 12—15% вуглекислого газу в ньому горіння припиняється. Через те що гасіння вуглекислим газом провадиться за допомогою сніжної вуглекислоти, остання значно знижує температуру тіл, які горять. Вуглекислота перешкоджає виходові горючих парів і газів з тіла, яке горить, у сферу горіння, бо питома вага її дорівнює 1,6. З одного літра зрідженої вуглекислоти утворюється 500—500 літрів газу.

Гасіння піском або землею деяких твердих і рідких хімічних речовин, що не гасяться водою та піною, ґрунтується на ізоляції їх від кисню повітря шаром піску, а гасіння невеликих кількостей легкозаймистих і горючих рідин, що розтікаються тонким шаром,—на вбиранні їх піском або землею.

Гасіння клаптями щільної тканини або азбестом— базується на ізоляції предмета, що горить, чи невеликої кількості горючої рідини від кисню повітря по всій поверхні або обсягу.

Розбавлення реагуючих рідин. Воно може бути здійснено шляхом розбавлення горючих рідин негорючими або розбавлення повітря водяною парою, вуглекислим газом, азотом і іншими не підтримуючими горіння газами так, щоб концентрація кисню досягла значення, при якому не може відбуватись горіння.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для ліквідації починаючих вогнищ пожеж силами робітників і службовців ділянки цеху повинні бути забезпечені згідно діючим нормам первинними засобами пожежегасіння. До числа первинних засобів пожежегасіння відносять внутрішні пожежні крани, вогнегасники, ручні насоси, бочки з водою, ящики з піском, необхідний пожежний інструмент і пожежний інвентар (відра, лом, сокири, лопати, пожежні стенди, щити).

При ліквідації загоряння верстата або машини, оснащеної електроприводом, виникає небезпека ураження електричним струмом. Перед як приступити до гасіння пожежі, потрібно зняти напругу електроустановки, потім використовувати не струмопровідні вогнегасні засоби (вуглекислоту, бром-метил).

Найбільше поширення в якості первинних засобів ліквідації вогнищ або локалізації вогню до прибуття пожежної команди отримали вогнегасники. В відповідності з вогнегасники класифікуються на : хімічні пінні, вуглекислотні, вуглекислотно-бромметилі, порошкові, повітряно-пінні, рідинні.

Ручними вогнегасниками гасять пожежі, які ще не встигли поширитися. В залежності від вогнегасних речовин вогнегасники можуть бути пінні, рідинні, порошкові й газові.

Рідиннопінними вогнегасниками ліквідують займання твердих горючих матеріалів. Як вогнегасні засоби в цих вогнегасниках використовуються водяні розчини різних мінеральних солей. При дії мінеральної кислоти на лужний розчин відбувається бурхлива реакція, що супроводжується виділенням вуглекислого газу й підвищенням тиску до 6 атм; вогнегасна рідина з силою викидається на об'єкт, який горить.

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі проведено аналіз конструкції деталі “ Вал”, проаналізовано технічні вимоги, які ставляться до цієї деталі, проведено аналіз технологічності конструкції деталі в цілому. Також розглянуто технологічний процес механічної обробки корпусу на базовому підприємстві.

На основі проведеного аналізу та оцінки існуючих умов проведено техніко-економічне обґрунтування вибору оптимального техпроцесу. Для виконання операцій техпроцесу вибрано різальний та вимірювальний інструмент, обладнання, розраховано режими різання та норми часу.

Для виконання обробки деталі проведено кінематичний і конструктивний розрахунок токарного верстата, спроектоване технологічне оснащення для виготовлення деталі. Розглянуто питання охорони праці, зроблено економічне обґрунтування прийнятих інженерно – конструкторських рішень, визначено річний економічний ефект від застосування більш прогресивної технології.

					КРБ 21-065.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ		
Розроб.		Сарабун					
Перевір.		Лещук					
Консульт.							
Н. Контр.		Кобельник					
Зав.каф.		Крупа					
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

ПЕРЕЛІК ПОСЛАНЬ

1. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.
2. Шанайда В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001. 163 с.
3. Кузнецов Ю. М., Скляр Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнецов, Р. А. Скляр; під ред. Ю. М. Кузнецова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.
4. 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.
5. 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.
6. Гагалюк А.В., Паливода Ю.Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування : навчальний посібник Тернопіль: Осадця Ю. В., 2025. – 308 с.
7. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.
8. Боженко Л. І. Технологія машинобудування: проектування та виробництво. Львів: Світ, 1996. 368 с.
9. Ревнівцев М.П., Паршина Н. П. Режими різання на металообробних верстатах у машинобудуванні. Київ: А.С.К., 2006. 416с.

					КРБ 21-065.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Перелік посилань		
Розроб.		Сарабун					
Перевір.		Лещук					
Консульт.							
Н. Контр.		Кобельник					
Зав.каф.		Крупа					
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

10. Кваліфікаційна робота бакалавра: структура, вимоги до виконання та захист. Методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування галузі знань 13 Механічна інженерія для здобувачів всіх форм здобуття освіти / уклад.: Р. А. Склярів, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Р. Я. Лещук, А. А. Сеник, В. В. Шанайда, А. В. Гагалюк, В. М. Буховець. – Тернопіль : ТНТУ, 2025. 78 с.
11. Кочергін І. А. Конструювання і розрахунок металорізальних верстатів і верстатних комплексів. Курсове проектування: Посібник для вузів. - Мн .: Виш. шк., 1991. - 382 с.
12. Кузнецов Ю.М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах/ Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин [Текст] - К.: - Тернопіль: Тернограф, 2011. -692с.
13. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С. Практикум з охорони праці: навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000 – 352 с.
- 14.9. Безпека виробничих процесів : довідник / під ред. С. В. Бєлова. – М : Машинобудування, 1985. – 448 с.
- 15.10. Дементій, Л. В. Охорона праці в механічних та складальних цехах / Л. В. Дементій, С. А. Гончарова. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – 312 с. – ISBN 5-7763-1413-

					КРБ 21-065.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		