

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розрахунок та конструювання коробки швидкостей вертикально-свердлильного верстата для обробки деталі «Картер 4094- 2301010-10»

Виконав: студент IV курсу, групи МВс-41

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Роман КУЦИК

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Володимир КРУПА

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Володимир КОБЕЛЬНИК

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Володимир КРУПА

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

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

Володимир КРУПА

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

студенту Куцику Роману Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок та конструювання коробки швидкостей вертикально-свердлильного верстата для обробки деталі «Картер 4094- 2301010-10»

Керівник роботи Крупа Володимир Васильович, канд. техн. наук, доцент

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

Затверджені наказом ректора від «29» січня 2024 року № 4/7-76

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Базова модель вертикально-свердлильного верстату.

Базовий технологічний процес деталі типу корпус «Картер 4094- 2301010-10».

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

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

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

1. Картер ведучого вала – 1 ф. А1. 2. Коробка швидкостей – 2ф А1

3. Заготовка (вилівка) – 1 ф. А1; 4. Пристрій для розточування 2 отворів $\varnothing 76$ – 1 ф А1

5. Плакатний лист – 1 ф. А1

[illegible]

29.01.2024p

[illegible]

(прізвище та ініціали)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота на тему: «Розрахунок та конструювання коробки швидкостей вертикально-фрезерного консольного верстата», сторінок 73, формул 27, таблиць 16, рисунків 6, додатків 4, використано джерел літератури 40.

Об'єктом дослідження дипломної роботи є коробка швидкостей вертикально-фрезерного консольного верстата

В дипломній роботі:

Проведено аналіз верстата-прототипа

- розроблено структурно-кінематичну схему
- проведено кінематичний та загальний силовий розрахунок коробки швидкостей
- проведено детальне конструювання коробки швидкостей та її елементів
- проведено автоматизований розрахунок триопорного вала в системі SolidWorks Simulation
- обґрунтовано розроблені технічні рішення відповідно до вимог охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: розрахунок, вертикально-фрезерний верста, коробка швидкостей, модуль, вал, кінематична схема.

ANNOTATION

Thesis topic «Calculation and design of a speed gear-box of a vertical milling bracket machine», pages 73, formulas 27, tables 16, figures 6, appendices 4, used literature sources 40.

The object of research of the thesis is the gearbox of the vertical milling cantilever machine.

In the thesis:

- the analysis of the prototype machine was carried out;
- the structural-kinematic scheme is developed;
- kinematic and general power calculation of the gearbox was performed;
- detailed design of the box of shodok and its elements is carried out;
- automated calculation of the three-axis shaft in the SolidWorks Simulation system was performed;
- reasonably developed technical solutions in accordance with the requirements of labor protection and life safety;

Keywords: calculation, vertical milling verst, gearbox, module, shaft, kinematic scheme.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції та службового призначення деталі.

Аналіз технічних вимог на оброблювану деталь

1.2 Характеристика матеріалу деталі

1.3 Вибір типу виробництва

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір і обґрунтування методу отримання заготовки (табл. Методом)

2.2 Розробка маршрутного технологічного процесу (на всі операції)

2.3 Вибір і обґрунтування технологічного обладнання та оснащення (на 2-3 операції)

2.4 Визначення міжопераційних припусків і проміжних розмірів табличним методом (на точну поверхню)

2.5 Розробка операційної технології (на 1 операцію)

2.6 Вибір різального, допоміжного та контрольньо-вимірювального інструменту (на 2-3 операції)

2.7 Розрахунок режимів різання табличним методом (на 2-3 операції)

2.8 Розрахунок технічних норм часу (на 2-3 операції)

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз аналогічних верстатів

3.2 Визначення основних технічних характеристик проектного верстата

3.3 Складання кінематичної схеми приводу та кінематичний розрахунок

3.4 Визначення числа ступенів коробки і структури приводу

3.5 Визначення чисел зубів

3.6 Перевірочний розрахунок частот обертання

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Куцик Р.			ЗМІСТ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Крупа В. В.						
Реценз.						ТНТУ, ФМТ, гр. МВс-41		
Н. Контр.		Кобельник В.Р.						
Затверд.		Крупа В. В.						

3.7 Визначення розрахункових значень крутних моментів

3.8 Визначення крутних моментів на валах

3.9 Попередній розрахунок валів

3.10 Розрахунок міжосьової відстані

3.11 Розрахунок параметрів передач

3.12 Розрахунок валів на міцність

3.13 Перевірка підшипників на вантажопідйомність

3.14 Перевірка підшипників на довговічність

3.15 Розрахунок пасової передачі

3.16 Розрахунок шпонкового з'єднання

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз потенційних небезпечних та шкідливих умов праці

4.2 Безпека життєдіяльності

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

					<i>ДР 22-363.00.00.000 ПЗ</i>	5 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Ефективність виробництва, його технічний прогрес, якість продукції, яка випускається, багато в чому залежить від випереджувального розвитку виробництва, нового обладнання, машин, верстатів, від впровадження методів техніко-економічного аналізу, який забезпечує вирішення технічних питань і економічності технологічних і конструкторських розробок [1].

Високу продуктивність сучасні верстати забезпечують за рахунок швидкохідності, потужності та широкої автоматизації. У сучасних важких верстатах потужність тільки головного електродвигуна досягає 150 кВт, а всього на одному верстаті іноді встановлюють кілька десятків електродвигунів. Вага унікальних верстатів сягає кількох тисяч тонн.

Під час конструкційного оформлення, для додання верстату необхідних якостей і функцій, використовують різноманітні механізми із застосуванням гідравліки, електрики, пневматики; застосовують також деталі складних конструкційних форм із високими вимогами до їхніх якісних показників, упроваджують прогресивні принципи проєктування (агрегатування, уніфікація); знаходять найраціональніші компонування верстатів, розробляють нові системи управління циклом [4].

Для виконання таких різноманітних технологічних завдань з високими вимогами до якості продукції та продуктивності процесу у верстатах необхідно використовувати новітні досягнення інженерної думки.

Метою роботи є удосконалення конструкції коробки швидкостей вертикально-свердлильного верстата для деталі «Картер 4094- 2301010-10» [5].

Для виконання роботи поставлені наступні завдання

Основні завдання:

1. Провести аналіз деталі та її особливостей, зокрема конструкції, службового призначення, вимог на виготовлення, типу виробництва, базового

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Куцик Р.			ВСТУП				Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Крупа В. В.									
Реценз.											
Н. Контр.		Кобельник В.Р.									
Затверд.		Крупа В. В.									
									ТНТУ, ФМТ, гр. МВс-41		

технологічного маршруту

2. Розробити маршрутний та операційний технологічний процес виготовлення деталі

3. Провести розрахунок режимів різання а також режимів різання, необхідних для проєктування обладнання

4. Провести кінематичний розрахунок коробки швидкостей

5. Провести силовий розрахунок коробки швидкостей та її компонентів.

6. Сконструювати коробку швидкостей вертикально-свердлильного верстата

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	5
						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції та службового призначення деталі. Аналіз технічних вимог на оброблювану деталь

Мости автомобілів виконують функції осей на які встановлюють колеса. В залежності від схеми трансмісії мости можуть бути: ведучі, ведені, керовані та підтримуючі. На автотранспорту встановлено два мости: один – ведучий, другий – ведений. Ведучий міст об'єднує в одному агрегаті наступні механізми: головну передачу, диференціал і піввісі. Вказані механізми конструктивно розміщуються в загальному картері ведучого моста і служать для передачі крутного моменту на колеса.

Механізми моста збільшують передавальний момент і розподіляють його на колеса в залежності від умов контакту кожного колеса з шляхом. При передаванні крутного моменту картер моста навантажується реактивним моментом, який намагається повернути його проти обертання коліс. Щоб цього не сталося міст підтримується підвіскою або її напрямними. Підвіска передає на картер моста також вертикальні, горизонтальні та бокові сили, які виникають при русі автомобіля [6].

В конструктивному вирішенні картери мостів бувають суцільнолиті, штамповані та комбіновані. Даний картер ведучого моста 4094-2301010-10СК належить до картерів комбінованого типу, тобто суцільнолитий з штампованою з'ємною кришкою.

Перевагами комбінованих картерів є компактність конструкції і можливість використання для окремих частин його різних конструкційних матеріалів.

До недоліків комбінованих картерів відносять порівняно низьку жорсткість із-за багаторазових з'єднань його частин, що призводить до необхідності збільшувати товщину стінок і протяжність посадочних поверхонь.

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА			Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Куцик Р.								
Перевір.		Крупа В. В.								
Реценз.										
Н. Контр.		Кобельник В.Р.								
Затверд.		Крупа В. В.								
					ТНТУ, ФМТ, гр. МВс-41					

Заготовки деталі картера ведучого моста виготовляється методом литва в земляній формі, із литої сталі марки – сталь 35Л, яка добре піддається литву, а також механічній обробці в процесі виготовлення картера [7].

Зі сторони різьбових отворів М12-1,25-6Н до картера ведучого моста кріпиться кришка редуктора за допомогою вгвинчування 8-ми болтів Ø12 мм. З протилежної сторони встановлена кришка картера, яка приварюється в процесі механічної обробки картера. Сумарний допуск площинності цих двох поверхонь не повинен перевищувати 0,1 мм.

Таблиця 1.1. Встановлення квалітету та жорсткості деталі

№, п/п	Назва поверхні	Кількість поверхонь	К-сть уніфікованих поверхонь	Квалітет, ІТ	Жорсткість, R _a
1	Отвір Ø12	18	-	13	12,5
2	Отвір Ø32	2	2	13	12,5
3	Різь М12	8	-	7	6,3
4	Отвір Ø70	2	2	8	1,6
5	Отвір Ø250	1	1	9	3,2
6	Ø266	1	1	13	12,5
7	Ø312	1	1	11	3,2
8	Ø255	2	2	14	12,5
9	Ø200	2	2	9	3,2
10	Різь К ½"	1	-	7	6,3
11	Різь К ⅜"	1	-	7	6,3
12	Ø190	2	2	12	12,5
13	Ширина 12	4	4	12	3,2
14	Глибина 5	2	2	13	6,3
15	Торець Ø200	2	2	13	12,5
	Всього	49	21		

До фланців картера, за допомогою болтів, які проходять через отвори $\varnothing 12$, кріпиться кожух піввісі, а сама піввісь входить у зачеплення із зовнішнім водилом.

Головними технічними вимогами до картеру є забезпечення співвісності отворів $\varnothing 70$ мм в межах 0,05, що можна досягти при розточуванні обох отворів за одне встановлення. Також потрібно забезпечити співвісність зовнішньої поверхні на обох фланцях в межах 0,06 мм. Допуск перетину головної осі картеру та осі отвору $\varnothing 250$ мм не повинен перебільшувати 0,2 мм. [8]

Деталь є досить складна і має великі габаритні розміри, але має правильну геометричну форму, що полегшує її базування в процесі механічного оброблення.

Показники базових поверхонь (точність, жорсткість) деталі забезпечують можливість застосування типового ТП виготовлення заданої деталі.

Обробку фланців картера проводять в декілька переходів, що пов'язано із габаритами деталі. Фаски $1,6 \times 45^0$ в отворах M12 $\times$ 1,25-6H є не технологічні, технологічність буде робити фаски $1,5 \times 45^0$.

1.2 Характеристика матеріалу деталі

Деталь "Картер ведучого моста " виготовляється із сталі 35Л

Таблиця 1.2 - Хімічні властивості

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cu	Cr	Fe
0,32 - 0,4	0,2 - 0,52	0,4 - 0,9	до 0,3	до 0,045	до 0,04	до 0,3	до 0,3	~97

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ				6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					Арк.

Таблиця 1.3 - Механічні властивості

Механічні властивості сталі 35Л							
Режим термообробки	Січення, мм	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_b (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	KCU (Дж / см ²)	HB (HRC ₀)
		не менше					
Нормалізація 860-880 °С. Відпуск 600-630 °С	До 100	280	500	15	25	35	---
Гартування 860-880 °С. Відпуск 600-630 °С	До 100	350	550	16	20	30	---
Відпал 850 °С, піч	30	255	530	19	34	49	146
Відпал 950 °С, піч				22	39	64	143

1.3 Вибір типу виробництва

Тип виробництва, як найбільш загальна організаційно-технічна характеристика виробництва, визначається рівнем спеціалізації робочих місць, номенклатурою об'єктів виробництва, формою переміщення виробів за робочими місцями. [9]

Рівень спеціалізації робочих місць характеризується коефіцієнтом закріплення операцій, тобто кількістю різних операцій, що виконуються на одному робочому місці протягом місяця.

Тип виробництва визначаємо за коефіцієнтом закріплення операцій $K_{3,0}$:

$$K_{3,0} = \Sigma O_i / \Sigma P_i \quad (1.1)$$

де, ΣO_i – загальна кількість операцій, яка виконується на робочих місцях;

ΣP – загальна кількість робочих місць.

Форма організації виробництва залежить від встановленого порядку виконання, технологічного обладнання, напрямку руху виробів при їх виготовленні, об'єму випуску виробів встановлює дві форми організації виробництва: потокова та групова.

Розрахунки проводимо в наступному порядку за такими формулами [10]:

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Визначення дійсного річного фонду часу роботи обладнання F_{δ} : Дійсний річний фонд часу роботи обладнання при двозмінній роботі становить: $F_{\delta} = 4015$ годин.

2. Визначення такту випуску деталей:

$$\tau = 60 \times F_{\delta} / N \quad (1.2)$$

де $N = 50\,000$ шт. – річна програма випуску деталей

$$\tau = 60 \times 4015 / 50\,000 = 4,8 \text{ хв.}$$

3. Розрахунок коефіцієнту закріплення операцій $K_{3,0}$: Необхідна кількість одиниць технологічного обладнання для виконання i -ої операції C_{pi} визначається:

$$C_{pi} = T_{шти} \times N / 60 \times F_{\delta} \times \epsilon_{3H} \quad (1.3)$$

де ϵ_{3H} – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання;

$$\epsilon_{3H} = (0,75 \dots 0,8)$$

4. Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання визначається:

$$\epsilon_{3ф.} = C_{pi} / C_{пи} \quad (1.4)$$

де $C_{пи}$ – кількість прийнятого технологічного обладнання.

5. Кількість операцій закріпленим за одним робочим місцем, O_i :

$$O = \epsilon_{3H} / \epsilon_{3ф.} \quad (1.5)$$

Для 005 операції проводимо весь необхідний розрахунок:

005 Горизонтально-розточна

Формула T_o , хв.

1. Підрізати торець $\varnothing 30$ в розмір $14 \pm 0,2$

$$0,037 (D^2 - d^2) \quad 1,29$$

2. Розточити отвір $\varnothing 250^{+0,072}$ на $l = 18 \pm 0,2$

$$0,18dl \quad 0,81$$

3. Розточити фаску під $< 45^\circ$, витримавши розміри $\varnothing 260^{+0,185}$

$$0,18dl \quad 0,23$$

4. Підрізати торець $\varnothing 266$ в розмірі $l = 125 \pm 0,5$

$$0,037 (D^2 - d^2) \quad 0,38$$

Для розрахунків потрібне значення штучного часу, $T_{шт}$:

$$T_{шт} = T_o \times \gamma_k$$

Для 005 операції:

$$T_{шт} = 2,7 \times 3,25 = 8,8 \text{ хв.}$$

Необхідна кількість технологічного обладнання:

$$C_p = 8,8 \times 50.000 / 60 \times 4015 \times 0,8 = 2,3 \text{ шт}$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	6 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прийнята кількість технологічного обладнання:

$$C_{\text{п}} = 3 \text{ шт}$$

Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\varepsilon_{\text{з.ф.}} = 2,3 / 3 = 0,77$$

Кількість закріплених операцій:

$$O = 0,8 / 0,77 = 1,04$$

Коефіцієнт закріплення операцій $K_{\text{з.о}}$ рівний:

$$K_{\text{з.о}} = 89,52 / 14,41 = 6,2$$

Оскільки $1 < K_{\text{з.о}} < 10$, то встановлюємо багато серійність виробництва.

За коефіцієнтом потоковості визначаємо організаційну форму виробництва: якщо $N_{\delta} \geq Q_{\delta}$, то це потокова форма виробництва [11].

Добова програма випуску N_{δ} визначається:

$$N_{\delta} = N / D \quad (1.6)$$

де N – річна програма випуску; $N = 50000$ шт.

D – кількість робочих днів в році; $D = 254$ дні

$$N_{\delta} = 50000 / 254 = 196,8 \text{ шт.}$$

Добова продуктивність одномономенклатурної потокової лінії Q_{δ} визначається:

$$Q_{\delta} = \tau \times F_c \times \varepsilon_{\text{з.л.}} / \sum T_{\text{ши}} \quad (1.7)$$

де Q_{δ} – добова продуктивність

τ – кількість операцій ТП; $\tau = 8$

F_c – добовий фонд часу роботи обладнання; $F_c = 952$ хв.

$\varepsilon_{\text{з.л.}}$ – коефіцієнт завантаження лінії; $\varepsilon_{\text{з.л.}} = 0,6$

$$Q_{\delta} = 8 \times 952 \times 0,6 / 197,9 = 23,1$$

Оскільки $N_{\delta} > Q_{\delta}$, то приймаємо поточкову організаційну форму виробництва.

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	9 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.4 - Визначення кількості верстатів та кількості закріплених операцій

Операція	T _о , хв.	T _{шт} , хв.	C _р , шт.	C _п , шт.	Ез.ф.	О
005 Горизонтально-розточна	2,7	8,8	2,3	3	0,77	1,04
010 Горизонтально-розточна	7,01	22,8	5,9	6	0,98	0,8
015 Радіально-свердлильна	1,5	2,1	0,5	1	0,5	1,6
020 Вертикально-свердлильна	0,8	1,04	0,3	1	0,3	2,67
025 Горизонтально-розточна	4,7	15,8	4,1	5	0,82	0,97
030 Горизонтально-розточна	0,8	2,6	0,7	1	0,7	1,14
035 Радіально-свердлильна	1,6	2,3	0,6	1	0,6	1,3
040 Горизонтально-протяжна	0,03	0,05	0,01	1	0,01	80
Всього		55,5	14,41	19		89,52

Висновки по розділу, постановка мети і завдань дослідження

1. На основі аналізу деталі деталь є технологічною
2. Тип виробництва деталі середньосерійний, що зумовить подальший вибір обладнання [12].

Метою роботи є удосконалення конструкції коробки швидкостей верстально-свердлильного верстата для деталі «Картер 4094- 2301010-10» [13].

Для виконання роботи поставлені наступні завдання

Основні завдання:

1. Провести аналіз деталі та її особливостей, зокрема конструкції, службового призначення, вимог на виготовлення, типу виробництва, базового технологічного маршруту
2. Розробити маршрутний та операційний технологічний процес виготовлення деталі
3. Провести розрахунок режимів різання а також режимів різання, необхідних для проектування обладнання
4. Провести кінематичний розрахунок коробки швидкостей
5. Провести силовий розрахунок коробки швидкостей та її компонентів.
6. Сконструювати коробку швидкостей вертикально-свердлильного верстата

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	10 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір і обґрунтування методу отримання заготовки

Правильний вибір заготовки і відповідно її підготовка до механічної обробки являється важливим техніко-економічним показником.

Для раціонального вибору заготовки необхідно одночасно врахувати всі вихідні фактори призначення і конструкцією деталі, матеріал, технічні вимоги, серійність випуску, а також економічність виготовлення. [14]

Матеріал заготовки: вуглецева сталь марки 35Л.

Рівень отримання механічних властивостей сталі після нормалізації повинен відповідати вказаним нижче даним:

$$\xi_T = 28(35) \text{ кгс / мм}^2$$

$$\xi_\delta = 50(55) \text{ кгс / мм}^2$$

$$\xi_H = 3,5(3,0) \text{ кгс / мм}^2$$

$$S_H = 15(16) \%$$

$$\varphi = 20(25) \%$$

Для вибору способу одержання заготовки, потрібно розрахувати вартість литих заготовок і вибрати найдешевший.

Визначаю вартість литих заготовок, грн.:

$$S_{\text{л}} = 0,001 \times C_{\text{л}} \times Q_{\text{л}} \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5, \quad (2.1)$$

де $C_{\text{л}}$ – базова вартість 1т виливки заданого виду і матеріалу;

$Q_{\text{л}}$ – вага виливки;

K_1 – коефіцієнт, який враховує клас точності;

K_2 – коефіцієнт, який враховує річну програму;

K_3 – коефіцієнт, який враховує вагу заготовки;

K_4 – коефіцієнт, який враховує складність форми;

K_5 – коефіцієнт, який враховує матеріал.

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Куцик Р.			ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Крупа В. В.								
Реценз.								ТНТУ, ФМТ, гр. МВс-41		
Н. Контр.		Кобельник В.Р.								
Затверд.		Крупа В. В.								

Розглянемо два методи отримання заготовки:

— литво в земляні форми:

$$C_{\text{л}} = 420 \text{ грн./т} \quad K_2 = 1,20$$

$$Q_{\text{л}} = 20 \text{ кг} \quad K_3 = 0,84$$

$$K_1 = 1,00 \quad K_4 = 1,20$$

$$K_5 = 1,00$$

— литво в кокіль:

$$C_{\text{л}} = 1985 \text{ грн./т} \quad K_2 = 1,20$$

$$Q_{\text{л}} = 18,7 \text{ кг} \quad K_3 = 0,84$$

$$K_1 = 1,14 \quad K_4 = 1,20$$

$$K_5 = 1,00$$

Визначаю економічний ефект, відносно проведених розрахунків:

$$E = (S_{\text{л}2} - S_{\text{л}1}) \times N \quad (2.2)$$

де N – програма випуску деталей за p

Одержуємо такий економічний ефект, вибравши литво в земляні форми.

2.2 Розробка маршрутного технологічного процесу (на всі операції)

Проводимо аналіз варіантів ТП обробки картеру. Кожний варіант ТП відрізняється техніко-економічними показниками і тому ставиться задача вибору найкращого, який забезпечує одержання деталі потрібної якості, заданої кількості при мінімально можливих затратах. Технологічний процес, який задовольняє такі вимоги називають оптимальним технологічним процесом. [15]

На першій операції проводять обробку чистових баз. Далі виконують чорнові, півчистові, чистові та викінчуючи операції.

При формуванні технологічного процесу застосовується підхід синтезу можливої технології.

Конкуруючими варіантами 005 операції, можуть бути операції горизонтально – розточна та координатно – розточна. Використання верстатів з ЧПК на даній операції не доцільне.

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	5 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обробку 8-ми отворів Ø10,7 мм можна проводити на радіально-свердлильному або вертикально-свердлильному багато-шпиндельному верстатах.

Обробку 9-и отворів Ø12 мм можна проводити на радіально-свердлильному верстаті або застосувати вертикально-свердлильний одношпиндельний верстат.

Пази під шпонки можна довбати або протягувати на горизонтально-протяжному верстаті.

На 005 операції найбільш завантаженим переходом є чорнова обробка площин.

Методом перебору ТП визначаємо оптимальний варіант ТП, беручи до уваги технологічну собівартість [16].

005 Горизонтально-розточна

1. Підрізати торець на $\phi 312$, витримавши розмір $l = 14 \pm 0.2$
2. Розточити отвір $\phi 250^{+0,072}$ начорно
3. Розточити отвір $\phi 250^{+0,072}$ начисто
4. Розточити фаску під $< 45^\circ$, витримавши розмір $\phi 260$
5. Повернути деталь у пристосуванні на 180°
6. Підрізати торець $\phi 266$ в розмір $l = 125 \pm 0,5$

010 Горизонтально-розточна

1. Обточити поверхню $\phi 258_{-1,15}$ начорно
2. Підрізати торець в розмірі $177_{-0,4}$ від осі деталі
3. Обточити поверхню $\phi 203_{-1,15}$ з підрізкою торця на $2,5-0,25$
4. Розточити отвір $\phi 65^{+0,74}$
5. Повернути деталь у пристосуванні на 180°
6. Повторити перехід 1
7. Підрізати торець в розмір $354_{-0,57}$
8. Повторити переходи 3÷5

015 Вертикально-свердлильна

1. Свердлити 4-и отвори $\phi 10,7^{+0,2}$ на $l = 30 \pm 0,2$
2. Повернути деталь на 35° у пристосуванні.
3. Повторити перехід 1.

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	6 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

020 Вертикально-свердлильна

1. Нарізати різь M12×1,25-6H на $l = 24 \pm 0,2$
2. Повторити перехід 1 сім разів.

025 Горизонтально-розточна

1. Обточити поверхню $\varnothing 255_{-1,15}^{+0,15}$ начисто
2. Обточити поверхню $\varnothing 200_{-0,046}^{+0,046}$ начисто
3. Підрізати торець $\varnothing 202_{-1,15}^{+1,15}$ витримавши розмір $l = 10 \pm 0,2$
4. Розточити отвір $\varnothing 70_{-0,046}^{+0,046}$ начисто
5. Розточити фаску в отворі $\varnothing 70_{-0,046}^{+0,046}$
6. Повернути деталь у пристосуванні на 180^0
7. Повторити переходи $1 \div 5$

030 Радіально-свердлильна

1. Цекувати отвір $\varnothing 40_{-0,62}^{+0,62}$
2. Свердлити отвір $\varnothing 18,25_{-0,24}^{+0,24}$
3. Розсвердлити фаску $1,5 \times 45^0$ в отворі $\varnothing 18,25_{-0,24}^{+0,24}$
4. Нарізати різь K $\frac{1}{2}''$
5. Свердлити отвір $\varnothing 8,7_{-0,14}^{+0,14}$
6. Розсвердлити фаску 1×45^0 в отворі $\varnothing 8,7_{-0,14}^{+0,14}$
7. Нарізати різь K $\frac{1}{8}''$

035 Вертикально-свердлильна

1. Свердлити отвір $\varnothing 12_{-0,15}^{+0,33}$
2. Повторити перехід 1 вісім разів
3. Повернути деталь у пристосуванні на 180^0
4. Повторити переходи $1 \div 2$

040 Вертикально-свердлильна

1. Свердлити отвір $\varnothing 16$
2. Розсвердлити отвір $\varnothing 32$
3. Повернути деталь у пристосуванні на 180^0
4. Повторити перехід 1-2

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	7 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

045 Горизонтально-протяжна

1. Протягнути пази під шпонку.

2.3 Вибір і обґрунтування технологічного обладнання та оснащення (на 2-3 операції)

Попередній вибір обладнання проводиться паралельно при розробці маршруту обробки деталі відповідно до типу виробництва.

Обладнання вибирають за головним критерієм, що найбільшою мірою виявляє його функціональне призначення і технічні можливості. Таким критерієм є вид обробки, на який розраховано верстат, відповідно до його службового призначення (Токарний - для точіння, свердлильний – для свердління, зенкерування та інші) [17].

Другим за важливістю критерієм є габаритні розміри робочої зони верстату, які повинні відповідати габаритним розмірам заготовки з урахуванням розмірів пристосування. Третім критерієм є відповідність верстата необхідній точності обробки.

Забезпечивши дотримання цих трьох основних вимог, подальший аналіз ведуть в напрямленні відповідності верстата продуктивності, можливості його механізації та автоматизації, тобто відповідності типу виробництва. [18].
Результати зводимо у таблицю 2.1.

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	6
						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Обладнання для технологічного процесу

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Верстат N _{дб} ,кВт
005.	Горизонтально-розточна 1.Підрізати торець $\varnothing 312$ 2. Розточити отвір $\varnothing 250$ начорно 3. Розточити отвір $\varnothing 250$ начисто 4. Розточити фаску $< 45^0$ в $\varnothing 250$ 5. Підрізати торець $\varnothing 266$	2620Г 7,0кВт
010.	Горизонтально-розточна 1.Обточити поверхню $\varnothing 258$ начорно 2.Підрізати торець в розмірі 177 від осі 3.Обточити поверхню $\varnothing 203$ начорно 4.Розточити отвір $\varnothing 65$ начорно	2620Г 7,0кВт
015.	Вертикально-свердлильна 1. Свердлити 8-м отворів $\varnothing 10,7$	2Г175М

2.4 Визначення міжопераційних припусків і проміжних розмірів табличним методом (на точну поверхню)

Розрахунок припусків аналітичним методом проводимо для отвору $\varnothing 70^{+0,046}$. Визначення припусків проводимо в наступній послідовності: для даної поверхні розраховуємо припуски розрахунковим методом, а для інших поверхонь припуски встановлюємо табличним методом [19].

Заготовка являє собою відливку 8 класу точності, масою 20 кг. Технологічний маршрут обробки отвору $\varnothing 70^{+0,046}$ складається з чотирьох переходів розточування: чорнове, напівчистове, чистове, тонке. Базами служать нижня зовнішня поверхня $\varnothing 30$ та отвір $\varnothing 250$.

Розрахунок припусків на обробку отвору $\varnothing 70H8$ наведений в таблиці 2.5, в якій послідовно записується маршрут обробки отвору і всі значення елементів

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	9
						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

припуску. Сумарна значення R_z і T , яка характеризує якість поверхонь литих заготовок складає 600 мкм.

Сумарне значення просторових відхилень визначається за формулою:

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{см}}^2} \quad (2.3)$$

Короблення отвору потрібно враховувати в діаметральному і в основному перерізі, тому:

$$\rho_{\text{кор}} = \sqrt{(\Delta_k \times d)^2 + (A_k \times l)^2} \quad (2.4)$$

де d і l – діаметр і довжина оброблюваного отвору.

$$\begin{aligned} \rho_{\text{кор}} &= \sqrt{(0,7 \times 70)^2 + (0,7 \times 42)^2} = 57 \text{ мкм} \\ \rho_{\text{см}} &= \sqrt{(\epsilon_B / 2)^2 + (\epsilon_T / 2)^2} \\ \rho_{\text{см}} &= \sqrt{(37^2 + 120^2)} = 126 \text{ мкм} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Таким чином, сумарне значення просторового відхилення заготовки:

$$\rho_3 = \sqrt{57^2 + 126^2} = 138 \text{ мкм}$$

Залишкове просторове відхилення після чорнового розточування:

$$\rho_1 = 0,05 \times \rho_3 = 0,05 \times 138 = 7 \text{ мкм}$$

Похибка встановлення при чорновому розточуванні визначається:

$$\epsilon_1 = \sqrt{\epsilon_B^2 + \epsilon_3^2} \quad (2.6)$$

Похибка базування виникає за рахунок перекосу заготовки в горизонтальній площині при встановленні її на штоці пристрою. Найбільший зазор між отвором і штирем:

$$S_{\text{max}} = \delta_A + \delta_B + S_{\text{min}} \quad (2.7)$$

де δ_A – допуск на отвір, $\delta_A = 46 \text{ мкм} = 0,046 \text{ мм}$

δ_B – допуск на діаметр штиря; $\delta_B = 18 \text{ мкм} = 0,018 \text{ мм}$

S_{min} – мінімальний зазор між діаметром штиря і отвором.

$$S_{\text{min}} = 13 \text{ мкм} = 0,013 \text{ мм}$$

Тоді найбільший кут повороту заготовки на штирях знаходиться із відношення найбільшого зазору при повороті в одну сторону від середнього положення до відстані отвору:

$$t_g \alpha = 0,046 + 0,018 + 0,013 / 285 = 0,0003$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	10 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Похибка базування на довжині отвору який обробляється, l

$$\varepsilon_6 = l \times t_g \alpha \quad (2.8)$$

$$\varepsilon_6 = 42 \times 0,0003 = 0,0126 \text{ мм} = 12,6 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення заготовки ε_3 приймаємо:

$$\varepsilon_3 = 100 \text{ мкм.}$$

Тоді похибка встановлення при чорновому розточуванні:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{12,6^2 + 100^2} = 101 \text{ мкм}$$

Залишкова похибка встановлення при напівчистому розточуванні:

$$\varepsilon_2 = 0,05 \varepsilon_1 + \varepsilon_{\text{інд}} \quad (2.9)$$

де $\varepsilon_{\text{інд}}$ – переходи проводяться за єдиного встановлення: $\varepsilon_{\text{інд}} = 0$

$$\varepsilon_2 = 0,05 \times 101 + 0 = 5,05 \text{ мкм}$$

Залишкова похибка встановлення при чистому розточуванні:

$$\varepsilon_3 = 0,05 \times \varepsilon_2 + \varepsilon_{\text{інд}} \quad (2.10)$$

$$\varepsilon_3 = 0,05 \times 5,05 + 0 = 1,3 \text{ мкм}$$

Залишкова похибка встановлення при тонкому розточуванні:

$$\varepsilon_4 = 0,05 \times \varepsilon_3 + \varepsilon_{\text{інд}}, \quad (2.11)$$

$$\varepsilon_4 = 0,05 \times 1,3 + 0 = 0,065 \text{ мкм}$$

На основі записаних в таблиці 2.5 даних проводимо розрахунок мінімальних значень між операційних припусків:

$$2 Z_{\min} = 2 (R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \quad (2.12)$$

Мінімальний припуск під розточування:

— чорнове: $2 Z_{\min 1} = 2(600 + \sqrt{138^2 + 101^2}) = 2 \times 771 \text{ мкм};$

— напівчистове: $2 Z_{\min 2} = 2(50 + 50 + \sqrt{7^2 + 5,05^2}) = 2 \times 109 \text{ мкм};$

— чистове: $2 Z_{\min 3} = 2(35 + 35 + \sqrt{0,35^2 + 1,3^2}) = 2 \times 71 \text{ мкм};$

— тонке: $2 Z_{\min 4} = 2(20 + 25 + \sqrt{0,0175^2 + 0,065^2}) = 2 \times 45,1 \text{ мкм};$

Графа „Розрахунковий розмір” (d_p) заповнюється починаючи з кінцевого розміра послідовним вирахуванням розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу.

Кінцевий розмір $d = 70,046$, для решти переходів отримуємо:

— для чистового: $d_{p1} = 70,046 - 0,0902 = 69,9558 \text{ мм};$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	11 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

— для напівчистового: $d_{p2} = 69,9558 - 0,142 = 69,8138$ мм;

— для чорнового: $d_{p3} = 69,8138 - 0,218 = 69,5958$ мм;

— для заготовки: $d_{p4} = 69,5958 - 1,542 = 68,0538$ мм;

В графі „Граничний розмір” найбільше значення ($d_{\max}$) отримується за розрахунковими розмірами, заокруглені до точності допуску відповідного переходу. Найменші граничні розміри ($d_{\min}$) визначаються з найбільших граничних розмірів відніманням допусків відповідних переходів [20].

Таким чином, для розточування:

— тонкого: найбільший – 70,046 мм

найменший – $70,046 - 0,046 = 70$ мм

— для чистового: найбільший – 69,956 мм

найменший – $69,956 - 0,074 = 69,882$ мм

— для напівчистового: найбільший – 69,814 мм

найменший – $69,814 - 0,46 = 69,354$ мм

— для чорнового: найбільший – 69,596 мм

найменший – $69,596 - 1,2 = 68,396$ мм

— для заготовки: найбільший – 68,054 мм

найменший – $68,054 - 1,9 = 66,154$ мм

Мінімальні граничні значення припусків $Z_{\min}^{\text{пр}}$ дорівнюють різниці найбільших граничних розмірів виконуваного і попереднього переходів, а максимальне значення $Z_{\max}^{\text{пр}}$ – відповідно різниці найменших граничних розмірів [21].

Тоді для тонкого розточування:

$$2 Z_{\min 4}^{\text{пр}} = 70,046 - 69,956 = 0,09 \text{ мм} = 90 \text{ мкм}$$

$$2 Z_{\max 4}^{\text{пр}} = 70 - 69,882 = 0,118 \text{ мм} = 118 \text{ мкм}$$

Для чистого розточування:

$$2 Z_{\min 3}^{\text{пр}} = 69,956 - 69,814 = 0,142 \text{ мм} = 142 \text{ мкм}$$

$$2 Z_{\max 3}^{\text{пр}} = 69,882 - 69,354 = 0,528 \text{ мм} = 528 \text{ мкм}$$

Для напівчистого розточування:

$$2 Z_{\min 2}^{\text{пр}} = 69,814 - 69,596 = 0,218 \text{ мм} = 218 \text{ мкм}$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	12 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$2 Z_{\max 2}^{\text{пр}} = 69,354 - 68,396 = 0,958 \text{ мм} = 958 \text{ мкм}$$

Для чорнового розточування:

$$2 Z_{\min 1}^{\text{пр}} = 69,596 - 68,054 = 1,542 = 1542 \text{ мкм}$$

$$2 Z_{\max 1}^{\text{пр}} = 68,396 - 66,154 = 2,242 = 2242 \text{ мкм}$$

Всі результати розрахунків зведені до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Визначення припусків та між операційних розмірів

Розмір, мм	Допуск, мм	Припуск, мм	
		Основний	Додатковий
Отвір Ø250	3,2	4,0	1,6
125	2,8	3,5	1,2
Ø255	3,2	4,0	1,6
354	3,6	4,2	2,0
160	1,2	-	-
12	0,8	4	0,6

$$2 Z_{0\min} = 90 + 142 + 218 + 1542 = 1992 \text{ мкм}$$

$$2 Z_{0\max} = 118 + 528 + 958 + 2242 = 3846 \text{ мкм}$$

Проводимо перевірку правильності виконаних розрахунків:

$$Z_{\max 4}^{\text{пр}} - Z_{\min 4}^{\text{пр}} = 118 - 90 = 28 \text{ мкм}$$

$$\delta_3 - \delta_4 = 74 - 46 = 28 \text{ мкм}$$

$$Z_{\max 3}^{\text{пр}} - Z_{\min 3}^{\text{пр}} = 528 - 142 = 386 \text{ мкм}$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 460 - 74 = 386 \text{ мкм}$$

$$Z_{\max 2}^{\text{пр}} - Z_{\min 2}^{\text{пр}} = 958 - 218 = 740 \text{ мкм}$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 1200 - 460 = 740 \text{ мкм}$$

$$Z_{\max 1}^{\text{пр}} - Z_{\min 1}^{\text{пр}} = 2242 - 1542 = 700 \text{ мкм}$$

$$\delta_{\text{зар}} - \delta_1 = 1900 - 1200 = 700 \text{ мкм}$$

$d_{\max}$ розточування тонкого 70,046

$d_{\min}$ розточування тонкого 70,0

δ розточування тонкого 46 мкм

$d_{\max}$ розточування чистового 69,956

$d_{\min}$ розточування чистового 69,882

δ розточування чистового 74 мкм

$d_{\max}$ розточування напівчистового 69,814

$d_{\min}$ розточування напівчистового 69,354

δ розточування напівчистового 460 мкм

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	13 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$d_{\max}$ розточування чорнового 69,596
 $d_{\min}$ розточування чорнового 68,396
 δ розточування чорнового 1200 мкм
 $d_{\max}$ заготовки 68,054
 $d_{\text{ном}}$ заготовки 67,104
 $d_{\min}$ заготовки 66,154
 δ заготовки 1900 мкм
 $2 Z^{\text{пр}}_{\max}$ на розточування чорнове 2242
 $2 Z^{\text{пр}}_{\min}$ на розточування чорнове 1542
 $2 Z^{\text{пр}}_{\max}$ на розточування напівчистове 958
 $2 Z^{\text{пр}}_{\min}$ на розточування напівчистове 218
 $2 Z^{\text{пр}}_{\max}$ на розточування чистове 528
 $2 Z^{\text{пр}}_{\min}$ на розточування чистове 142
 $2 Z^{\text{пр}}_{\max}$ на розточування тонке 118
 $2 Z^{\text{пр}}_{\min}$ на розточування тонке 90

2.5 Розробка операційної технології (на 1 операцію)

Ціллю даного пункту є формування раціональної структури операцій, тобто раціональної послідовності установ та переходів, що є основою для вибору інструментів нормування, установлення настрою вальних розмірів і складання схем налагодження.

Обробку поверхонь з високими квалітетами точності виділяють в окремі переходи, застосовуючи одномісні одно інструментальні схеми. [22]

Оптимальний варіант ТП буде наступний:

005 Горизонтально-розточна

1. Підрізати торець на $\varnothing 312$, витримавши розмір $l = 14 \pm 0.2$
2. Розточити отвір $\varnothing 250^{+0,072}$ начорно
3. Розточити отвір $\varnothing 250^{+0,072}$ начисто

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	14 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Розточити фаску під $< 45^0$, витримавши розмір $\varnothing 260$
5. Повернути деталь у пристосуванні на 180^0
6. Підрізати торець $\varnothing 266$ в розмір $l = 125 \pm 0,5$

2.6 Вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірювального інструменту (на 2-3 операції)

Встановлення контрольних операцій. [23]

1.1. Вхідний контроль заготовки деталі „Картер”.

- зовнішній огляд заготовки для виявлення дефектів матеріалу і механічних пошкоджень (на всіх поверхнях величина уступів не більше 0,6 мм) заготовок;
- контроль твердості матеріалу виливок для сталюого сплаву 35Л повинна становити 50-55 HRC;
- контроль геометричних розмірів виливка: $\varnothing 245 \pm 1,6$; $129 \pm 1,4$; $\varnothing 258 \pm 1,6$; $358 \pm 1,8$; $1,6 \pm 0,4$.

1.2. Величина вибірки для вхідного контролю заготовок:

- зовнішній огляд – 100% контроль заготовок;
- контроль твердості матеріалу – 3 заготовки з 1000 штук;
- контроль геометричних розмірів – 2-3 заготовки з 1000 штук;

1.3. Операційний контроль (приклад приведено для горизонтально-розточної операції по обробці отвору $\varnothing 70^{+0,046}$).

- кінцеві розміри і параметри поверхонь двох отворів $\varnothing 70^{+0,046}$; діаметр – $\varnothing 70^{+0,046}$ мм;
- глибина – $42^{+0,05}$ мм;
- допуск співвісності до поверхні Г – 0,05
- шорсткість – $1,6 \sqrt{}$.

1.4. Гранично допустимі похибки вимірювання засобів для контролю парламентів поверхні 2 отворів $\varnothing 70^{+0,046}$

- для $\varnothing 70^{+0,046}$ – $[\Delta] = A_{\text{мет}} \times T = 0,3 \times 0,046 = 0,0138$ мм

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	15 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для розміру $42+0,05 - [\Delta] = A_{\text{мет}} \times T = 0,25 \times 0,05 = 0,0125 \text{ мм}$
- для полів розташування $[\Delta] = A_{\text{мет}} \times T = 0,3 \times 0,025 = 0,015 \text{ мм}$
- для шорсткості допуск не вказаний, приймаємо допустимі відхилення параметру $Ra \pm 20\%$.

1.5. Вибір засобів контролю параметрів поверхні 2-х отворів $\varnothing 70^{+0,046}$:

- для контролю діаметру отворів $\varnothing 70^{+0,046}$ вибираємо калібр-пробку двохсторонню з вставками прохідною (ПР) і непрохідною (НЕ); конструкція калібру; виконавчі розміри вставок визначаємо: прохідної – $\varnothing 70$; непрохідної – $\varnothing 70,9$ для яких допуск на виготовлення $T = 0,004 \leq [\Delta] = 0,0075$;
- контроль співвісності отворів до площини Г здійснюється на окремій контрольній операції в зв'язку з великою праце місткістю;
- контроль шорсткості поверхні з параметром $Ra = 1,6 \pm 20\% \text{ мкм}$ здійснюється виконавцем шляхом порівняння шорсткості оброблених поверхонь з поверхнею стандартних зразків шорсткості.

1.6. Періодичність контролю параметрів поверхні 2-х отворів $\varnothing 70^{+0,046}$:

- контроль діаметру отворів – 100% контроль всіх деталей здійснює верстатник, час на контроль перекривається машинним часом;
- контроль шорсткості поверхні вибіркового (5% деталей) здійснює верстатник, час контролю перекривається машинним часом.

1.7. Кінцевий (приймальний) контроль готових деталей здійснює контролер на контрольній операції. Контролю підлягають:

- зовнішній вид (наявність всіх оброблених поверхонь, фасок, скруглень, відсутність задирок, раковин, забоїн);
- шорсткість оброблених поверхонь шляхом порівняння з зразками шорсткості;
- геометричні розміри: $\varnothing 200_{-0,046}$; $\varnothing 250^{+0,072}$; $60 \pm 0,037$; $12 \pm 0,026$; $74,9^{+0,2}$; $\varnothing 70^{+0,046}$;

допуск форми і відхилень взаємного розточування поверхонь: допуск площинності поверхонь Б і В не більше 0,1 мм.

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	16 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7 Розрахунок режимів різання табличним методом (на 2-3 операції)

Параметри режимів різання визначаються таким чином, щоб досягнути найбільшої продуктивності праці при найменшій собівартості даної технологічної операції. Ці умови можливо виконати при роботі інструменту раціональної конструкції, найвигіднішої його геометрії та максимальному використанні всіх експлуатаційних можливостей верстату. [24]

Режими різання складаються із наступних параметрів: глибина різання t (мм), подача S (мм/об або мм/хв.), швидкість V (мм/хв. або мм/с).

При призначенні і розрахунку режимів різання враховують тип і розмір інструменту, матеріал його ріжучої частини, матеріал і стан заготовки, тип обладнання і його стан.

Розрахунок режимів різання зведена до таблиці 2.3.

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	17 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 - Визначення режимів різання

№ операції	Назва операції та зміст переходів	t, мм.	Режими різання					
			розрахунковий			прийнятий		
			S, мм/об	v, м/хв.	n, об/хв.	S, мм/об	v, м/хв.	n, об/хв.
005.	Горизонтально-розточна	2	0,7	190	610	0,7	110	777
	1. Підрізати торець ø312	2,5	0,6	100	520	0,5	102	530
		1,5	0,4	110	620	0,5	100	550
	2. Розточити отвір ø250 начорно	5	0,15	220	1000	0,12	90	530
		2,6	1,0	105	440	0,7	90	777
	3. Розточити отвір ø250 начисто							
010.	4. Розточити фаску < 45° в ø250							
	5. Підрізати торець ø266							
	Горизонтально-розточна	2,25	1	105	440	1	103	432
	5. Обточити поверхню ø258 начорно	2	0,7	190	610	0,8	96	674
	6. Підрізати торець в розмірі 177 від осі	2,25	1	105	440	1	103	432
		3	0,6	100	520	0,5	102	530
015.	7. Обточити поверхню ø203 начорно							
	8. Розточити отвір ø65 начорно							
	Вертикально-свердлильна	5,35	0,3	16	615	0,3	16,8	648
	2. Свердлилити 8-м отворів ø10,7							

2.8 Розрахунок технічних норм часу (на 2-3 операції)

Однією із складових частин розроблення ТП є визначення норм часу на виконання заданої роботи. Під технічним нормуванням приймаються встановлення норми часу на виконання певної роботи або норми виробітки в штуках за одиницю часу. Величина витрати часу на виготовлення тої чи іншої продукції із необхідною якістю є одним із основних критеріїв для оцінки досконалості ТП [25].

Технічні норми часу в умовах масового і серійного виробництва встановлюються розрахунково-аналітичним способом.

У масовому та багатосерійному виробництві визначається норма штучного часу $T_{шт}$:

$$T_{шт} = T_o + T_{\delta} + T_{об} + T_{от} \quad (2.13)$$

де T_o – основний час, хв.;

T_{δ} – допоміжний час, хв.;

$T_{об}$ – час на обслуговування робочого місця, хв.;

$T_{от}$ – час перерв на відпочинок і особисті потреби, хв.

$$T_o = L / n \times S_0 \quad (2.14)$$

де L – довжина робочого ходу інструменту, мм;

n – частота обертання шпинделя, об/хв.;

S_0 – подача, мм/об

$$L = l + l_1 + l_2 \quad (2.15)$$

де L – довжина оброблюваної поверхні, мм;

l_1 – величина врізання інструменту, мм;

l_2 – величина перебігу інструменту, мм

$$l_1 + l_2 = 7 \text{ мм}$$

$$l = 10 \text{ мм}$$

$$L = 10 + 7 = 17 \text{ мм}$$

$$n = 1600 \text{ об/хв.}$$

$$S_0 = 0,3 \text{ мм/об.}$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	19 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді:

$$T_o = 17/1600 \times 0,3 = 0,03 \text{ хв.}$$

Допоміжний час складається із затрат часу на окремі переходи:

$$T'_\delta = T_{y.c} + T_{з.о.} + T_{уп} + T_{н.з} \quad (2.16)$$

де $T_{y.c}$ – час на встановлення і зняття деталі, хв;

$T_{з.о.}$ – час на закріплення і відкріплення деталі, хв;

$T_{уп}$ – час на управління, хв;

$T_{н.з}$ – час на вимірювання деталі, хв.

$$T_{y.c} = 0,154 \text{ хв.}$$

$$T_{з.о.} = 0,024 \text{ хв.}$$

$$T_{уп} = 0,05 + 0,01 = 0,06 \text{ хв.}$$

$$T_{н.з} = 0,06 \text{ хв.}$$

$$T'_\delta = 0,154 + 0,024 + 0,06 + 0,06 = 0,298 \text{ хв.}$$

При розрахунку допоміжного часу, в велико-серійному виробництві, необхідно врахувати коефіцієнт R:

$$R = 1,5$$

$$T_\delta = T'_\delta \times R \quad (2.17)$$

$$T_\delta = 0,298 \times 1,5 = 0,447 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця, $T_{об}$:

$$T_{об} = T_{тех} + T_{орг} \quad (2.18)$$

де $T_{тех}$ – час на технічне обслуговування робочого місця, хв;;

$T_{орг}$ – час на організаційне обслуговування робочого місця, хв.;

$$T_{тех} = T_o \times t_{CM} / T \quad (2.19)$$

де T_o – основний час, хв.

t_{CM} – час на зміну інструменту, хв.

T – стійкість інструменту, хв.

$$T = 35 \text{ хв.}$$

$$t_{CM} = 0,3 \text{ хв.}$$

$$T_{тех} = 0,03 \times 0,3 / 35 = 0,000257 \text{ хв}$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	20 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Час на організаційне обслуговування робочого місця $T_{\text{орг}}$ визначається у відсотках від оперативного часу:

$$T_{\text{орг}} = T_{\text{оп}} \times \Pi / 100 \quad (2.20)$$

де $T_{\text{оп}}$ – оперативний час, хв.

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_{\text{доп}} \quad (2.21)$$

$$T_{\text{оп}} = 0,03 + 0,447 = 0,477 \text{ хв}$$

$$\Pi = 0,8\%$$

$$T_{\text{орг}} = 0,477 \times 0,8 / 100 = 0,0038 \text{ хв}$$

$$T_{\text{об}} = 0,000257 + 0,0038 = 0,004057 \text{ хв}$$

Час на перерви та відпочинок, $T_{\text{от}}$:

$$T_{\text{от}} = T_o \times \Pi_{\text{от}} / 100 \quad (2.22)$$

де $\Pi_{\text{от}}$ – витрати часу на відпочинок в відсотковому відношенні до оперативного $\Pi_{\text{от}} = 6\%$

$$T_{\text{от}} = 0,03 \times 6 / 100 = 0,0018 \text{ хв.}$$

Тоді,

$$T_{\text{шт}} = 0,03 + 0,447 + 0,004057 + 0,0018 = 0,48 \text{ хв.}$$

Решта результатів зведена до таблиці 2.4 [26]

Таблиця 2.4- Нормування технологічного процесу

Назва та зміст операції	l, мм	l ₁ +l ₂ , мм	T ₀ , хв.	ΣT ₀ , хв.	T _{доп.} , хв.			
					T _{вст}	T _{закр}	T _{уп}	T _{вим}
005 Горизонтально-розточна								
1. Підрізати торець ø312	31	6	0,06	0,31	0,13	0,024	0,035	0,04
2. Розточити отвірø250 начорно	2,5	6	0,03		0,13	0,024	0,035	0,15
3. Розточити отвірø250 начисто	1,5	6	0,019		0,13	0,024	0,035	0,15
4. Розточити фаску < 45 ⁰	5	6	0,17		0,13	0,024	0,035	0,15
5. Підрізати торець ø266	16	6	0,05		0,13	0,024	0,035	0,05

010 Горизонтально-розточна								
1. Обточити поверхню ø258 начорно	17	6	0,05×2	1,48	0,154	0,024	0,035	0,08
2. Підрізати торець в розмір 177	193	6	0,37×2		0,154	0,024	0,035	0,035
3. Обточити пов.ø203 начорно	55	6	0,14×2		0,154	0,024	0,035	0,08
4. Розточити отвір ø65 начорно	42	6	0,18×2		0,154	0,024	0,035	0,12
Вертикально-свердлильна								
5. Свердлити 4-ри отворів ø10,7	10	6	0,08×2	0,16	0,154	0,024	0,035	0,11

Таблиця 2.5

Назва та зміст операції	T _{доп.Σ} ,	T _{оп} ,	T _{обс.} , хв.		ΣT _{обс.} ,х	T _{відп.} ,	T _{шт.} ,
	хв.	хв.	T _{тех.}	T _{орг.}		хв.	хв.
005 Горизонтально-розточна							
6. Підрізати торець ø312	0,229	1,814	0,046	0,038	0,084	0,03	1,909
7. Розточити отвірø250 начор.	0,339						
8. Розточити отвір ø250 начисто	0,339						
9. Розточити фаску < 45 ⁰	0,339						
10.Підрізати торець ø266	0,239						
010 Горизонтально-розточна							
5. Обточити поверхню ø258 начорно	0,293×2	3,904	0,047	0,04	0,0888	0,087	4,08
6. Підрізати торець в р-р 177	0,293×2						
7. Обточити пов.ø203 начорно	0,293×2						
8. Розточити отвірø65 начорно	0,333×2						
015 Вертикально-свердлильна							
1. Свердлити 4-м отворів ø10,7	0,363×2	0,886	0,019	0,0014	0,0096	0,0204	0,916

У технологічному розділі вибрано і обґрунтовано метод отримання заготовки. Розроблено маршрутного технологічного процесу (на всі операції). Вибрано і обґрунтовано технологічне обладнання та оснащення. Визначено міжопераційні припуски і проміжні розміри за табличним методом. Вибрано різальний, допоміжний та контрольно-вимірювальний інструмент. Розраховано технічні норми часу.

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	23
						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вихідні дані

Тип верстата - вертикально-свердильний (Агрегат);
Діапазон регулювання $R_n = 60$;
Розмірна характеристика верстата: 20;
Оброблюваний матеріал: констр. сталь твердість HB260...320;
Характер обробки: чорнова;
Компонування приводу: роздільне;
Структура приводу: складена;
Спосіб регулювання: ступінчасте;
Електродвигун: 1-швидкісний
Спосіб перемикання швидкостей: ручне;
Складальна одиниця: коробка передач.
Знаменник ряду значень швидкостей головного руху: $\phi = 1,4$ (прийнятий як рекомендоване значення для свердильних верстатів);

3.2 Аналіз аналогічних верстатів

Позначення	$n_{\max}$	$n_{\min}$	Z	$S_{\max}$	$S_{\min}$	Pv	Виробник
KST16V	2000	290	6	0,25	0,12	0,75	KNUTH
KSS25V	2160	230	9	25	0,1	1,5	KNUTH
KTV18	2300	230	12		0,15	0,75	KNUTH
KGB25	2900	100	8		0,2	0,75	KNUTH
KTB18G	2800	190	9			1,1	KNUTH

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА				Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Куцик Р.										
Перевір.	Крупа В. В.										
Реценз.											
Н. Контр.	Кобельник В.Р.										
Затверд.	Крупа В. В.										
									ТНТУ, ФМТ, гр. МВс-41		

У всіх найбільший діаметр свердла 20 мм.

3.3 Визначення основних технічних характеристик проектованого верстата

Найбільший діаметр свердління $d_{max} = 20$

Найменший діаметр свердління, що приймається в розрахунок під час проектування верстата, визначається залежністю [27]:

$$d_{min} = (0,15 \dots 0,25) * 20 = (3 \dots 5)$$

Прийmemo $d_{min} = 5$

Мінімальна глибина різання

$$t_{min} = 0,7 + 0,25 \times D_{min}^{0,5} = 0,7 + 0,25 \times 5^{0,5} = 1,3 \text{ мм}$$

Мінімальна подача

$S_{min} = 0,15$ мм (з таблиці з верстатами)

Максимальна швидкість різання для конструкційної сталі

$$v_{max} = \frac{(c_v \times K_v)}{T^m \times t_{min}^{x_v} \times s_{min}^{y_v} \times \left(\frac{HB}{200}\right)^n} = \frac{(44,5 \times 1,07)}{60^{0,1} \times 1,3^{0,25} \times 0,15^{0,5} \times \left(\frac{320}{200}\right)^{1,75}} = 33,3 \text{ м / хв}$$

де c_v , t_v , x_v , y_v , m , T , n - параметри, що залежать від механічних властивостей інструменту та оброблюваного матеріалу:

c_v	K_v	x_v	y_v	m	T	n
44,5	1,07	0,25	0,5	0,1	60	1,75

Максимальна швидкість різання (для алюмінію). Швидкість різання алюмінію 100...500 м/хв. Т. к. в алюмінію НВ зазвичай 15...35 НВ, а алюмінієвий сплав АК21М2Н5 - 100 НВ, то приймемо алюмінієвий сплав [28]

$$v_{\max} = \frac{(c_v \times K_v)}{T^m \times t_{\min}^{x_v} \times s_{\min}^{y_v} \times \left(\frac{HB}{200}\right)^n} = \frac{(84,5 \times 1,09)}{60^{0,1} \times 1,3^{0,5} \times 0,15^{0,5} \times \left(\frac{100}{200}\right)^{1,05}} = 287,9 \text{ м / хв}$$

де c_v , t_v , x_v , y_v , m , T , n - параметри, що залежать від механічних властивостей інструменту та оброблюваного матеріалу:

c_v	K_v	x_v	y_v	m	T	n
84,5	1,09	0,5	0,5	0,1	60	1,05

Максимальну швидкість різання приймаємо за сталлю: $V_{\max} = 33,3$ м/хв.

Максимальне число обертів шпинделя

$$n_{\max} = \frac{1000 \times V_{\max}}{\pi \times d_{\min}} = \frac{1000 \times 33,3}{\pi \times 5} = 2121 \text{ об / хв}$$

Мінімальне число обертів шпинделя

$$n_{\min} = \frac{n_{\max}}{R_n} = \frac{2121}{60} = 35 \text{ об / хв};$$

приймаємо $n_{\min} = 40 \text{ хв}^{-1}$

$P_3 = 1,5$ кВт (з таблиці з верстатами)

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

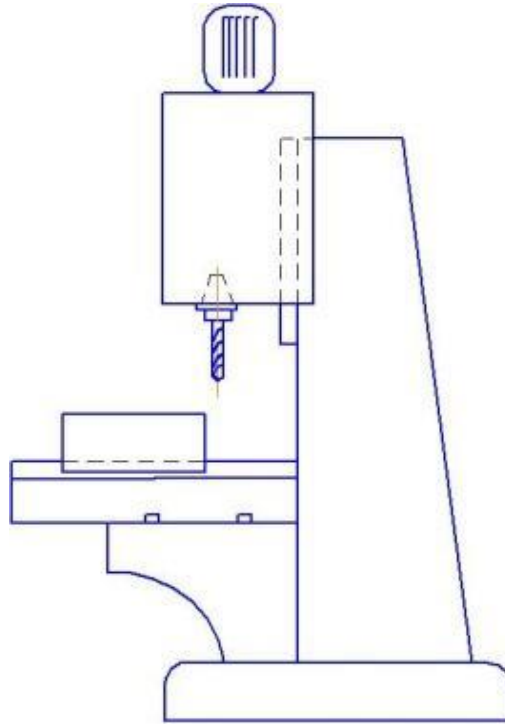


Рисунок 3.1 - Компонування верстата

3.4 Складання кінематичної схеми приводу та кінематичний розрахунок

Вибираємо електродвигун 2ПБ-132МГ :

$$P_H = 1,5 \text{ кВт}$$

$$n_H = 1420 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

3.5 Визначення числа ступенів коробки і структури приводу

Для свердлильно-вертикального верстата знаменник ряду дорівнює $\varphi = 1,4$ [28]:

$$Z = 1 + \frac{\log \log 60}{\log \log 1,4} = 1 + 12,168$$

Прийmemo: $Z = 12$

Приймаємо ряд частот обертання шпинделя:

$$\begin{aligned} n_1 &= 40 & n_2 &= 56 & n_3 &= 80 & n_4 &= 112 & n_5 &= 160 \\ n_6 &= 224 & n_7 &= 320 & n_8 &= 448 & n_9 &= 560 & n_{10} &= 800 \\ n_{11} &= 1120 & n_{12} &= 1600 \end{aligned}$$

Структура нормальна:

$$Z_k = 3_1 \times 2_2 + 2_3;$$

Рис 3.2. Структурна сітка приводу модуля головного руху

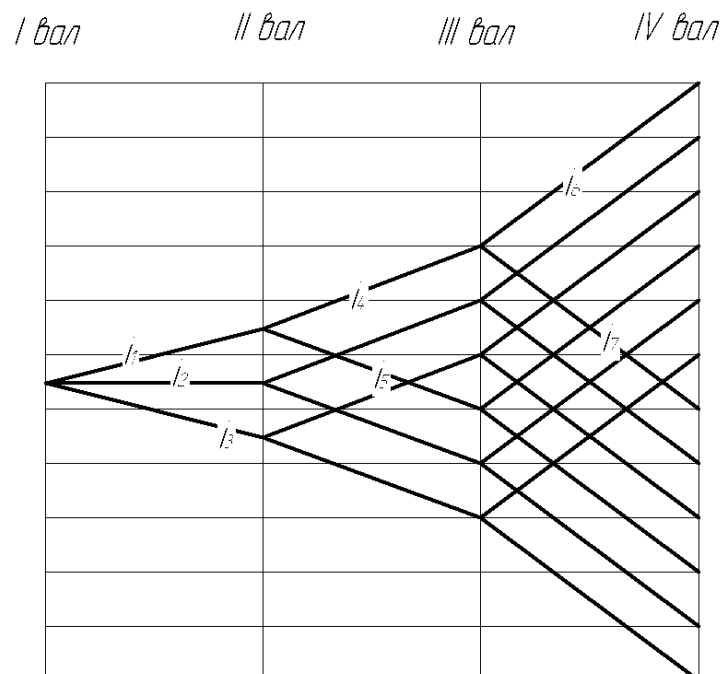


Рисунок 3.2 - Структурна сітка приводу модуля головного руху

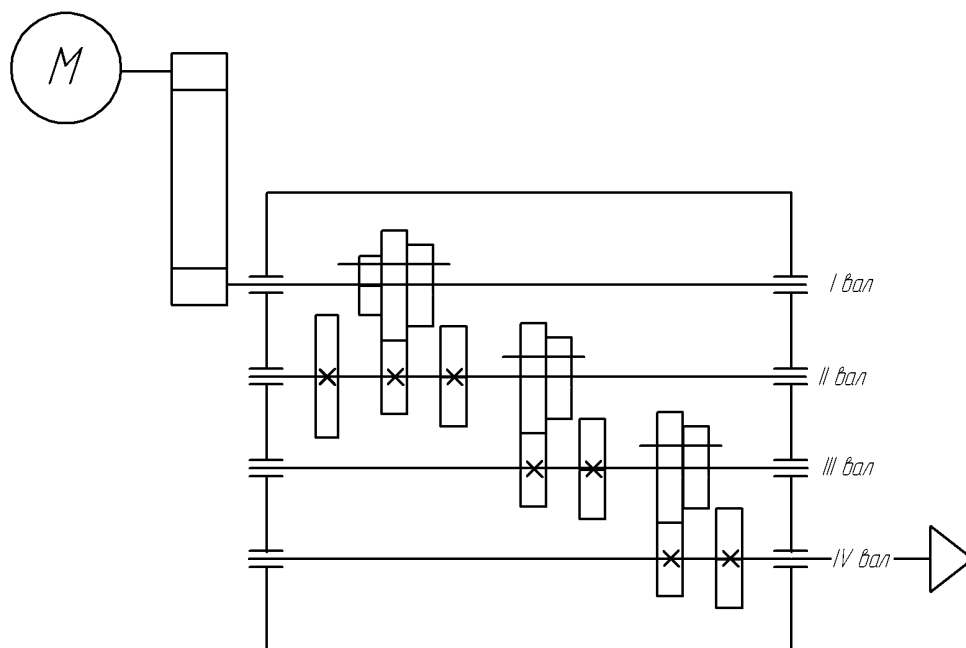


Рисунок 3.3 - Принципово кінематична схема приводу модуля головного руху

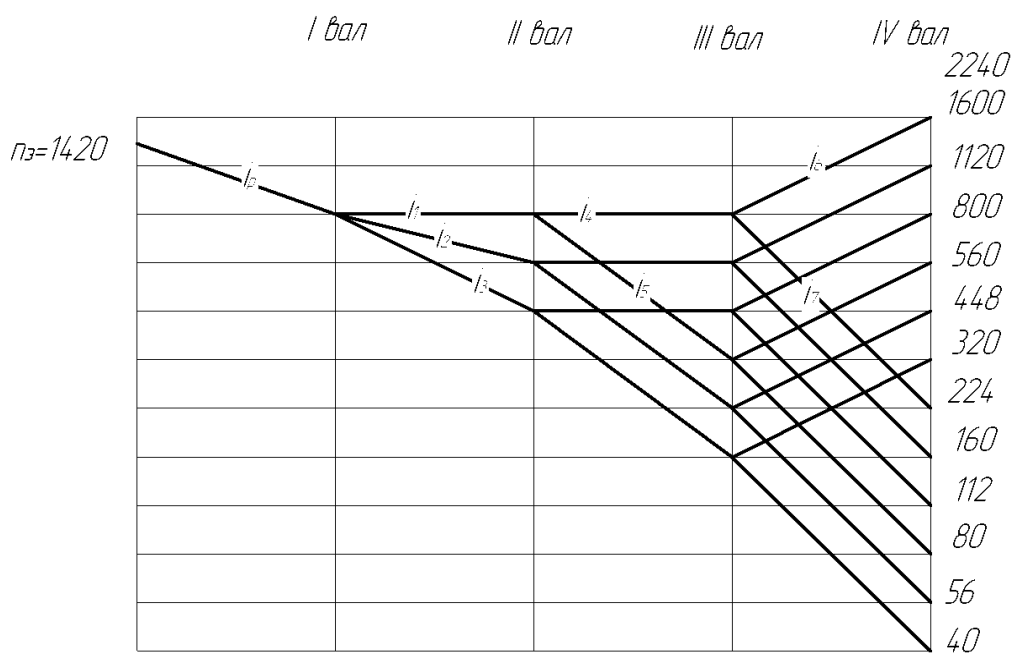


Рисунок 3.4 - Діаграма частот обертання приводу головного руху

Визначення передавальних відношень передач передач приводу:

$$i_p = \frac{d_1}{d_2} \cdot 0.98 = \frac{n_1}{n_{зд}} = \frac{800}{1420} = 0.5634$$

$$i_1 = i_4 = 1; \quad i_2 = \varphi^{-1} = \frac{1}{\varphi} = \frac{5}{7}; \quad i_6 = \varphi^2 = \frac{2}{1};$$

$$i_3 = \varphi^{-2} = \frac{1}{2} \quad i_5 = \varphi^{-3} = \frac{5}{14}; \quad i_7 = \varphi^{-4} = \frac{1}{4};$$

3.6 Визначення чисел зубів

$$i_p = \frac{d_1}{d_2} \cdot \gamma, \text{ де } \gamma - \text{ коефіцієнт прослизання ремня};$$

$$\gamma = 0.98$$

Для діаметра вала електродвигуна 2ПБ-132МГ відповідає діаметр [29] шківів; $d_1 = 63 \text{ мм}$

$$\text{Тоді } d_2 = \frac{d_1}{i_p} \cdot \gamma = \frac{63 \cdot 0.98}{0.5634} = 109,6 \text{ мм};$$

Визначимо числа зубів шестерень

Група I:

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{a_1}{b_1} = \frac{1}{1} \quad a_1 + b_1 = 2$$

$$i_2 = \frac{z_3}{z_4} = \frac{a_2}{b_2} = \frac{5}{7} \quad a_2 + b_2 = 12 \quad S_z = 36$$

$$i_3 = \frac{z_5}{z_6} = \frac{a_3}{b_3} = \frac{1}{2} \quad a_3 + b_3 = 3$$

$$z_1 = \frac{S_z}{a_1 + b_1} \cdot a_1 = \frac{36}{1 + 1} \cdot 1 = 18$$

$$z_2 = \frac{S_z}{a_1 + b_1} \cdot b_1 = \frac{36}{1 + 1} \cdot 1 = 18$$

$$z_3 = \frac{S_z}{a_2 + b_2} \cdot a_2 = \frac{36}{5 + 7} \cdot 5 = 15$$

$$z_4 = \frac{S_z}{a_2 + b_2} \cdot b_2 = \frac{36}{5 + 7} \cdot 7 = 21$$

$$z_5 = \frac{S_z}{a_3 + b_3} \cdot a_3 = \frac{36}{1 + 2} \cdot 1 = 12$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

$$z_6 = \frac{S_z}{a_3 + b_3} \cdot a_3 = \frac{36}{1 + 2} \cdot 2 = 24$$

Для виключення підрізання зубів приймемо умову $z_{\min} = 18 \dots 20$. Збільшимо кількість зубів у 2 рази [29].

$$z_1 = 18 \times 2 = 36$$

$$z_2 = 18 \times 2 = 36$$

$$z_3 = 15 \times 2 = 30$$

$$z_4 = 21 \times 2 = 42$$

$$z_5 = 12 \times 2 = 24$$

$$z_6 = 24 \times 2 = 48$$

Група II:

$$i_4 = \frac{z_7}{z_8} = \frac{a_4}{b_4} = 1 \quad a_4 + b_4 = 2$$

$$i_5 = \frac{z_9}{z_{10}} = \frac{a_5}{b_5} = \frac{2}{14} \quad a_5 + b_5 = 19 \quad S_z = 38$$

$$z_7 = \frac{S_z}{a_4 + b_4} \cdot a_4 = \frac{38}{1 + 1} \cdot 1 = 19$$

$$z_8 = \frac{S_z}{a_4 + b_4} \cdot b_4 = \frac{38}{1 + 1} \cdot 1 = 19$$

$$z_9 = \frac{S_z}{a_5 + b_5} \cdot b_5 = \frac{38}{5 + 14} \cdot 5 = 10$$

$$z_{10} = \frac{S_z}{a_5 + b_5} \cdot b_5 = \frac{38}{5 + 14} \cdot 14 = 28$$

Для виключення підрізання зубів приймемо умову $z_{\min} = 18 \dots 20$. Збільшимо кількість зубів у 2 рази.

$$z_7 = 19 \times 2 = 38$$

$$z_8 = 19 \times 2 = 38$$

$$z_9 = 10 \times 2 = 20$$

$$z_{10} = 28 \times 2 = 56$$

Група II:

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

$$i_6 = \frac{z_{11}}{z_{12}} = \frac{a_4}{b_4} = \frac{2}{1} \quad a_4 + b_4 = 3$$

$$i_7 = \frac{z_{13}}{z_{14}} = \frac{a_5}{b_5} = \frac{1}{4} \quad a_5 + b_5 = 5 \quad S_z = 15$$

$$z_{711} = \frac{S_z}{a_4 + b_4} \cdot a_4 = \frac{15}{2 + 1} \cdot 2 = 10$$

$$z_{12} = \frac{S_z}{a_4 + b_4} \cdot b_4 = \frac{15}{2 + 1} \cdot 1 = 5$$

$$z_{13} = \frac{S_z}{a_5 + b_5} \cdot b_5 = \frac{15}{1 + 4} \cdot 1 = 3$$

$$z_{14} = \frac{S_z}{a_5 + b_5} \cdot b_5 = \frac{15}{1 + 4} \cdot 4 = 12$$

Для виключення підрізання зубів прийmemo умову $z_{\min} = 18 \dots 20$. Збільшиmo кількість зубів у 7 разів.

$$z_{11} = 10 \times 7 = 70$$

$$z_{12} = 5 \times 7 = 35$$

$$z_{13} = 3 \times 7 = 21$$

$$z_4 = 12 \times 7 = 84$$

3.7 Перевірочний розрахунок частот обертання

$$n_{1\phi} = n_{\text{зд}} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_7}{z_8} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot 0,98 = 1420 \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{38}{38} \cdot \frac{70}{35} \cdot \frac{63}{109,6} \cdot 0,98 == 1599,9 \text{ об}^{-1}$$

$$n_{2\phi} = n_{\text{зд}} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_7}{z_8} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot 0,98 = 1420 \cdot \frac{30}{42} \cdot \frac{38}{38} \cdot \frac{70}{35} \cdot \frac{63}{109,6} \cdot 0,98 == 1142,7 \text{ об}^{-1}$$

$$n_{3\phi} = n_{\text{зд}} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_8} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot 0,98 = 1420 \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{38}{38} \cdot \frac{70}{35} \cdot \frac{63}{109,6} \cdot 0,98 == 799,9 \text{ об}^{-1}$$

$$n_{4\phi} = n_{\text{зд}} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot 0,98 = 1420 \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{20}{56} \cdot \frac{70}{35} \cdot \frac{63}{109,6} \cdot 0,98 == 571,4 \text{ об}^{-1}$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

$$n_{5\phi} = n_{\text{зд}} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot 0,98 = 1420 \cdot \frac{30}{42} \cdot \frac{20}{56} \cdot \frac{70}{35} \cdot \frac{63}{109,6} \cdot 0,98 == 432,1 \text{ хб}^{-1}$$

$$n_{6\phi} = n_{\text{зд}} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot 0,98 = 1420 \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{20}{56} \cdot \frac{70}{35} \cdot \frac{63}{109,6} \cdot 0,98 == 307,7 \text{ хб}^{-1}$$

$$n_{7\phi} = n_{\text{зд}} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_7}{z_8} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot 0,98 = 1420 \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{38}{38} \cdot \frac{21}{84} \cdot \frac{63}{109,6} \cdot 0,98 == 214,5 \text{ хб}^{-1}$$

$$n_{8\phi} = n_{\text{зд}} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_7}{z_8} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot 0,98 = 1420 \cdot \frac{30}{42} \cdot \frac{38}{38} \cdot \frac{21}{84} \cdot \frac{63}{109,6} \cdot 0,98 == 153,8 \text{ хб}^{-1}$$

$$n_{9\phi} = n_{\text{зд}} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_8} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot 0,98 = 1420 \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{38}{38} \cdot \frac{21}{84} \cdot \frac{63}{109,6} \cdot 0,98 == 107,7 \text{ хб}^{-1}$$

$$n_{10\phi} = n_{\text{зд}} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot 0,98 = 1420 \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{20}{56} \cdot \frac{21}{84} \cdot \frac{63}{109,6} \cdot 0,98 == 76,8 \text{ хб}^{-1}$$

$$n_{11\phi} = n_{\text{зд}} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot 0,98 = 1420 \cdot \frac{30}{42} \cdot \frac{20}{56} \cdot \frac{21}{84} \cdot \frac{63}{109,6} \cdot 0,98 == 53,5 \text{ хб}^{-1}$$

$$n_{6\phi} = n_{\text{зд}} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot 0,98 = 1420 \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{20}{56} \cdot \frac{21}{84} \cdot \frac{63}{109,6} \cdot 0,98 = 38,7 \text{ хб}^{-1}$$

Допустиме відхилення частоти обертання [30]:

$$|\Delta n| = 10 \cdot (\varphi - 1) = 10 \cdot (1,4 - 1) = 4\%$$

Похибки:

$$\Delta n_1 = \left| \frac{n_1 - n_{1\phi}}{n_1} \right| \cdot 100 = \left| \frac{1599,9 - 1600}{1600} \right| \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta n_2 = \left| \frac{n_2 - n_{2\phi}}{n_2} \right| \cdot 100 = \left| \frac{1142,7 - 1120}{1120} \right| \cdot 100 = 2\%$$

$$\Delta n_3 = \left| \frac{n_3 - n_{3\phi}}{n_3} \right| \cdot 100 = \left| \frac{799,9 - 800}{800} \right| \cdot 100 = 0\%$$

$$\Delta n_4 = \left| \frac{n_4 - n_{4\phi}}{n_4} \right| \cdot 100 = \left| \frac{571,4 - 560}{560} \right| \cdot 100 = 2\%$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

$$\Delta n_5 = \left| \frac{n_5 - n_{5\phi}}{n_5} \right| \cdot 100 = \left| \frac{432,1 - 448}{448} \right| \cdot 100 = 3,5\%$$

$$\Delta n_6 = \left| \frac{n_6 - n_{6\phi}}{n_6} \right| \cdot 100 = \left| \frac{307,7 - 320}{320} \right| \cdot 100 = 3,8\%$$

$$\Delta n_7 = \left| \frac{n_7 - n_{7\phi}}{n_7} \right| \cdot 100 = \left| \frac{214,5 - 224}{224} \right| \cdot 100 = 4\%$$

$$\Delta n_8 = \left| \frac{n_8 - n_{8\phi}}{n_8} \right| \cdot 100 = \left| \frac{153,8 - 160}{160} \right| \cdot 100 = 4\%$$

$$\Delta n_9 = \left| \frac{n_9 - n_{9\phi}}{n_9} \right| \cdot 100 = \left| \frac{76,5 - 80}{80} \right| \cdot 100 = 4\%$$

$$\Delta n_{10} = \left| \frac{n_{10} - n_{10\phi}}{n_{10}} \right| \cdot 100 = \left| \frac{53,5 - 56}{56} \right| \cdot 100 = 4\%$$

$$\Delta n_{11} = \left| \frac{n_{11} - n_{11\phi}}{n_{11}} \right| \cdot 100 = \left| \frac{214,5 - 224}{224} \right| \cdot 100 = 4\%$$

$$\Delta n_{12} = \left| \frac{n_{12} - n_{12\phi}}{n_{12}} \right| \cdot 100 = \left| \frac{38,7 - 40}{40} \right| \cdot 100 = 3,2\%$$

Таким чином, підібрані числа зубів і діаметри шківів підходять для цієї схеми.

3.8 Визначення розрахункових значень крутних моментів

Визначення потужності на валах приводу [31].

$$P_1 = P_{зд} \cdot P_{\eta_{пк}}^2 \cdot P_{\eta_p} = 1,5 \cdot 0,995^2 \cdot 0,98 = 1,455 \text{ кВт}$$

$$P_2 = P_1 \cdot P_{\eta_{пк}}^2 \cdot P_{\eta_{зз}} = 1,455 \cdot 0,995^2 \cdot 0,98 = 1,412 \text{ кВт}$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

$$P_3 = P_2 \cdot \eta_{\text{пк}}^2 \cdot \eta_{\text{зз}} = 1,412 \cdot 0,995^2 \cdot 0,98 = 1,369 \text{ кВт}$$

$$P_4 = P_3 \cdot \eta_{\text{пк}}^2 \cdot \eta_{\text{зз}} = 1,369 \cdot 0,995^2 \cdot 0,98 = 1,329 \text{ кВт}$$

де:

$\eta_{\text{пк}} = 0,995$ - ККД підшипників качення;

$\eta_{\text{зз}} = 0,98$ - ККД зубчастого зачеплення;

$\eta_{\text{р}} = 0,98$. - ККД пасової передачі;

3.9 Визначення крутних моментів на валах

$$T_i = 9550 \cdot \frac{P_i}{n_{p,i}}, (H \cdot м);$$

$$T_{\text{эд}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{эд}}}{n_{\text{эном}}} = 9550 \cdot \frac{1,5}{1420} = 10,01 (H \cdot м);$$

$$T_1 = 9550 \cdot \frac{P_1}{n_{1в}} = 9550 \cdot \frac{1,455}{800} = 17,35 (H \cdot м);$$

$$T_2 = 9550 \cdot \frac{P_2}{n_{2в}} = 9550 \cdot \frac{1,412}{448} = 30,1 (H \cdot м);$$

$$T_3 = 9550 \cdot \frac{P_3}{n_{3в}} = 9550 \cdot \frac{1,369}{160} = 81,71 (H \cdot м);$$

$$T_4 = 9550 \cdot \frac{P_4}{n_{3в}} = 9550 \cdot \frac{1,329}{40} = 317,3 (H \cdot м);$$

3.10 Попередній розрахунок валів

Приблизно визначаємо діаметри валів за умовою міцності для середньовуглецевої сталі ($\sigma_b = 5 \div 8$ МПа) для напруги $\tau_{кр} = 500 \div 285$ кПа [32]:

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

$$d_i = (130 \div 160) \cdot \sqrt[3]{\frac{P_i}{n_{pi}}}$$

$$d_1 = (130 \div 160) \cdot \sqrt[3]{\frac{P_1}{n_{p1}}} = (130 \div 160) \cdot \sqrt[3]{\frac{1,455}{1420}} = (13,17 \div 16,2)$$

$$d_2 = (130 \div 160) \cdot \sqrt[3]{\frac{P_2}{n_{p2}}} = (130 \div 160) \cdot \sqrt[3]{\frac{1,412}{800}} = (15,71 \div 19,34)$$

$$d_3 = (130 \div 160) \cdot \sqrt[3]{\frac{P_3}{n_{p2}}} = (130 \div 160) \cdot \sqrt[3]{\frac{1,369}{160}} = (26,59 \div 32,72)$$

$$d_4 = (130 \div 160) \cdot \sqrt[3]{\frac{P_4}{n_{p2}}} = (130 \div 160) \cdot \sqrt[3]{\frac{1,329}{40}} = (41,79 \div 51,43)$$

Обмеження за жорсткістю (для допустимого кута закручування $[\sigma] \approx (4,4 \div 8,8) \times 10^{-3}$ рад $(\sim 0,25 \div 0,5)^0$ на 1 мм. довжини вала) [33]:

$$d_i \dots 110 \cdot \sqrt[4]{\frac{P_i}{n_{pi}}}$$

$$d_1 \dots 110 \cdot \sqrt[4]{\frac{P_1}{n_{p1}}} = 110 \cdot \sqrt[4]{\frac{1,455}{1420}} = 19,75 \text{ мм}$$

$$d_2 \dots 110 \cdot \sqrt[4]{\frac{P_2}{n_{p2}}} = 110 \cdot \sqrt[4]{\frac{1,412}{800}} = 22,54 \text{ мм}$$

$$d_3 \dots 110 \cdot \sqrt[4]{\frac{P_3}{n_{p2}}} = 110 \cdot \sqrt[4]{\frac{1,369}{160}} = 33,45 \text{ мм}$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$d_4 \dots 110 \cdot \sqrt[4]{\frac{P_4}{n_{p2}}} = 110 \cdot \sqrt[4]{\frac{1,329}{40}} = 46,96 \text{ мм}$$

Оскільки діапазони мінімально допустимих за умовою жорсткості діаметрів валів більші, ніж за умовою міцності, приймаємо за орієнтовний найменший допустимий - діаметр за умовою жорсткості [34].

Округляємо до стандартного значення за ГОСТ 12081-72 у бік збільшення. Маємо: $d_I = 20 \text{ мм}$; $d_{II} = 25 \text{ мм}$; $d_{III} = 35 \text{ мм}$; $d_{IV} = 50 \text{ мм}$.

3.11 Розрахунок міжосьової відстані

Розрахунок здійснюємо за такою формулою:

$$a_w = K_a \times (u + 1) \times \sqrt[3]{\frac{T_{2H} \times K_{H\beta}}{u^2 \times \psi_{ba} \times \sigma_{HP}^2}}, \text{ (мм)};$$

де: K_a - допоміжний коефіцієнт: для прямозубих передач

$DO_a = 495$;

u - передавальне число: $u = \frac{Z_{\text{коліса}}}{Z_{\text{шестерні}}}$;

T_{2H} - крутний момент на колесі;

ψ_{ba} , ψ_{bd} - коефіцієнти, що враховують ширину зуба, $\psi = \frac{b_w}{a_w}$

$= 0,1$, оскільки $\psi_{bd} = \frac{b_w}{d_{w\omega}}$, а $d_{w\omega} = \frac{2a_w}{u+1}$, то $\psi_{bd} = \frac{(u+1)}{2} \times \psi_{ba}$;

$K_{H\beta}$ - коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження по ширині вінця;

σ_{HP} - контактна напруга, що допускається,

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{H \lim}}{S_H} \times Z_R \times Z_V \times K_L \times K_{xH};$$

де: $\sigma_{H \lim}$ - межа контактної витривалості поверхні зубів, що відповідає еквівалентному числу циклів змін напружень:

$$\sigma_{H \lim} = \sigma_{H \lim b} \times K_{HL};$$

де: $\sigma_{H \lim b}$ - межа контактної витривалості поверхні зубів, що відповідає базовому числу циклів змін напружень:

$\sigma_{H \lim b} = 17 \times \text{HRC} + 200 = 17 \times 45 + 200 = 965 \text{ МПа}$ - для сталі 40Х, термообробка: поліпшення і загартування ТВЧ, твердість не нижче HRC 45 ... 50;

K_{HL} - коефіцієнт довговічності: орієнтовно навантаження верстата приймаю за постійне, а $N_{HE} > N_{HO}$, тоді $K_{HL} = 1$, де N_{HE} і N_{HO} - еквівалентне і базове число циклів змін напружень відповідно.

Тоді: $\sigma_{H \lim} = \sigma_{H \lim b} \times K_{HL} = 965 \times 1 = 965 \text{ МПа}$;

S_H - коефіцієнт безпеки: $S_H = 1,2$;

Z_R - коефіцієнт, що враховує шорсткість сполучених поверхонь зубів;

Z_V - коефіцієнт, що враховує окружну швидкість;

K_L - коефіцієнт, що враховує вплив мастила;

K_{xH} - коефіцієнт, що враховує розміри зубчастого колеса;

$Z_R \times Z_V \times K_L \times K_{xH} = 0,9$ за нормами точності зубчастих передач для верстата нормальної точності;

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{H \lim}}{S_H} \times Z_R \times Z_V \times K_L \times K_{xH} = \frac{965}{1,2} \times 0,9 = 723,75 \text{ МПа};$$

Визначаємо міжосьову відстань:

$$a_{w1-2} = 495 \cdot (2,0 + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{17,35 \cdot 1,02}{2,0^2 \cdot 723,75^2 \cdot 0,1}} = 65,15 \text{ мм}$$

$$a_{w2-3} = 495 \cdot (7 + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{30,1 \cdot 1,02}{7^2 \cdot 723,75^2 \cdot 0,1}} = 90,56 \text{ мм}$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

$$a_{w3-4} = 495 \cdot (4 + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{81,71 \cdot 1,02}{4^2 \cdot 723,75^2 \cdot 0,1}} = 114,66 \text{ мм}$$

3.12 Розрахунок параметрів передач

Модуль першого ступеня:

$$m_{1,2} = \frac{2 \cdot a_{w1-2}}{z_1 + z_2} = \frac{2 \cdot 65,15}{36 + 36} = 1,8 \text{ мм}$$

Модуль другого ступеня:

$$m_{2,3} = \frac{2 \cdot a_{w2-3}}{z_7 + z_8} = \frac{2 \cdot 90,56}{38 + 38} = 2,38 \text{ мм}$$

Модуль другого ступеня:

$$m_{3,4} = \frac{2 \cdot a_{w3-4}}{z_{11} + z_{12}} = \frac{2 \cdot 114,66}{70 + 35} = 3,25 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартні модулі: $m_{1,2}=2,0$; $m_{2,3}=2,5$; $m_{3,4}=3,5$

Уточнюємо міжосьову відстань за формулою [35]:

$$a_w = \frac{z_1 + z_2}{2} \times m$$

$$a_{w1} = \frac{36 + 36}{2} \times 2,0 = 72 \text{ мм}$$

$$a_{w2} = \frac{38 + 38}{2} \times 2,5 = 95 \text{ мм}$$

$$a_{w3} = \frac{70 + 35}{2} \times 3,5 = 183,75 \text{ мм}$$

Геометричний розрахунок зубчастої передачі.

Знаходження дільного діаметра коліс.

Розрахунок здійснюємо за такою формулою:

$$d = m \times z;$$

$$d_1 = m_{1,2} \times z_1 = 2 \times 36 = 72 \text{ мм};$$

$$d_2 = m_{1,2} \times z_2 = 2 \times 36 = 72 \text{ мм};$$

$$d_3 = m_{3,4,5,6} \times z_3 = 2 \times 30 = 60 \text{ мм};$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$d_4 = m_{3,4,5,6} \times z_4 = 2 \times 42 = 84 \text{ мм};$$

$$d_5 = m_{3,4,5,6} \times z_5 = 2 \times 24 = 48 \text{ мм};$$

$$d_6 = m_{3,4,5,6} \times z_6 = 2 \times 48 = 96 \text{ мм};$$

$$d_7 = m_{7,8,9,10} \times z_7 = 2,5 \times 38 = 95 \text{ мм};$$

$$d_8 = m_{7,8,9,10} \times z_8 = 2,5 \times 38 = 95 \text{ мм};$$

$$d_7 = m_{7,8,9,10} \times z_7 = 2,5 \times 38 = 95 \text{ мм};$$

$$d_9 = m_{7,8,9,10} \times z_8 = 2,5 \times 20 = 50 \text{ мм}.$$

$$d_{10} = m_{7,8,9,10} \times z_7 = 2,5 \times 56 = 140 \text{ мм};$$

$$d_{11} = m_{11,12,13,14} \times z_8 = 3,5 \times 70 = 245 \text{ мм}.$$

$$d_{12} = m_{11,12,13,14} \times z_7 = 3,5 \times 35 = 122,5 \text{ мм};$$

$$d_{13} = m_{11,12,13,14} \times z_8 = 3,5 \times 21 = 73,5 \text{ мм}.$$

$$d_{14} = m_{11,12,13,14} \times z_8 = 3,5 \times 84 = 294 \text{ мм}.$$

Визначення ширини коліс.

$$b = \psi_{w a} \times a_w, \text{ де } \psi_a = 0,1$$

$$b = \psi_{w1 a} \times a_{1-2} = 0,1 \times 72 = 7,2 \text{ мм}; \text{ прийmemo } 8 \text{ мм}$$

$$b = \psi_{w1' a} \times a_{1-3} = 0,1 \times 95 = 9,5 \text{ мм}; \text{ прийmemo } 10 \text{ мм}$$

$$b = \psi_{w2 a} \times a_{2-3} = 0,1 \times 183,75 = 18,4 \text{ мм}; \text{ прийmemo } 19 \text{ мм}$$

3.13 Розрахунок валів на міцність

Виконаємо розрахунок на міцність передостаннього вала (дивись креслення).

Сили в зачепленні [36]:

$$F_{t_8} = \frac{2T_3 \cdot 10^3}{d_8} = \frac{2 \cdot 81,71 \cdot 10^3}{95} = 1720 \text{ Н}$$

$$F_{r_8} = F_{t_8} \cdot \cos \alpha_w = 1720 \cdot \cos 20^\circ = 702 \text{ Н}$$

де α_w — кут зачеплення за ГОСТ 13755-81

$$F_{t_{13}} = \frac{2T_3 \cdot 10^3}{d_{13}} = \frac{2 \cdot 81,71 \cdot 10^3}{73,5} = 2223 \text{ Н}$$

$$F_{r_{13}} = F_{t_7} \cdot \cos \alpha_w = 2223 \cdot \cos 20^\circ = 907 \text{ Н}$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$l_1 = 116 \text{ мм}$$

$$l_2 = 161 \text{ мм}$$

$$l_3 = 33 \text{ мм}$$

Визначимо навантаження в опорах.

Вертикальна площина [37].

$$\Sigma \text{mom} F_{(a)} = F_{t8} \cdot l_1 - F_{t13} \cdot (l_1 + l_2) + R_{bx} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) = 0$$

$$R_{bx} = \frac{-F_{t8} \cdot l_1 + F_{t13} \cdot (l_1 + l_2)}{l_1 + l_2 + l_3} = \frac{-1720 \cdot 116 + 2223 \cdot (116 + 161)}{33 + 116 + 161} = 1343 \text{ Н}$$

$$\Sigma \text{mom} F_{(B)} = -R_{ax} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) + F_{t8} \cdot (l_2 + l_3) - F_{t13} \cdot l_3 = 0$$

$$R_{ax} = \frac{-F_{t8} \cdot (l_2 + l_3) + F_{t13} \cdot l_3}{l_1 + l_2 + l_3} = \frac{-1720 \cdot (161 + 33) + 2223 \cdot 33}{116 + 161 + 33} = -840 \text{ Н}$$

Горизонтальна площина.

$$\Sigma \text{mom} F_{(a)} = -F_{r8} \cdot l_1 + F_{r13} \cdot (l_1 + l_2) + R_{by} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) = 0$$

$$R_{by} = \frac{F_{r8} \cdot l_1 - F_{r13} \cdot (l_1 + l_2)}{l_1 + l_2 + l_3} = \frac{702 \cdot 116 - 907 \cdot (116 + 161)}{33 + 116 + 161} = -548 \text{ Н}$$

$$\Sigma \text{mom} F_{(B)} = -R_{ay} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) + F_{r8} \cdot (l_2 + l_3) - F_{r13} \cdot l_3 = 0$$

$$R_{ay} = \frac{F_{r8} \cdot (l_2 + l_3) - F_{r13} \cdot l_3}{l_1 + l_2 + l_3} = \frac{702 \cdot (161 + 33) - 907 \cdot 33}{33 + 161 + 116} = 343 \text{ Н}$$

Знаходимо згинальний момент у горизонтальній площині.

$$0 < x < l_1$$

$$M_y(x) = R \cdot x_{ay}$$

$$M_y(0) = 0$$

$$M_y(l_1) = R_{ay} \cdot l_1 = 343 \cdot 116 = 39,8 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$l_1 < x < (l_1 + l_2)$$

$$M_y(x) = R \cdot x - F_{ayr2} \cdot (x - l_1)$$

$$M_y(l_1 + l_2) = R_{ay} \cdot (l_1 + l_2) - F_{r8} \cdot l_2 = 343 \cdot (116 + 161) - 702 \cdot 161 = -18 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_y(x) = R \cdot x - F_{ayr8} \cdot (x - l_1) + F_{r13} \cdot (x - (l_1 + l_2))$$

$$(l_1 + l_2) < x < (l_1 + l_2 + l_3)$$

$$M_y(l_1 + l_2 + l_3) = R_{ay} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) - F_{r8} \cdot (l_1 + l_2) + F_{r13} \cdot l_3 = 0$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Знаходимо згинальний момент у вертикальній площині.

$$0 < x < l_1$$

$$M_x(x) = -R_{ax} \cdot l_1$$

$$M_x(0) = 0$$

$$M_x(l_1) = R_{ax} \cdot l_1 = -840 \cdot 161 = -135,2 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$l_1 < x < (l_1 + l_2)$$

$$M_x(x) = R_{ax} \cdot x + F_{axt8} \cdot (x - l_1)$$

$$M_x(l_1 + l_2) = R_{ax} \cdot (l_1 + l_2) + F_{t8} \cdot l_2 = -840 \cdot (116 + 161) + 1720 \cdot 161 = 44,2 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$(l_1 + l_2) < x < (l_1 + l_2 + l_3)$$

$$M_x(x) = R_{ax} \cdot x + F_{t8} \cdot (x - l_1) - F_{t13} \cdot (x - (l_1 + l_2))$$

$$M_x(l_1 + l_2 + l_{123}) = R_{ax} \cdot (l_1 + l_2 + l_{123}) + F_{t2} \cdot (l_1 + l_{23}) - F_{t73} \cdot l_{73} = 0$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

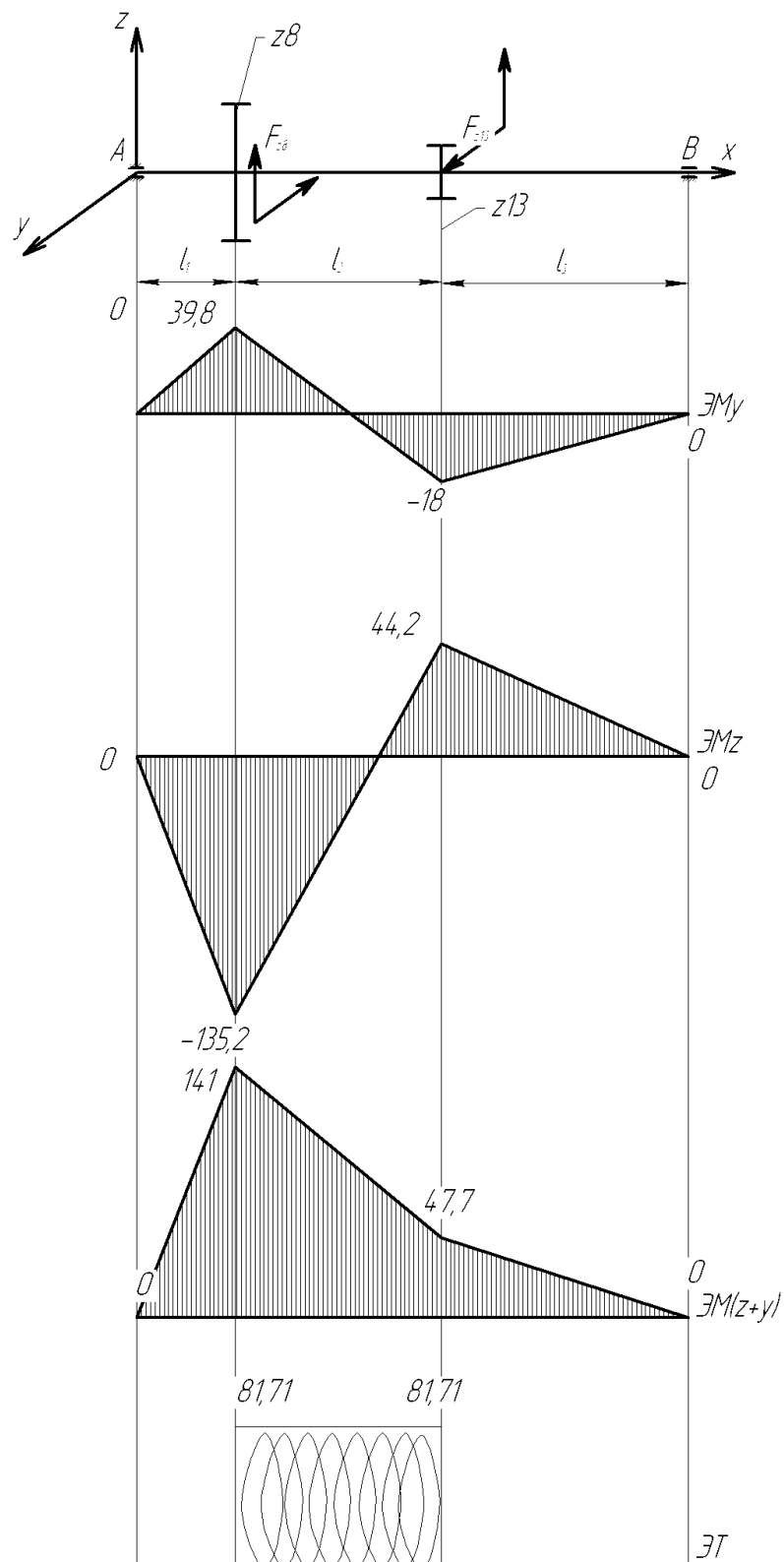


Рисунок 3.5

Сумарний згинальний момент [38]

$$M = \sqrt{M_y^2 + M_z^2}$$

$$0 < X < l_1$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДР 22-363.00.00.000 ПЗ

Арк.

$$M_{\Sigma}(0)=0$$

$$l_1 < X < (l_1 + l_2)$$

$$M_{\Sigma}(l_1) = \sqrt{39,8^2 \cdot 10^9 + (-135,2)^2 \cdot 10^9} = 141 \cdot 10^3 \text{ Н*м}$$

$$M_{\Sigma}(l_1 + l_2) = \sqrt{(-18)^2 \cdot 10^9 + 44,2^2 \cdot 10^9} = 47,7 \cdot 10^3 \text{ Н*м}$$

$$(l_1 + l_2) < X < (l_1 + l_2 + l_3)$$

$$M_{\Sigma}(l_1 + l_2 + l_3) = 0$$

Небезпечним перерізом є місце розташування колеса 7

$$R_a = \sqrt{R_{ay}^2 + R_{ax}^2} = 1584 \text{ Н}$$

$$F_a = 0$$

$$R_g = \sqrt{R_{gy}^2 + R_{gx}^2} = 646,5 \text{ Н}$$

$$F_a = 0$$

Максимальний згинальний момент $M_{\Sigma} = 141 \times 10^3 \text{ Нм}$ [38]

Крутний момент $T = 81,71 \text{ Нм}$

$$W = \frac{\pi \times d^3}{32}$$

$$W_K = \frac{\pi \times d^3}{16}$$

$$W = \frac{\pi \times 35^3}{32} = 4207 \text{ мм}^3$$

$$W_K = \frac{\pi \times 35^3}{16} = 8414 \text{ мм}^3$$

Приймемо, що нормальні напруження змінюються за симетричним циклом

$$(\sigma_a = \sigma_{\max}, \sigma_m = 0),$$

а дотичні напруження - за пульсуючим циклом

$$(\tau_a = \tau_m = 0,5 \times \tau)$$

Матеріал вала - сталь 45 ($\sigma_T = 500 \text{ МПа}$, $\sigma_B = 750 \text{ МПа}$, $\sigma_{-1} = 330 \text{ МПа}$, $\tau_{-1} = 180 \text{ МПа}$).

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Розглянемо переріз

$$\tau_a = \tau_m = 0,5 \times 10^3 \times T / (2 \times W)_K$$

$$\tau_a = \tau_m = (81,71 \times 10^3) / (2 \times 8414) = 4,85 \text{ МПа}$$

$$\sigma = 10^3 \times M / W$$

$$\sigma_a = (141 \times 10^3) / 4207 = 33,5 \text{ МПа}$$

Запас міцності розраховується за формулою:

$$S = \frac{S_\sigma \times S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}}$$

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1D}}{\sigma_a}$$

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1D}}{\tau_a + \psi_{\tau D} \times \tau_m}$$

де: σ_{-1D} і τ_{-1D} межі витривалості вала в розглянутому перерізі [39]

$$\sigma_{-1D} = \sigma_{-1} / K_{\sigma D}$$

$$\tau_{-1D} = \sigma_{-1} / K_{\tau_{-1D}}$$

$$K_{\sigma D} = \left(\frac{K_\sigma}{K_{d\sigma}} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \times \frac{1}{K_v}$$

$$K_{\tau D} = \left(\frac{K_\tau}{K_{d\tau}} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1 \right) \times \frac{1}{K_v}$$

де: K_σ і K_τ - ефективні коефіцієнти концентрації напружень

$K_{d\sigma}$ і $K_{d\tau}$ - коефіцієнти впливу абсолютних розмірів поперечного перерізу

$K_{F\sigma}$ і $K_{F\tau}$ - коефіцієнти впливу якості поверхні

K_v - коефіцієнт впливу поверхневого зміцнення

$$K_\sigma = 2,3 \quad K_\tau = 2,15 \quad [40, \text{таб.10.10}]:$$

$$K_{d\sigma} = K_{d\tau} = 0,85 \quad [40, \text{таб.10.7}]:$$

$$K_{F\sigma} = 0,85 \quad K_{F\tau} = 0,9 \quad [40, \text{таб.10.8}]:$$

$$K_v = 2,5 \quad [40, \text{таб.10.9}]:$$

$$K_{\sigma D} = \left(\frac{2,3}{0,85} + \frac{1}{0,85} - 1 \right) \times \frac{1}{2,5} = 1,15$$

$$K_{\tau D} = \left(\frac{2,15}{0,85} + \frac{1}{0,9} - 1 \right) \times \frac{1}{2,5} = 1,06$$

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$\sigma_{-1D} = 330 / 1,15 = 287$$

$$\tau_{-1D} = 180 / 1,06 = 170$$

$$\psi_{\tau D} = \psi_{\tau} / K_{\tau D}$$

де:

$\psi_{\tau D}$ - коефіцієнт впливу асиметрії циклу для розглянутого перерізу вала

ψ_{τ} - коефіцієнт чутливості матеріалу до асиметрії циклу напружень

$$\psi_{\tau D} = 0,09 / 1,06 = 0,085$$

$$S_{\sigma} = \frac{287}{35,5} = 8$$

$$S_{\tau} = \frac{170}{4,85 + 0,085 \times 4,85} = 17$$

$$S = \frac{8 \times 17}{\sqrt{8^2 + 17^2}} = 7,2$$

Оскільки $[S] = 1,5 \div 2,0$ то умова міцності виконується

3. 14 Перевірка підшипників на вантажопідйомність

Проведемо розрахунок для третього вала.

Найбільш навантаженою опорою є опора А.

Вибираємо підшипник №106 - шарикопідшипник радіальний однорядний.

$$C = 13300 \text{ Н}$$

$$Z_0 = 6800 \text{ Н}$$

Необхідний ресурс $L = 10000 \text{ год}_h$

Навантаження в опорі А:

Знаходимо $X=1$ і $Y=0$

Еквівалентне навантаження:

$$P = (X \times V \times F_r + Y \times F_b) \times K_{\sigma} \times K_{\tau}$$

$$P = (1 \times 1 \times 1584) \times 1,3 \times 1 = 2059,2 \text{ Н}$$

Еквівалентна довговічність:

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$L_{he} = L_h \times K_{he} = 10000 \times 0,125 = 1250 \text{ годин}$$

Необхідний ресурс на розрахунковому режимі:

$$L_e = 60 \times 10^{-6} \times n \times L_{he} = 60 \times 10^6 \times 200 \times 1250 = 15 \text{ млн.об.}$$

Розрахункова динамічна вантажопідйомність [41]:

$$Z_r = P \cdot \sqrt[p]{\frac{L_e}{a_1 \times a_2}} = 2059,2 \times \sqrt[3]{\frac{15}{0,9 \times 0,75}} = 5789 \text{ Н}$$

$$C = 6800 \text{ Н} \quad Z_r < C \quad 5789 < 6800.$$

Підшипник придатний, оскільки розрахункова динамічна вантажопідйомність менша за необхідну.

3.15 Перевірка підшипників на довговічність

$$a_1' \times a_2' \times \left(\frac{Cr}{P} \right)^\alpha = L = \frac{60 \times n \times L_h}{10^6}$$

$$L = 1 \times 0,75 \times \left(\frac{5789}{2059,2} \right)^3 = 1,51$$

$$L_h = \frac{10^6 \times L}{60 \times n}$$

$$L_h = \frac{10^6 \times 1,572}{60 \times 200} = 1258$$

$$L_h > L_{he} \quad 1258 > 1250 \text{ год.}$$

3.16 Розрахунок пасової передачі

Вихідні дані: $d_2 = 109,6 \text{ мм.}$

$$d_1 = 63 \text{ мм.}$$

$$P_H = 1,5 \text{ кВт}$$

$$n = 1420 \text{ мин}^{-1}$$

За діаграмою вибираємо тип ременя Z

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Кількість ременів визначають виходячи з потужності електродвигуна і номінальної потужності, що передається одним ременем, для $i = 1,8$ і $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$, потужність, що передається одним ременем, $= 0,7 \text{ кВт}$,.

$$n = \frac{P}{1,3} = \frac{1,5}{0,7} = 2,1$$

3.17 Розрахунок шпонкового з'єднання

$$\sigma_{cm} = \frac{4 \times T}{h \times l \times d} \leq [\sigma_{cm}]$$

$h=8$

$l=80$

$d=50$

$$\sigma_{cm} = \frac{4 \times 317,3^3}{8 \times 80 \times 50} = 39,7 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_{cm}] = 110 \div 200 \text{ МПа}$$

шпонкове з'єднання задовольняє умову міцності.

Висновки по розділу, постановка мети і завдань дослідження

1. На основі аналізу деталі деталей є технологічною
2. Тип виробництва деталі середньосерійний, що зумовить подальший вибір обладнання [12].

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз потенційних небезпечних та шкідливих умов праці

Дослідження, проведені фахівцями Всесвітньої організації охорони здоров'я показали, що у професійних операторів та канцелярських службовців, які у своїй діяльності використовують ПЕОМ, частіше зустрічаються порушення органів зору, опорно-рухового апарату центральної нервової, серцево-судинної, імунної та статеві систем, захворювання шкіри.

Дослідження медиків-гігієністів, психологів, світлотехніків та фахівців з охорони праці та ергономіки показали, що сучасна професія користувача ПЕОМ належить до розумової праці, яка характеризується: високою напруженістю зорових функцій; одноманітною позою; великою кількістю стереотипних висококоординованих рухів, що виконуються лише м'язами кистей рух на фоні малої загальної рухової активності; значним нервово-емоційним компонентом, особливо в умовах дефіциту часу; роботою з великими масивами інформації, що викликає активізацію уваги та інших вищих психічних функцій. Крім того, при роботі з дисплеями на електронно-променевих трубках виникає вплив на користувача цілої низки факторів фізичної природи — електростатичні поля, радіочастотне та рентгенівське випромінювання тощо.

Основним потенційним джерелом небезпеки для людини в технічній лабораторії є електричні установки, до яких відноситься практично все обладнання, так як в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкатись частин установок, що знаходяться під

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ			Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Куцик Р.								
Перевір.		Крупа В. В.								
Реценз.								ТНТУ, ФМТ, гр. МВс-41		
Н. Контр.		Кобельник В.Р.								
Затверд.		Крупа В. В.								

напругою. Специфічна небезпека електроустановок в технічній лабораторії: провідники під струмом, корпуси стійок та іншого обладнання, що знаходиться під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції не подають ніяких сигналів, що попереджають людину про небезпеку. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні його через тіло людини.

В приміщеннях з підвищеною небезпекою електроінструменти, переносні світильники повинні бути виконані з подвійною ізоляцією або їх напруга живлення не повинна перевищувати 42 В. В технічній лабораторії до таких приміщень можуть бути віднесені приміщення машинного залу, приміщення для розміщення сервісної і периферійної апаратури. В особливо небезпечних приміщеннях напруга живлення переносних світильників не повинна перевищувати 12 В, а робота з електротранспортуючою напругою не вище 42 В дозволяється тільки із застосуванням засобів індивідуального захисту (діелектричних рукавиць, ковриків і т.п.).

Роботи без зняття напруги на струмоведучих частинах і поблизу них, роботи, що проводяться безпосередньо в цих частинах або при наближенні до них на відстань менше встановленого. До цих робіт можна віднести роботи по наладці окремих вузлів, блоків.

При виконанні такого роду робіт в електроустановках до 1000 В необхідно застосування визначених технічних і організаційних заходів, таких як: загородження, розташовані поблизу робочого місця та інших струмоведучих частин, до яких можливе випадкове доторкання; робота в діелектричних рукавицях або стоячи на діелектричному коврику; застосування інструменту з ізолюючими ручками, при відсутності такого інструменту потрібно користуватися діелектричними рукавицями. Роботи цього виду повинні виконуватись не менше ніж двома робітниками.

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

4.2 Безпека життєдіяльності

Опис існуючих на ділянці способів пожежної сигналізації і пожежегасіння.

Можливість швидкої ліквідації виникненої пожежі залежить від своєчасного повідомлення про пожежу. Розповсюдженим засобом повідомлення є телефонний зв'язок. Найбільш швидким і надійним видом пожежного зв'язку і сигналізації є електрична система, яка складається з 4 основних частин: приладів повідомлювачів, які встановлюються на робочих об'єктах і приводяться в дію вручну або автоматично; приймальної станції, яка приймає сигнали від повідомлювачів і передає їх в приміщення пожежних команд; системи проводів, з'єднуючих прилади повідомлення з прийомною станцією; акумуляторних батарей для електроживлення системи.

Прилади повідомлення можуть бути ручні або автоматичні.

Ручні повідомлювачі виконуються у вигляді кнопок і встановлюються в коридорах.

Автоматичні повідомлювачі в залежності від імпульсу спрацювання розподіляються на димові, теплові і світлові.

Димовий повідомлювач реагує на появу диму, тепловий на збільшення температури повітря в приміщенні і світловий - на випромінення відкритого вогню.

До гасіння пожежі необхідно приступати в початковому періоді, вміло застосовуючи вогнегасні засоби. До основних вогнегасних засобів відносяться: вода, водяний пар, інертні гази, вуглекислий газ, піна, пісок, покривала. Вода є одним з найбільш розповсюджених вогнегасних засобів.

Маючи високу теплоємність, вода віднімає від речовини, що горить, велику кількість тепла, понижаючи температуру цієї речовини. Неможна

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

водою гасити електромережі і електроустановки, які знаходяться під напругою, так як через струю води може бути поразення електричним струмом.

Для гасіння пожежі застосовуються ручні вогнегасники і переносні установки. До ручних вогнегасників відносяться пінні, вуглекислотні, вуглекисло-брометилові і порошкові.

Вуглекислотні вогнегасники призначені для гасіння електроустановок, які знаходяться під напругою. Вуглекисло-брометилові вогнегасники використовуються для гасіння твердих і рідких матеріалів, а також електроустановок, які знаходяться під напругою.

Порошкові вогнегасники призначені для гасіння невеликих пожеж.

Опис способів захисту обслуговуючого персоналу від специфічних для даної ділянки шкідливих факторів впливу на людей.

Шкідливими факторами на виробництві можуть бути: виробничий шум, вібрації, погане освітлення, виробничий пил. Виробничий пил є одним з розповсюджених шкідливих факторів на виробництві. Виконуючи профілактичні заходи по доведенню пилу в робочій зоні до гранично допустимих концентрацій необхідно:

1) замінити в процесах шкідливі речовини без шкідливими або менш шкідливими, своєчасно очищати приміщення від відходів; 2) автоматизувати виробничі процеси, застосовувати герметичне обладнання при транспортуванні, зволожувати зони пилоутворення, регулярно очищати від пилу обладнання і приміщення; 3) зменшити вмістимість шкідливих домішок в вихідних і кінцевих продуктах, знімати пил з місць її утворення за допомогою су-часних вентиляційних засобів; 4) передбачити аерацію, вводити і збільшувати ефективність механічної витяжної системи, загальної і місцевої вентиляції, застосовувати індивідуальні засоби захисту, такі як: респіратор, протигаз, марлеві пов'язки .

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Для захисту робітників від випарів припою, флюсу та розчинників на дільниці складання і монтажу використовують загальну вентиляцію, а також індивідуальну витяжну вентиляцію, яка підводиться до кожного робочого місця і видаляє повітря безпосередньо із зони його забруднення шкідливими речовинами.

Шум і вібрація шкідливо впливають на організм людини. Захист робітників від шуму може здійснюватись, як колективними засобами і методами, так і індивідуальними. В першу чергу використовуються колективні засоби, які по відношенню до джерела шуму поділяються на засоби, що знижують шум на шляху його розповсюдження від джерела до об'єкта і засоби, що знижують шум в джерелі його виникнення. Боротьба з шумом після його виникнення обходиться дорожче і часто є малоефективною.

Застосування засобів індивідуального захисту від шуму доцільне тоді, коли засоби колективного захисту не забезпечують пониження шуму до допустимих рівнів. Засоби індивідуального захисту від шуму поділяються на протишумові навушники, що закривають вушну раковину ззовні; протишумові вкладиші, що перекривають зовнішній слуховий прохід або прилягають до нього; проти шумові каски і шоломи; протишумові костюми.

Вібронебезпечні умови праці зменшуються застосуванням вібробезпечних машин, засобів віброзахисту, що зменшують вібрацію на шляху її поширення, проектуванням технологічних процесів і виробничих приміщень, що забезпечують не перевищення норм вібрації на робочих місцях, організаційно-технічними заходами направленими на покращення вібраційних параметрів.

Засоби індивідуального захисту від вібрації по місцю контакту оператора з вібруючим об'єктом поділяються на засоби для рук і для тіла оператора.

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі аналізу конструкції деталі визначено, що деталь є технологічною. Вибрано тип виробництва деталі середньосерійний, що зумовить подальший вибір обладнання. Удосконалено конструкцію коробки швидкостей верстиковально-свердлильного верстата для деталі «Картер 4094- 2301010-10».

Проведено аналіз деталі та її особливостей, зокрема конструкції, службового призначення, вимог на виготовлення, типу виробництва, базового технологічного маршруту. Розроблено маршрутний та операційний технологічний процес виготовлення деталі. Проведено розрахунок режимів різання а також режимів різання, необхідних для проектування обладнання.

Проведено кінематичний розрахунок коробки швидкостей, силовий розрахунок коробки швидкостей та її компонентів, а також сконструйовано коробку швидкостей вертикально-свердлильного верстата.

У технологічному розділі вибрано і обґрунтовано метод отримання заготовки. Розроблено маршрутного технологічного процесу (на всі операції). Вибрано і обґрунтовано технологічне обладнання та оснащення. Визначено міжопераційні припуски і проміжні розміри за табличним методом. Вибрано різальний, допоміжний та контрольно-вимірювальний інструмент. Розраховано технічні норми часу.

У конструкторській частині проаналізовано конструкції аналогічних верстатів. Визначено основні технічні характеристики проектного верстата. Складено кінематичну схему приводу та кінематичний розрахунок. Визначено числа ступенів коробки і структури приводу. Визначено число зубів.Проведено перевірочний розрахунок частот обертання. Визначено розрахункові значення крутних моментів, крутних моментів на валах. Проведено попередній розрахунок валів, розраховано міжосьової відстані, та параметрів передач. Виконано розрахунок валів на міцність, підшипників на довговічність, пасової передачі та шпонкового з'єднання.

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Куцик Р.			ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Крупа В. В.								
Реценз.								ТНТУ, ФМТ, гр. МВс-41		
Н. Контр.		Кобельник В.Р.								
Затверд.		Крупа В. В.								

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Григурко І. О., Брендуля М. Ф., Доценко С. М. Технологія машинобудування. Дипломне проектування : навч. посіб. Львів : Новий світ, 2011. 768 с.
2. Джигерей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища : навч. посіб. Вид. 2-ге, стер. Київ : Знання, 2002. 203 с.
3. Чумак М.Г. Матеріали та технологія машинобудування: Підручник.— К.:Либідь, 2000. — 368 с., іл.
4. Міренський І.Г. Основи технології машинобудування: навч. посіб. Харків: ХНАМГ, 207. 275 с.
5. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки : навч. посіб. / Ж. П. Дусанюк та ін. Вінниця, 2009. 199 с.
6. Медвідь М.В., Шабайкович В.А. Теоретичні основи технології машинобудування. – Львів: Вища школа, 1976. – 300 с.
7. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. Навчальний посібник. – К.: Вища школа, 1993. – 414 с., іл.
8. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: Ч. І. Принципи побудови агрегатно-модульного технологічного обладнання: навч. посібник / за ред. Ю. М. Кузнєцова. Кіровоград, 2003. 422 с.
9. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: Ч. ІІ. Проектування та дослідження вузлів агрегатно-модульного технологічного обладнання: навч. посібник / за ред. Ю. М. Кузнєцова. Кіровоград, 2003. 286 с.
10. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: Ч. ІІІ. Агрегатно-модульне технологічне обладнання нового покоління, його оснащення та інструментальне забезпечення: навч. посібник / за ред. Ю. М. Кузнєцова. Кіровоград, 2003. 286 с.
11. Богданович Л.Б. Гідравлічні приводи. К.: Вища школа, 1970. 232с.

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Куцик Р.			ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ				Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Крупа В. В.									
Реценз.											
Н. Контр.		Кобельник В.Р.									
Затверд.		Крупа В. В.									

12. Бочков В. М., Сілін Р. І. Обладнання автоматизованого виробництва: навчальний посібник. Львів: Видавництво Державного університету “Львівська політехніка”, 2000. 380 с.
13. Бочков В. М., Сілін Р. І., Гаврильченко О. В. Металорізальні верстати : навч. посіб. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. 268 с.
14. Данильченко Ю.М., Шевченко О.В., Ковальов В.А., Волошин В.Н. Металообробне обладнання. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. 60 с.
15. Довгополов А. Ю., Нешта А. О., Колесник В. О. Обладнання і транспорт механообробних цехів (лабораторний практикум): навчальний посібник. Суми :Сумський державний університет, 2023. 98 с.
16. Кобельник В. Р., Кривий П. Д. Жорсткість вертикально-свердильних верстатів. Вісник ЖДТУ. Технічні науки. 2007. Вип. № 1 (40).С. 34–40.
17. Кобельник В. Р., Кривий П. Д. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118. Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. 2010. Вип. 8. С. 99–108. https://library.ztu.edu.ua/e-copies/Zbirnyk/Process_obrobky_8/99.pdf
18. Ковальов І. О., Ратушний О.В. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: навчальний посібник. Суми : СумДу, 2016. 250 с.
19. Кріль О. С., Соколов В. І. Тривимірне моделювання металорізальних верстатів та інструментального оснащення. Сєверодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2016. 160 с.
20. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.
21. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory / V. Krupa et al. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952> (date of access: 22.05.2024).

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

22. Nahalyuk A., Krupa V. Modeling of a lathe bed using the method of topological optimization. *Scientific Journal of TNTU*. – Tern.: TNTU. 2023. Т. 111, № 3. С. 67–75. URL: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.03.
23. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.
24. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль : ТНТУ 2023. 246 с.
25. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навч. посіб. до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи /Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.
26. Технологія обробки на верстатах з ЧПК : навч. посіб. / Б. М. Гевко та ін. м. Тернопіль : Крок, 2014. 131 с.
27. Кузнєцов Ю. М., Скляр Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнєцов, Р. А. Скляр; під ред. Ю. М. Кузнєцова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.
28. Скляр Р. А., Четвержук Т. І., Полінкевич Р. М., Редько Р. Г., Залета О. М. Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів. Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки», Випуск 71, Луцьк, 2021, № 71. – 363 с. – С. 322-329.
29. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

30. Крупа В. В. Металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. Тернопіль, 2015. 168 с.

URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/5656>

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

32. Кривий П., Крупа В., Продан В. Конструкторсько-технологічні передумови підвищення якості оброблення глибоких отворів тонкостінних циліндрів. Вісник ТДТУ. 2010. Т. 15, № 1. С. 147–156.

URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/486>.

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

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

35. V. Krupa, N. Tymoshenko, V. Kobelnyk, I. Petrechko, Probability-statistical estimation method of feed influence on the tangential cutting force under turning, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 114/1 (2022) 22–31.

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

37. Кобельник В.Р. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118 /

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – Вип. 8. – С. 99–108.

38. 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.

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

40. 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.

					ДР 22-363.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ДОДАТКИ