

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

Верстатно-інструментальне забезпечення виготовлення деталі
«Корпус прихвату гідравлічного» та розробка конструкції коробки
швидкостей токарно-гвинторізного верстата (комплексна тема)

Виконали: студенти

4

курсу, групи

МВ-41

спеціальності

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

		Рісний В.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
		Турга Т.І.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Кобельник В.Р.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		Кобельник В.Р.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завід. кафедри		Крупа В.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент		
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

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

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Крупа В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Рісному Володимиру Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Верстатно - інструментальне забезпечення виготовлення деталі «Корпус прихвату гідравлічного» та розробка конструкції коробки швидкостей токарно-гвинторізного верстата (комплексна тема)

Керівник роботи Кобельник Володимир Романович, к.т.н., доцент

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

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Технічне креслення деталі «Корпус прихвату гідравлічного»

Базовий технологічний процес обробки деталі. Верстати-аналоги.

Аналоги конструкцій коробок швидкостей, шпиндельних вузлів токарних верстатів

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

1. Аналітична частина (загальна частина). Характеристика об'єкту виробництва. Аналіз

схем формоутворення 2. Технологічна частина Технологічний розрахунок. Розробка

маршрутного та операційного технологічного процесу обробки. Інструментальне забезпечення

технологічної операції. 3. Конструкторська частина Розробка кінематичної схеми верстату

Конструювання виконавчих (формоутворюючих) вузлів верстату

Розробка конструкції пристрою для механічної обробки

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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

Конструкція вузла «Прихват гідравлічний» – 0,5 ф.А1

Конструкція пристосування для механічної операції – 1 ф.А1

Схема складання вузла «Прихват гідравлічний» – 0,5 ф.А1

Аналіз схем формоутворення – 1 ф.А1; Кінематична схема верстату – 1 ф.А1

Конструкція шпиндельного вузла – 1 ф.А1.

Деталювання елементів коробки швидкостей – 1 ф.А1.

[illegible][illegible]

(підпис)

Рісний В.В.
(прізвище та ініціали)

_____ Кобельник В.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Крупа В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Турті Тарасу Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Верстатно - інструментальне забезпечення виготовлення деталі «Корпус прихвату гідравлічного» та розробка конструкції коробки швидкостей токарно-гвинторізного верстата (комплексна тема)

Керівник роботи Кобельник Володимир Романович, к.т.н., доцент

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

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Технічне креслення деталі «Корпус прихвату гідравлічного»

Базовий технологічний процес обробки деталі. Верстати-аналоги.

Аналоги конструкцій коробок швидкостей, шпиндельних вузлів токарних верстатів

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

1. Аналітична частина (загальна частина). Характеристика об'єкту виробництва. Аналіз

схем формоутворення 2. Технологічна частина Технологічний розрахунок. Розробка

маршрутного та операційного технологічного процесу обробки. Інструментальне забезпечення

технологічної операції. 3. Конструкторська частина Розробка кінематичної схеми верстату

Конструювання виконавчих (формоутворюючих) вузлів верстату

Розробка конструкції пристрою для механічної обробки

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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

Креслення деталі «Корпус прихвату гідравлічного» – 0,5 ф.А1

Креслення заготовки для виготовлення «Корпус прихвату гідравлічного» – 0,5 ф.А1

Карта налагодження та розрахунково технологічна карта для механічної операції – 1 ф.А1

Конструкція коробки швидкостей – 3 ф.А1.

Деталювання елементів коробки швидкостей – 1 ф.А1.

[illegible][illegible]

_____ Турта Т.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

_____ Кобельник В.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Рісний В.В., Турта Т.І. Верстатно-інструментальне забезпечення виготовлення деталі «Корпус прихвату гідравлічного» та розробка конструкції коробки швидкостей токарно-гвинторізного верстата (комплексна тема) : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 133 — галузеве машинобудування / кер. В.Р. Кобельник. Тернопіль : факультет інженерії машин, споруд та технологій, група МВ-41.: ТНТУ, 2025, 126 с.

Розроблено маршрутний технологічний процес механічної обробки деталі, обрано відповідне технологічне обладнання та оснащення, розроблена операційна технологія, визначено різальний, допоміжний і вимірювальний інструменти. Табличним методом здійснено розрахунок режимів різання та технічних норм часу для всіх операцій технологічного процесу механічної обробки деталі «Корпус прихвату гідравлічного».

Також проведено аналіз схем формоутворення на токарно-гвинторізному верстаті, виконано кінематичний розрахунок лінії приводу головного руху, спроектовано коробку швидкостей і шпиндельний вузол верстату. Розроблено конструкцію верстатного пристосування та здійснено деталювання ряду елементів коробки швидкостей.

Ключові слова: корпус, верстат, різальний інструмент, технологічний процес, режими різання, привід головного руху, шпиндель, свердло.

Risnyy V.V., Turta T.I. Machine-tooling support for manufacturing the “Hydraulic Clamp Housing” part and development of the gearbox design for a screw-cutting lathe (complex topic). 133 – Industrial engineering; Ternopil Ivan Puluj National Technical University; Ternopil, 2025, 126 p.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Рісний			Анотація	Літ.		Арк.	Акрушів
Розроб.		Турта				Н		6	2
Перевір.		Кобельник				ТНТУ МВ-41 м. Тернопіль			
Н. Контр.		Кобельник							
Затверд.		Крупа							

A route technological process for machining the part has been developed, appropriate technological equipment and equipment have been selected, an operating technology has been developed, cutting, auxiliary and measuring tools have been determined. The calculation of cutting modes and technical time standards for all operations of the technological process for machining the part “Hydraulic clamping housing” has been carried out using the tabular method.

An analysis of the shaping schemes on a turning-screw-cutting machine has also been carried out, a kinematic calculation of the main motion drive line has been performed, a gearbox and a spindle assembly of the machine have been designed. The design of the machine tool fixture has been developed and a number of gearbox elements have been detailed.

Key words: housing, machine tool, cutting tool, technological process, cutting modes, main motion drive, spindle, drill

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ	11
1 Загальна частина	13
1.1 Характеристика об'єкту виробництва, його службового призначення, аналіз технічних умов на виготовлення.....	13
1.2 Розробка технологічної схеми складання вузла	13
1.3 Опис конструкції та службового призначення деталі. Аналіз технічних вимог на оброблювану деталь.....	15
1.4 Характеристика матеріалу деталі	17
1.5 Визначення типу виробництва і величини партії деталей	
2 Технологічна частина.....	19
2.1 Вибір і обґрунтування методу отримання заготовки	19
2.2. Розробка маршрутного технологічного процесу	22
2.2.1 Вибір і обґрунтування технологічного обладнання і оснащення	24
2.3. Визначення міжопераційних припусків і проміжних розмірів табличним методом.....	25
2.3.2 Розробка операційної технології	26
2.3.3 Вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірною інструменту.....	27
2.3.5 Вибір режимів різання табличним методом	31
2.3.6 Розрахунок технічних норм часу	33
3. Конструкторська частина	35
3.1 Аналіз завдання на проект та виріб напрямку роботи.	36

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст		
Розробив		Рісний В.В.					
Розроб.		Турта Т.І.					
Перевір.		Кобельник В.Р.					
Н. Контр.		Кобельник В.Р.					
Затверд.		Крупа В.В.					
						Літ.	Арк.
							Аркушів
						8	3
					ТНТУ, МВ-41 Тернопіль		

3.2. Уточнення службового призначення верстата.	37
3.2.1 Аналіз та вибір виконавчих рухів для забезпечення технологічного процесу	37
3.2.2. Вибір основних техніко-економічних параметрів верстата	41
3.2.3. Аналіз типів базових компоновок.	42
3.2.3.1. Вибір верстатів-аналогів	42
3.2.4 Вибір та опис принципової структурно – кінематичної схеми обладнання.	45
3.3 Кінематичний розрахунок .	47
3.3.1 розрахунок діапазону регулювання .	47
3.3.2. Розробка структурної формули .	47
3.3.3. Побудова структурної сітки ,графіка чисел обертів	48
3.3.4.Побудова кінематичної схеми приводу ,визначення передаточного відношення чисел зубів передач .	52
3.3.5. Визначення оптимальних крутних моментів та швидкостей вала приводу.	55
3.3.6. Розрахунок зубчастих коліс	56
3.3.6.1. Методика розрахунку.	56
3.3.6.2. Вихідні дані.	59
3.3.6.3. Блок-схема розрахунку зубчастих коліс.	60
3.3.6.4. Результат розрахунку.	62
3.3.7. Розрахунок модуля передачі та конструктивних параметрів зубчастих коліс.	63
3.3.8 Орієнтовний розрахунок конструктивних параметрів валів приводів	70
3.3.9 Розрахунок і підбір підшипників в якості опор валів приводу.	77
3.3.10.Орієнтовний розрахунок конструктивних параметрів проміжкових валів приодів.	78
3.3.11Розрахунок та підбір підшипників в якості опор приводу.	84

3.3.12 Вибір потужності та типу двигуна	86
3.4 Проектування шпиндельного вузла .	90
3.4.1 Розрахунок, характеристика та вимоги шпиндельного вузла.	90
3.4.2 Компоновка шпиндельного вузла	90
3.4.3 Характеристика елементів ШВ.	94
3.4.4 Розрахунок оптимальної міжосьової відстані між опорами вузла.	97
3.4.4.1 Розрахункова схема.	97
3.4.4.2 Методика розрахунку	97
3.4.4.3 Результати розрахунку	101
4 Безпека життєдіяльності та основи охорони праці.....	106
4.1 Характеристика виробничої ділянки з точки зору охорони праці та заходи по покращенню умов праці	106
4.2 Розрахунок захисного заземлення	111
Загальні висновки до кваліфікаційної роботи.....	120
Перелік посилань.....	121
Додатки.....	127

ВСТУП

Машинобудування є основною галуззю промисловості, що відіграє ключову роль у науково-технічному та соціально-економічному розвитку будь-якої держави. Від рівня розвитку машинобудування залежить технічний стан усіх інших галузей економіки, адже саме ця сфера забезпечує їх необхідними засобами виробництва — верстатами, механізмами, транспортними засобами, приладами та інструментами. Без сучасного машинобудування неможливо уявити стале функціонування енергетичної, транспортної, будівельної, аграрної, оборонної та інших стратегічних галузей.

Особливе місце в машинобудуванні посідає верстатобудування, яке забезпечує технологічну незалежність країни. Верстати є основним засобом для виготовлення практично будь-яких технічних виробів — від деталей годинників до великих конструкцій для авіації чи суднобудування. Ефективність та точність обробки матеріалів безпосередньо залежать від якості та рівня технологічного розвитку верстатобудування. Разом з тим, розвиток ріжучого інструменту — ще один критично важливий напрям, адже від нього залежить продуктивність, довговічність і економічна ефективність технологічних процесів. Саме тому сучасні технології виготовлення інструментів, їх конструкції та матеріали перебувають у центрі наукових досліджень та інженерної творчості.

У контексті сучасних викликів, пов'язаних з глобальною конкуренцією, необхідністю підвищення енергоефективності, автоматизації та цифровізації виробництва, вітчизняна машинобудівна галузь потребує кваліфікованих фахівців нового покоління. Підготовка інженерів, здатних не лише працювати з існуючими технологіями, але й створювати інноваційні рішення, є одним із

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Рісний В.В.			Вступ	Літ.		Арк.	Аркушів
Розроб.		Турта Т.І.						11	2
Перевір.		Кобельник В.Р.				ТНТУ, МВ-41 Тернопіль			
Н. Контр.		Кобельник В.Р.							
Затверд.		Крупа В.В.							

ключових факторів зміцнення економічного потенціалу держави. На ринку праці стабільно зберігається високий попит на спеціалістів з машинобудування, які володіють сучасними знаннями в галузі проектування, обробки матеріалів, механіки, автоматизації та програмного управління виробничими процесами.

У зв'язку з цим особливо актуальним є вдосконалення освітніх програм з підготовки машинобудівників, активне впровадження дуальної освіти, співпраця з промисловими підприємствами, оновлення матеріально-технічної бази закладів освіти, а також підвищення ролі науково-дослідницької діяльності студентів. Формування практично орієнтованих компетентностей, здатність до самостійного аналізу інженерних завдань, креативне мислення та гнучкість до змін — усе це є складовими професійної готовності сучасного фахівця з машинобудування.

Таким чином, машинобудівна галузь, включаючи верстатобудування та розробку різального інструменту, є не просто важливою — вона є основою технічного суверенітету держави. А підготовка компетентних, професійно підкованих інженерів — запорука поступального розвитку промисловості, національної економіки та забезпечення гідного майбутнього України в умовах глобалізованого світу.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика об'єкту виробництва, його службового призначення

Гідравлічний прихват використовується для фіксації заготовок під час механічної обробки. Він кріпиться до опорної плити пристосування за допомогою двох болтів, які вставляються в пази корпусу. Затиск заготовки виконується за допомогою гідроприводу. Мастило подається від гідростанції (гідроприводу) верстату.

Під тиском рідини мастило потрапляє через лівий отвір у верхню частину корпусу. Під впливом тиску поршень 5 опускається, і прихват 2 притискає заготовку до поверхні стола верстату або опорної площини пристосування. Під час опускання поршня пружини 4 і 6 стискаються. Для звільнення заготовки потрібно повернути рукоятку гідрозолотника, що з'єднує порожнину поршня з зливним магістраллю гідроприводу. Пружини 4 і 6 розтискаються, і під їхнім впливом поршень 5 піднімається, піднімаючи прихват 2 і звільняючи заготовку. Гайка 7 служить для попереднього стискання пружини 6. Кільця 8 і 9, розташовані в поршні та корпусі, забезпечують герметичність поршня.

1.2 Розробка технологічної схеми складання вузла

Технологічна схема складання вузла визначає послідовність виконання з'єднань між елементами починаючи від базового, через здійснення складальних операцій.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробив		Рісний В.В.			Аналітична частина			Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Турта Т.І.								
Перевір.		Кобельник В.Р.							13	6
Н. Контр.		Кобельник В.Р.						ТНТУ, МВ-41 Тернопіль		
Затверд.		Крупа В.В.								

План маршрутного технологічного процесу складання «Прихвату гідравлічного » подано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Схема технологічного процесу складання «Прихвату».

№ опер.	Назва операції	Зміст операції
005	Комплектуюча	Взяти деталі згідно специфікації на виріб і доставити на складальне робоче місце.
010	Підготовча	1. Промити і продути деталі стисненим повітрям та підготувати їх до складання.
015	Складання корпусу 1	1. Закріпити корпус 1 в пристосуванні; 2. Установити кільця 9 в канавки корпусу 1.
020	Складання поршня 2	1. Установити кільце 8 в канавку поршня 5; 2. Установити поршень 5 в отвір корпусу 1; 3. Надіти на поршень 5 пружину 4; 4. З'єднати корпус 1 і поршень 5 гайкою 3.
025	Складання прихвату	1. Надіти на шток поршня 4 пружину 6; 2. Надіти на шток поршня 5 прихват 2; 3. Закрутити гайку 7.
030	Контрольна	1. Перевірити легкість переміщення поршня; 2. При необхідності відкрутити гайку 3 і змастити порожнину корпусу консистентним мастилом; 3. Закрутити гайку 3.

1.3 Опис конструкції та службове призначення деталі. Аналіз технічних вимог на оброблювану деталь

Корпусні деталі призначені для розміщення складальних одиниць і окремих елементів. Вони мають забезпечувати стабільність точності щодо розташування деталей і механізмів як у статичному, так і в стані роботи машини. Тому ці деталі мають необхідну точність та твердістю. Корпусні деталі оснащені основними базовими поверхнями, здебільшого у вигляді площин, які використовуються для кріплення до станини та інших корпусів. Існують також допоміжні базові поверхні, такі як отвори та площини. Отвори в корпусних деталях поділяються на основні (точні) та допоміжні. Основні отвори виконують функцію опори для валів і підшипників, а допоміжні – для монтажу болтів.

До корпусних деталей висуваються вимоги щодо точності, міцності, жорсткості, зносостійкості, мінімальних деформацій при змінах температури, герметичності, а також зручності в процесах монтажу і демонтажу. Основні вимоги до точності такі: діаметри основних отворів під підшипники мають виконуватись з допуском H7 та $Ra=0,4\ldots1,6$ мкм, або з допуском H6 та $Ra=0,4\ldots0,2$ мкм. Допуск співвісності отворів обмежується половиною допуску на діаметр найменшого отвору, а допуск на конусоподібність і овальність не має перевищувати 0,3–0,5 від допустимого допуску для відповідного діаметра. Крім того, відповідні стандарти визначають допустимі відхилення для міжосьової відстані та паралельності осей зубчастих коліс у механізмах передач.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Таблиця 2.1 — Аналіз технічних вимог

Позначення поверхонь	Зміст технічних вимог	Метод виконання	Метод контролю
1	2	3	4
1;2	20	Чистова підрізка торців	ШЦ-I-125 ГОСТ 166-73 Зразки шорсткості поверхонь ГОСТ 9378-75
3	Ø148,93	Напівчистове точіння	ШЦ-II-250 ГОСТ 166-73 Зразки шорсткості поверхонь ГОСТ 9378-75
4	Ø60H8	Розвертання чистове	Калібр-пробка
5...8	Ø15H11	Розвертання чистове	Калібр-пробка
9, 10	2,5x45°	Точіння	Шаблон фасочний
11...18	1x45°	Зенкування	Шаблон фасочний
19, 20	2,5x45 °	Зенкування	Шаблон фасочний
21...34	m=8,3	Фрезерування	Шаблон фасонний

1.4 Характеристика матеріалу деталі

Технічні властивості матеріалу СЧ15 ДСТУ 7806:2015.

Сірий чавун має хорошу рідкотекучість, що дозволяє ефективно заповнювати ливарні форми. Найвищу рідкотекучість демонструє евтектичний чавун. Він характеризується низькою пластичністю, але добре піддається обробці різанням. Зварювання чавуну є складним процесом, для якого потрібні спеціальні електроди. Деталі з сірого чавуну СЧ15 використовуються для виготовлення таких виробів, як станини, зубчасті колеса, маховики, гальмівні барабани та диски щеплення. Чавун СЧ15 застосовується, коли дві деталі в третьовій парі повинні мати рівномірну стійкість до зношення.

Таблиця 2.2.1 — Характеристика механічних властивостей СЧ15

δ_B (МПа)	δ_u (МПа)	F 600/300 (мм)	$\sigma_{сж}$ (МПа)	НВ
200	400	913	750	170-241

Таблиця 2.2.2 — Хімічний склад сірого чавуну СЧ15 ГОСТ 1412-85

СЧ	Склад, %						
	Вуглець	Кремній	Марганець	Фосфор	Сірка	Хром	Нікель
20	3,3-3,5	1,4-2,4	0,7-1,0	0,2	0,15	0,3	0,5

1.5 Вибір типу виробництва та його характеристика

З метою попереднього визначення типу виробництва використаємо [2]. З урахуванням маси деталі 13,3 кг та річного обсягу виробництва 1200 одиниць, можна зробити висновок, що це середньосерійне виробництво.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				17

Середньосерійне виробництво характеризується організацією виробничого процесу у вигляді предметно-поточної форми, де технологічне обладнання розміщене за типами верстатів, робітники мають різну кваліфікацію, а технологічні процеси є одиничними. Важливими рисами є використання універсального обладнання та різальних інструментів, а також часте застосування розмітки. Основною ознакою серійного виробництва є випуск продукції партіями.

Величина оптимальної партії визначаємо за формулою:

$$n = \frac{N \times a}{F}, \quad (1.1)$$

де а – необхідний запас деталей на склад для безперебійної роботи складального цеху. Для середніх деталей а=5.

N – річна програма випуску, шт. Нріч;

F – число робочих днів у році. F=257 (при двох днях відпочинку в тиждень).

$$n = \frac{1200 \times 5}{257} = 23,46 \text{ дет.}$$

Приймаємо розмір партії 23 деталі.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір та обґрунтування методу одержання заготовки

Для машинного формування заготовки приймаємо ряд припуску 2, а для ручного формування - 3

Маса заготовки визначається за формулою

$$Q_{\text{заг}} = V_{\text{заг}} \times \rho, \quad (2.1)$$

Перед розрахунком маси заготовки спочатку визначають її розміри. Для цього необхідно за допомогою табличного методу встановити загальні припуски на механічну обробку поверхонь заготовки. Визначення розмірів та об'єму здійснюється шляхом креслення ескізу заготовки. На ескізі попередньо враховуються конструкція та форма заготовки, а також можливість виготовлення конструктивних елементів, таких як отвори, уступи, виямки, впадини, канавки тощо.

Загальні припуски на розміри заготовки наведено в таблиці 2.1.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розробив		Рісний В.В.			Технологічна частина				Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.		Турта Т.І.									19	16	
Перевір.		Кобельник В.Р.							ТНТУ, МВ-41 Тернопіль				
Н. Контр.		Кобельник В.Р.											
Затверд.		Крупа В.В.											

Таблиця 2.1 — Загальні припуски на розміри заготовки

Оброблювана поверхня, її розміри і точність	Параметри шорсткості деталі, Ra, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск на сторону, мм	Розмір заготовки з граничними відхиленнями
Заготовка відливок 11 клас точності, 3 ряд припусків				
200	12,5	1,150	2,2	$204,4^{+0,575}$
Паз b=30 R=15	12,5	0,52	1,6	B=26,8
Ø122	12,5	1,000	2,0	Ø118
M95-6H	6,3	0	-	Ø89
Ø92 B11	6,3	0,220	1,5	Ø89
Ø36B11	6,3	0,190	1,0	Ø34
Ø60	12,5	0,740	-	-
Ø 68	12,5	0,740	-	-
Ø 84	12,5	0,870	-	Ø88
15	12,5	0,430	1,4	15,8
48	12,5	0,620	1,8	48,4
20	12,5	0,520	1,5	20,7
Ø 6	6,3	0,300	-	-
Ra1/2	3,2	0,210	-	-
Ø 6	6,3	0,300	-	-
Ø 20	12,5	0,520	-	-

Визначаємо об'єм заготовки за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot h \text{ (мм}^3\text{)} \quad (2.3)$$

Загальний об'єм заготовки знаходимо сумуванням простих об'ємів деталі:

$$V_{\text{пр}} = \sum V_i$$

$$V1 = 0,785 \times (88^2 - 34^2) \times 2,2 = 11334 \text{ мм}^2$$

$$V2 = 0,785 \times (150^2 - 88^2) \times 2,2 = 25484 \text{ мм}^2$$

$$V3 = 0,785 \times (36^2 - 34^2) \times 48,4 = 5319 \text{ мм}^2$$

$$V4 = 0,785 \times (92^2 - 88,8^2) \times 135,3 = 61496 \text{ мм}^2$$

$$V5 = 0,785 \times (122^2 - 118^2) \times 20,7 = 15600 \text{ мм}^2$$

$$V6 = 0,785 \times \left(\frac{80 + 125}{2} \right) \times 2,2 = 226 \text{ мм}^2$$

$$\sum V = 119400 \text{ мм}^2$$

$$M_{\text{пр}} = 0,119400 \times 10^{-3} \times 7,62 \times 10^{-3} = 0,91 \text{ кг}$$

Отже, масу заготовки визначаємо за виразом:

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_3 = 13,3 + 0,91 = 14,4 \text{ кг}$$

Вартість заготовки визначаємо за виразом::

$$C = \frac{40000 \times 14,4 \times 1,59}{1000} - (14,4 - 13,3) \times \frac{315}{1000} = 915,49 \text{ грн}$$

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу за формулою:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{m_{\text{д}}}{m_{\text{д}}} \quad (2.4)$$

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{13,3}{14,4} = 0,92$$

Висновок: приймаємо заготовку виливок, що виготовляється литвом в піщані, при цьому $K_{\text{в.м.}}$ складає 0,72.

2.2 Розробка маршрутного технологічного процесу

Для розробки маршрутного технологічного процесу спочатку визначаються поверхні, що потребують обробки. Потім для кожної поверхні обираються можливі методи та етапи обробки, які забезпечують відповідність технічним вимогам. Зазвичай для кожної поверхні існує кілька варіантів методів та етапів.

Орієнтуючись на принципи стабільності баз, їхнього суміщення та технологічної сумісності, а також враховуючи тип виробництва, що визначає концентрацію або диференціацію операцій, вибирається оптимальний маршрут обробки деталі. Структуру маршруту визначають одночасно з вибором необхідного обладнання. Коротко аналізуються всі варіанти, після чого обґрунтовується вибір найбільш ефективного маршруту обробки.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Операція 005. Вертикально-фрезерна з ЧПК

1. Фрезерувати поверхню ①
2. Фрезерувати 2 пази ⑦, ⑧
3. Розточити отвір ⑨
4. Розточити отвір ⑩
5. Розточити отвір ⑩ остаточно
6. Розточити фаску ⑮
7. Нарізати різьбу M96-6H на глибину 60 в отв ⑩

Операція 010. Токарно-гвинторізна

1. Підрізати торець ②
2. Точити поверхню ⑮
3. Підрізати торець ③
4. Зенкерувати отвір ⑫
5. Розточити отвір ⑪
6. Розточити канавки ⑬ і ⑭

Операція 015. Горизонтально-розточна

1. Підрізати торець
2. Зацентрувати отвір ⑰
3. Свердлити отвір ⑰
4. Розсвердлити отвір ⑱
5. Нарізати різьбу в отворі

Операція 020. Вертикально-свердлильна

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Свердлити отвір ¹⁶

2.2.1 Вибір і обґрунтування технологічного обладнання та оснащення

Попередній вибір обладнання здійснюється паралельно з розробкою маршруту обробки деталі відповідно до типу виробництва. Вибір обладнання базується на головних критеріях: тип обробки, габарити та відповідність верстата необхідній точності.

Для дрібносерійного виробництва обирають універсальні верстати та верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). При виборі оптимального варіанту пристосувань враховуються технічні вимоги до виготовлення деталі, кількість оброблюваних деталей, необхідна продуктивність, вимоги до техніки безпеки та промислової санітарії, а також витрати на виготовлення пристосувань.

Для дрібносерійного виробництва обирають універсально-налагоджувальні, універсально-без налагоджувальні та універсально-збірні пристосування. Зважаючи на вищезазначене, визначаються види обладнання та оснащення для виготовлення деталі (див. табл. 2.4).

Таблиця 2.4 - Вибір обладнання та оснащення

№ операції	Назва операції	Назва і модель верстату	Пристосування
1	2	3	4
005	Фрезерна з ЧПК	6P11MФ3	Пристосування фрезерне (лещата самоцентрівні)
010	Токарно-гвинторізна	16K20	Патрон трьох кулачковий (на розтиск)
015	Горизонтально	2A611	Пристосування (на площину)

	– розточна		і 2 пальці)
020	Вертикально – свердлильна	2H118	Кондуктор (самоцентрівні призми і упор)

2.3 Визначення міжопераційних припусків і проміжних розмірів табличним методом

Проміжні припуски та розміри визначаються від фінішного переходу до чорнового або заготовки, рухаючись у напрямку зворотного ходу технологічного процесу обробки. Операційні та проміжні припуски беруться з таблиць (“Визначення припусків табличним методом”). Для розточування Ø92B11 припуск на сторону становить 2,0 мм, а для напівчистового точіння — 0,8 мм. Загальний припуск дорівнює 2z.

Таблиця 2.5 — Припуски визначенні табличним методом на механічну обробку

Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мкм	Припуск на діаметр, мм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
Отвір ^⑩ ; Ø92B11					
Заготовка (виливок)	15	Ra 50	220	—	Ø88

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Розточування чорнове	14	Ra 6,3	300	1,5	Ø88,8
Розточування напів-чистове	11	Ra 3,2	220	4,7	Ø92B11

2.3.2 Розробка операційної технології

Основними критеріями вибору варіанту структури операції, що проектується – оперативний час, штучний час, які зменшуються за умови скорочення числа переходів та їх одночасного виконання. Можливість суміщення переходів залежить від кількості інструментів, які використовуються, плану обробки поверхонь та технологічної сумісності переходів. Розробку виконуємо в такій послідовності:

- 1) Вказуємо номер і назву операції, що необхідно розробити;
- 2) Вказуємо технологічні бази, технологічне обладнання та оснащення на даній операції;
- 3) Вказуємо докладно послідовність всіх технологічних переходів.

Операція 005. Вертикально-фрезерна з ЧПК

1. Фрезерувати поверхню ①, витримавши р-р 26
2. Фрезерувати 2 пази ⑦, ⑧, витримавши р-р 245
3. Розточити отвір ⑨ Ø122 на глибину 20
4. Розточити отвір ⑩ Ø92B11
5. Розточити отвір ⑩ Ø92B11 остаточно
6. Розточити фаску ⑮ 4x45°
7. Нарізати різьбу M96-6H на глибину 60 в отв ⑩

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Операція 010. Токарно-гвинторізна

1. Підрізати торець ⁽²⁾ в р-р 200
2. Точити поверхню ⁽¹⁵⁾ Ø84 на довжину 10
3. Підрізати торець ⁽³⁾
4. Зенкерувати отвір ⁽¹²⁾ в Ø36B11
5. Розточити отвір ⁽¹¹⁾ Ø68 на глибину 10
6. Розточити канавки ⁽¹³⁾ і ⁽¹⁴⁾ Ø60 витримавши р-р згідно креслення

Операція 015. Горизонтально-розточна

1. Підрізати торець в р-р 74
2. Зацентрувати отвір ⁽¹⁷⁾
3. Свердлити отвір ⁽¹⁷⁾ Ø6 на глибину 37
4. Розсвердлити отвір ⁽¹⁸⁾ Ø20 на глибину 22
5. Нарізати різьбу в отворі

Операція 020. Вертикально-свердлильна

Свердлити отвір ⁽¹⁶⁾ Ø6 витримавши р-р 37

2.3.3 Вибір необхідного різального, допоміжного та контрольно-вимірювального інструменту

При виборі типу та конструкції різального інструменту слід враховувати метод обробки, тип верстата, розміри, форму та матеріал оброблюваної деталі, вимоги до якості поверхні, точності обробки та характер виробництва. Для

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробки чавуну найчастіше застосовують інструменти з ріжучою частиною з вольфрамових твердих сплавів (ВК4, ВК6, ВК8).

Інформацію про вибраний різальний, допоміжний та вимірювальний інструмент для технологічних переходів подано в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 — Вибір різального, допоміжного і вимірювального інструменту

Номер та назва переходу	Інструмент		
	Різальний	Допоміжний	Вимірювальний
1	2	3	4
005 Токарно-гвинторізна			
1)Фрезерувати торець	Фреза 2241-0167 ГОСТ 1669-78	Оправка 191432079 ТУ 2-035-990-85	Штангенциркуль
2)Фрезерувати 2 пази	Фреза 035-2233- 0106 ОСТ 2462-2-75 (морзе 3)	Втулка 40х3 ОСТ 2 П12-7-84	Штангенциркуль
3)Розточити отвір Ø122	Різець 2140-0058 ГОСТ 1040-86	Оправка 40-125 ОСТ П12-П14-11- 84	Штангенциркуль
4)Розточити отвір Ø91,2	Різець 2140-0058 ГОСТ 1040-86	Оправка 40-125 ОСТ П12-П14-11- 84	Штангенциркуль

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4
5)Розточити отвір Ø92	Різець 2140-0058 ГОСТ 1040-86	Оправка 40-125 ОСТ П12-П14-11-84	Штангенциркуль
6)Розточити фаску 4x45°	Різець 2142-0008 МН620-64	Оправка 40-100 ОСТ П12-П14-11-84	Фаскомір
7)Нарізати різьбу М94	Різець К.01.4957.000-06 ТУ48-19-307 80	Оправка 40-100 ОСТ П12-П14-11-84	Калібр – пробка
010 Токарна з ЧПК			
1)Підрізати торець	Різець 2103-0711 ГОСТ 20872-80	Різцетримач 191711006 ТУ 2-024-5539-81	Штангенциркуль
2)Точити поверхню	Різець 2103-0711 ГОСТ 20872-80	Різцетримач 191711006 ТУ 2-024-5539-81	Штангенциркуль
3)Підрізати торець	Різець 2103-0711 ГОСТ 20872-80	Різцетримач 191711006 ТУ 2-024-5539-81	Штангенциркуль
4)Зенкерувати отвір Ø36	Зенкер 035-2320-0129 ТУ2-035-926-83 (морзе 4)	Втулка перехідна 1918831214 ТУ2-024-5540-81	Калібр – пробка
5)Розточити отвір Ø68	Різець 2140-0058 ГОСТ 1040-86	Різцетримач 1917111046 ТУ2-024-55 39-84	Калібр – пробка

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4
6)Розточити 2 канавки	Різець 035-2128-0547 ОСТ 2Н10-884	Різцетримач 1917111046 ТУ2-024-55 39-84	Шаблон для вимірювання канавок
Операція 015. Горизонтально-розточувальна			
1)Підрізати торець	Різець SCLCR 0808 EOG ТУ2-035-1040 86	Борштанга 6300-0404 МН2647-61	Штангенциркуль
2)Зацентрувати отвір	Свердло 2317-0007 ГОСТ 14952-69	Патрон 19111-3040 ТУ2-035-986-85	Калібр – пробка
3)Свердлити отвір	Свердло 2300-0181 ГОСТ 10902-77	Патрон 19111-3040 ТУ2-035-986-85	Калібр – пробка
4)Розсвердлити отвір Ø20	Свердло 2301-4113 ГОСТ 2092-77	Втулка 191831063 ТУ2-035-978-85	Калібр-пробка
5)Нарізати різь	Мітчик Rc ½ 0019 ГОСТ 6211-69	Мітчикотримач 19122130А-050 ТУ2-035-975-84	Калібр різьбовий
Операція 020. Вертикально-свердлильна			
1)Свердлити отвір Ø6	Свердло 2300-0181 ГОСТ 10902-77	Втулка 6100-0141 ГОСТ 13598-68	Калібр – пробка

Різальний інструмент вибраний з довідкової літератури

Допоміжний інструмент вибраний з довідкової літератури

Контрольно-вимірний інструмент вибраний з довідкової літератури

2.3.4 Розрахунок режимів різання табличним методом

Режими різання призначаємо табличним методом для кожної операції.
Результати отриманих розрахунків зводимо відповідно в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 — Режими різання

Зміст та номер переходу	t, мм	L, мм	i	T _м , хв	s, мм/об	n, об/хв	v, м/хв	S _{хв} , мм/хв	T _о , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
005 Фрезерна з ЧПК									
1)Фрезерувати торець	2,2	300	1	180	0,4	160	83	1024	0,29
2)Фрезерувати 2 пази	30	120	1	120	0,24	100	9	96	1,25
3)Розточити отвір Ø122	26	22	1	60	0,5	315	125,6	-	0,12
4)Розточити отвір Ø91,2	1,6	128	1	60	0,6	400	125,6	-	0,53
5)Розточити отвір Ø92	0,4	128	1	60	0,4	500	115,2	-	0,64
6)Розточити фаску 4x45°	4	6	1	60	0,6	400	125,6	-	0,01
7)Нарізати різьбу М94	2	72	5	60	6	800	63	-	0,45

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
010 Токарна з ЧПК									
1)Підрізати торець	2,2	44	1	60	0,5	630	144		
2)Точити поверхню	2,0	10	1	60	1,0	630	144		
3)Підрізати торець	2,2	23	1	60	0,5	630	144		
4)Зенкерувати отвір Ø36	1,0	60	1	50	1,0	160	18		
5)Розточити отвір Ø68	1,0	12	16	60	0,8	400	125,6		
6)Розточити 2 канавки	5	12	2	60	0,2	400	75		
015 Горизонтально-розточувальна									
1)Підрізати торець	2,0	40	1	60	0,5	630	144	-	0,12
2)Зацентрувати отвір	-	3	1	35	0,1	1600	45	-	0,03
3)Свердлити отвір	3	38	2	35	0,1	2000	45	-	0,38
4)Розсвердлити отвір Ø20	7	25	1	60	0,3	500	33	-	0,17
5)Нарізати різьбу	-	15	1	-	1,8	200	14,1	-	0,08
020 Вертикально-свердлильна									
1)Свердлити отвір Ø6	1,0	26	1	60	0,4	400	75	45	0,19

2.3.5 Розрахунок технічних норм часу

Технічні норми часу є однією із найважливіших складових технологічного процесу. Дані норми необхідно призначити для всіх операцій технологічного процесу. На одну або дві операції, що розроблялись. Розрахунок здійснюється розрахунково-аналітичним методом. На інші операції основний та штучний час розраховується за наближеними формулами додатків.

Норма штучного часу визначається за формулою:

$$T_{\text{шт}} = T_o + T_{\text{доп}} + T_{\text{тех. обсл.}} + T_{\text{орг. обсл.}} + T_{\text{відп.}} \quad (2.10)$$

де $T_{\text{шт}}$ — норма штучного часу;

T_o — основний час;

$T_{\text{доп}}$ — допоміжний час;

$T_{\text{тех. обсл.}}$ — час технічного обслуговування робочого місця;

$T_{\text{орг. обсл.}}$ — час організаційного обслуговування робочого місця;

$T_{\text{відп.}}$ — час на відпочинок.

Допоміжний час на операцію визначається за формулою

$$T_{\text{дод}} = t_{\text{уст}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{вим}} \quad (2.11)$$

де $t_{\text{уст}}$ — час на встановлення;

$t_{\text{пер}}$ — час переходу;

$t_{\text{вим}}$ — час на вимірювання.

Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.8

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.8 — Норми часу для операцій

Номер та назва переходу	T _о , хв	Допоміжний час, хв			Оперативний час, T _{оп} , хв	Час обслу- го- вуван- ня, %		T _{від} %	T _{шт} , хв
		T _{уст}	T _{пер}	T _{вим}		T _{тх}	T _{ор} г		
1	2	3	4	5	6	7		8	9
Фрезерна з ЧПК	3,29	3,45	0,42	7,16	8	7,73		63,4	10,25
Токарна з ЧПК	12,61	12,87	0,51	3,37	1,07	14,44		52,4	16,54
Горизонтально- розточувальна	0,78	-	0,62	1,4	8	1,51		43,2	3,24
Вертикально- свердлильна	0,19	-	0,53	0,72	8	0,78		43,4	2,51

З КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

Удосконалення сучасних металорізальних верстатів має забезпечити збільшення швидкості як робочих, так і допоміжних рухів, що супроводжується відповідним підвищенням потужності приводу головного руху. Особливе значення надається підвищенню надійності верстатів шляхом оснащення їх системами контролю, вимірювання та вбудованими діагностичними модулями.

Зростання швидкостей переміщення пов'язане з подальшим розвитком приводних систем, шпиндельних вузлів, тягових механізмів та напрямних лінійного руху. Завдяки використанню композиційних матеріалів у ріжучому інструменті вже сьогодні можливо досягати високих швидкостей різання, а швидкість подачі — до 20–30 м/хв. Проте подальше її зростання вимагає впровадження нових конструктивних рішень, що базуються на інших фізичних принципах роботи та забезпечують високу надійність роботи вузлів верстатів.

Сучасні верстати забезпечують високу точність обробки деталей. Ключові поверхні найважливіших компонентів машин і механізмів обробляються з точністю до часток мікрометра, а шорсткість при алмазному точінні не перевищує сотих часток мікрометра. Зростаючі вимоги до точності у машинобудуванні висувають нові виклики перед високоточним верстатобудуванням. Фахівці з технологій обробки, конструювання верстатів та інструментів відіграють ключову роль у реалізації науково-технічного прогресу.

Основне завдання галузі полягає у докорінному вдосконаленні технологічних процесів, розробці нових верстатів з мікропроцесорним управлінням, створенні модульних систем для гнучких виробничих комплексів. Це сприятиме технічному та організаційному переозброєнню машинобудування, що, у свою чергу, забезпечить суттєве зростання продуктивності праці.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Конструкторська частина				Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Рісний В.В.									
Розроб.		Турта Т.І.								35	71
Перевір.		Кобельник В.Р.							ТНТУ, МВ-41 Тернопіль		
Н. Контр.		Кобельник В.Р.									
Затверд.		Крупа В.В.									

3.1 Аналіз завдання на проект та виріб напрямку роботи.

Завдання полягає у розробці (модернізації) конструкції коробки швидкостей токарно-гвинторізного верстата для забезпечення механічної обробки деталі. Вихідними даними для проекту є робоче креслення деталі-представника, програма випуску деталі, базова модель верстата та технічні умови на виготовлення, що впливають на формування компоновки конструкції, кінематики верстата і його вузлів.

Робоче креслення деталі-представника містить інформацію про габаритні розміри та конструктивно-технологічні особливості. Ці дані визначають зону формоутворення поверхонь деталі, варіанти розміщення різального інструменту і заготовки, їх закріплення на верстаті, а також визначають рухи, необхідні для формоутворення, та конструкцію виконуючих механізмів верстата. Вони є основою для розробки компоновок верстата.

Технічні умови на виготовлення деталі-представника (зокрема, виготовлення окремих поверхонь) визначають параметри режимів різання, що, в свою чергу, впливає на кінематику приводу основних вузлів та їх конструктивне виконання.

Продуктивність верстата та річна програма обробки деталі також мають вплив на проектно-конструкторські характеристики верстата. Орієнтація на певний тип виробництва вимагає пошуку шляхів підвищення продуктивності, що можна досягти через використання прогресивного різального інструменту з механізмами багатопозиційності, а також прогресивних методів обробки.

На основі цих міркувань визначено напрямки роботи. Зокрема, в рамках вихідних даних передбачається оптимізація формоутворення циліндричних і сферичних поверхонь у деталях певного типу. З урахуванням робочого креслення, технічних умов та оптимальної схеми формоутворення будуть розраховані режими різання, що є основою для кінематичних та силових

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

розрахунків окремих вузлів верстата. Всі розробки повинні бути обґрунтовані відповідними розрахунками.

Проект також необхідно обґрунтувати організаційно-економічними розрахунками щодо його доцільності та ефективності, враховуючи вимоги охорони праці та безпеки експлуатації в умовах виробництва.

3.2. Уточнення службового призначення верстата.

3.2.1 Аналіз та вибір виконавчих рухів для забезпечення технологічного процесу

Токарний верстат використовується для обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь, а також для виконання різноманітних робіт у патроні та центрах, включаючи нарізання метричних і дюймових різьб.

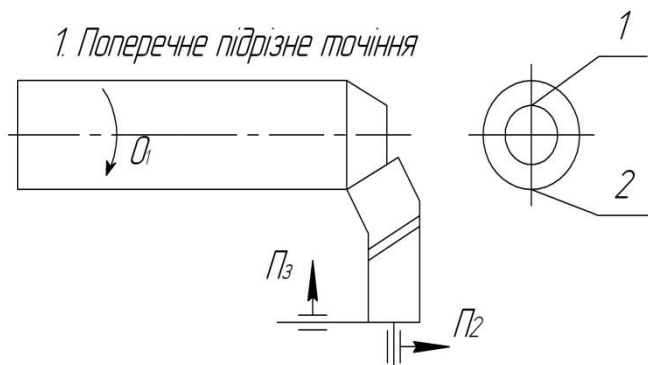
Розглянемо комплекс рухів необхідних по забезпеченню виробничого циклу на верстаті:

а) обробка зовнішніх поверхонь

- точіння простих поверхонь

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Поперечне підрізне точіння

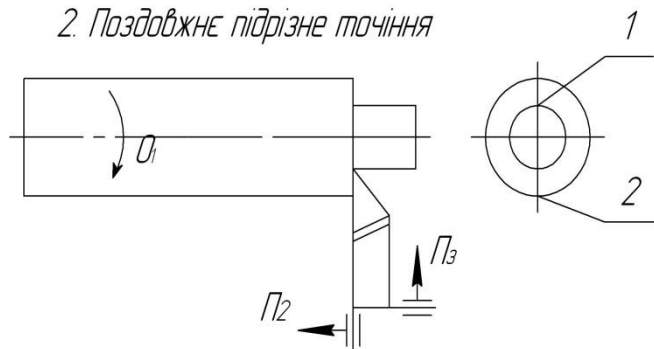


Інструменти: прохідний різець підрізного типу, підрізний різець, відрізний різець.

1 – твірна, метод сліду $\Phi=1$; $\Phi_s(\Pi_3)$.

2 – направляюча, метод сліду $\Phi=1$; $\Phi_v(O_1)$; $\Phi_\Sigma=2$; $\Phi_v(O_1)$; $\Phi_s(\Pi_3)+Y_{ст}(\Pi_2)$.

2. Поздовжнє підрізне точіння

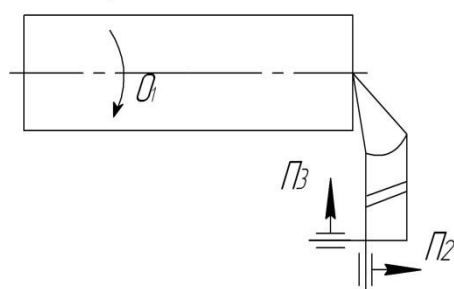


-твірна, метод копіювання $\Phi=0$

2-направляюча, метод сліду $\Phi=1$ $\Phi_v(O_1)$

$\Phi_\Sigma=1$: $\Phi_v(O_1)+B_p(\Pi_2)+Y_{ст}(\Pi_3)$.

3. Підрізне точіння



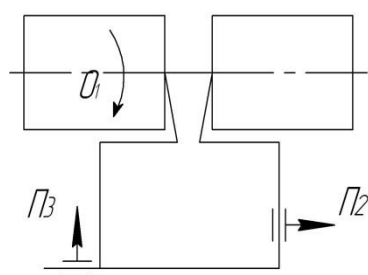
Метод сліду – сліду

$\Phi_\Sigma=2$: $\Phi_v(O_1)+\Phi_s(\Pi_3)+Y_{ст}(\Pi_2)$.

Метод сліду – сліду

$\Phi_\Sigma=2$: $\Phi_v(O_1); \Phi_s(\Pi_3)+Y_{ст}(\Pi_2)$.

4. Відрізне точіння



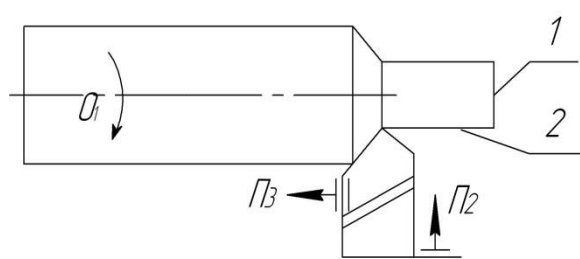
-точіння круглоциліндричних поверхонь

1-метод сліду $\Phi=1$, $\Phi_v(O_1)$

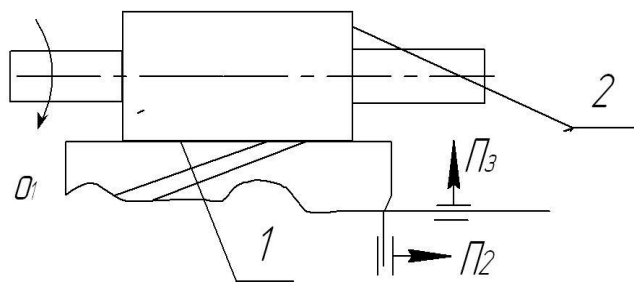
2-метод сліду $\Phi=1$, $\Phi_s(\Pi_2)$

$\Phi_\Sigma=2$: $\Phi_v(O_1); \Phi_s(\Pi_2)+Y_{ст}(\Pi_3)$.

5. Поздовжнє кругле точіння



2. Поперечне кругле точіння

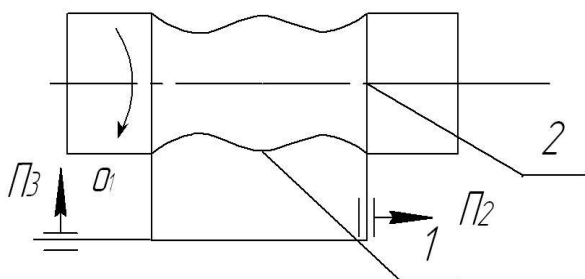


1 –метод копіювання $\Phi=0$

2 –метод сліду $\Phi=1 \Phi_v(O_1)$

$\Phi_{\Sigma}=1: \Phi_v(O_1)+B_p(\Pi_3)+Y_{ст}(\Pi_3).$

1. Поперечне профільне точіння



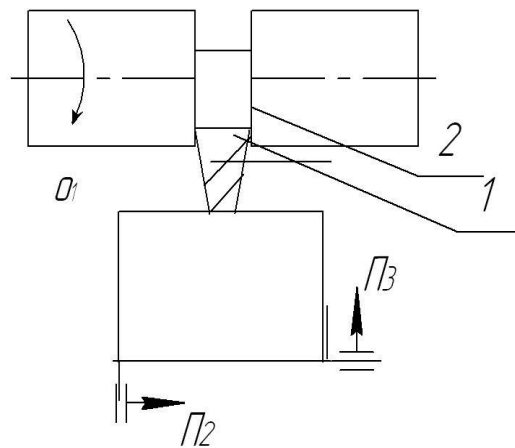
Інструмент – круглий фасонний різець.

1 –метод копіювання $\Phi=0$

2 –метод сліду $\Phi=1 \Phi_v(O_1)$

$\Phi_{\Sigma}=1: \Phi_v(O_1)+B_p(\Pi_3)+Y_{ст}(\Pi_2).$

2. Поперечне прорізне точіння.



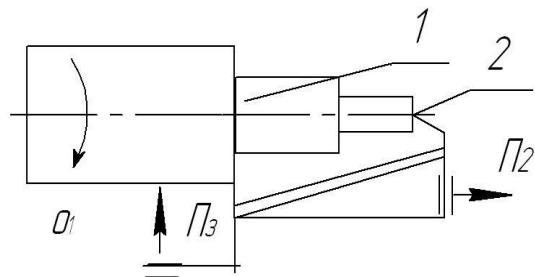
Інструмент –канавочний різець

1 –метод копіювання $\Phi=0$

2 –метод сліду $\Phi=1 \Phi_v(O_1)$

$\Phi_{\Sigma}=1: \Phi_v(O_1)+B_p(\Pi_3)+Y_{ст}(\Pi_2).$

3. Профільне відрізне точіння.

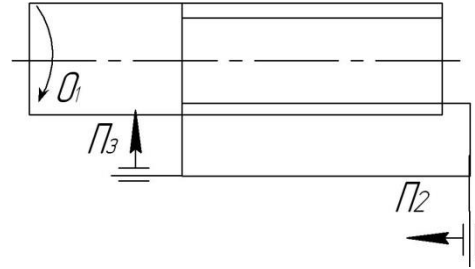
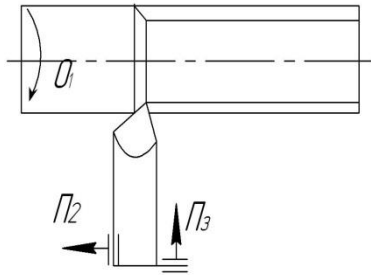


Інструмент –призматичний фасонний різець

1- $\Phi_v(O_1)+B_p(\Pi_3)+Y_{ст}(\Pi_2).$

2- $\Phi_v(O_1); \Phi_s(\Pi_3)+Y_{ст}(\Pi_2).$

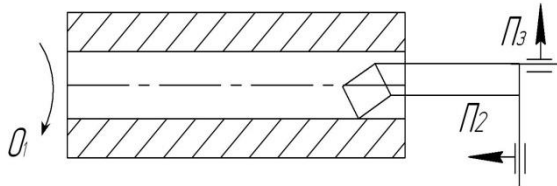
Точіння гвинтових поверхонь



Метод копіювання

Обробка внутрішніх поверхонь

-токарними інструментами (розточні різці; різьбові різці).



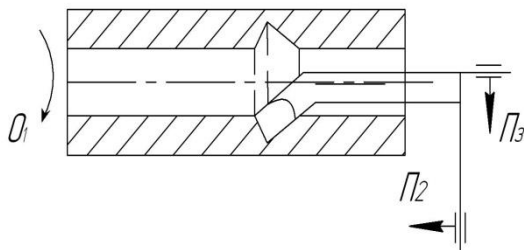
$$\Phi_{\Sigma}=1: \Phi_v(O_1\Pi_2)+Y_{ct}(\Pi_3).$$

Метод сліду – сліду

$$\Phi_{\Sigma}=2: \Phi_v(O_1);\Phi_s(\Pi_2)+Y_{ct}(\Pi_3).$$

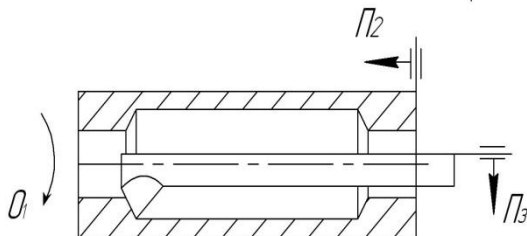
Метод копіювання – сліду.

$$\Phi_{\Sigma}=1: \Phi_v(O_1)+B_p(\Pi_3)+Y_{ct}(\Pi_2).$$



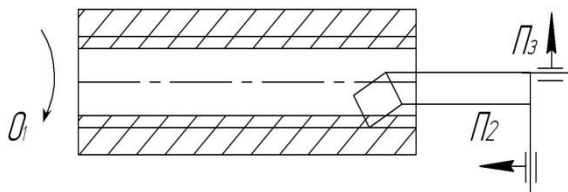
Метод сліду – сліду

$$\Phi_{\Sigma}=2: \Phi_v(O_1)+B_p(\Pi_2)+Y_{ct}(\Pi_3).$$



Метод сліду – сліду

$$\Phi_{\Sigma}=2: \Phi_v(O_1);\Phi_s(\Pi_2)+B_p(\Pi_3).$$

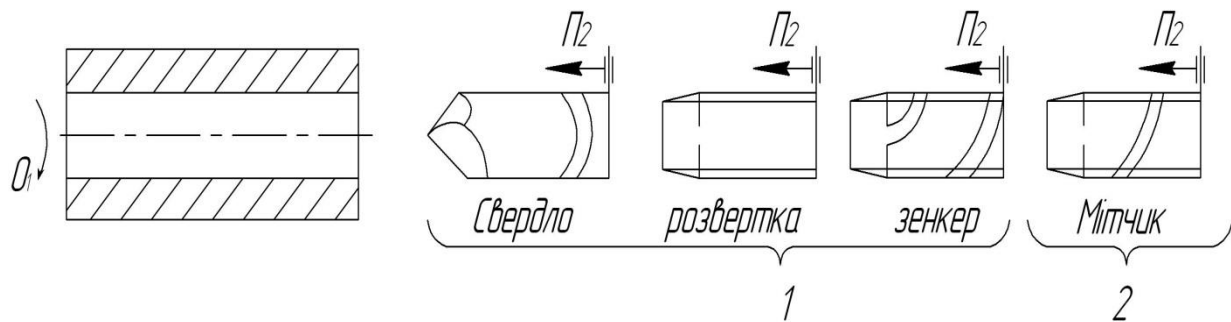


Метод копіювання - сліду

$$\Phi_{\Sigma}=1: \Phi_v(O_1\Pi_2)+Y_{ct}(\Pi_3).$$

- інструментом для обробки отворів(щосьовим інструментом).

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



1-метод сліду – сліду $\Phi_{\Sigma}=2: \Phi_v(O_1); \Phi_s(\Pi_2)$.

2-: $\Phi^*_v(O_1\Pi_2)$ або $\Phi_v(O_1)+B_p(\Pi_2)$.

*-за рахунок самозагвинчування інструменту.

3.2.2. Вибір основних техніко-економічних параметрів верстата

Висота центрів над станиною, мм	320
Найбільший діаметр виробу, встановлюємо над поворотним столом, мм	300
Найбільша довжина обточування виробу, мм	1200
Найбільша довжина обточування, мм	900
Максимальний радіус розточування сфери, мм	200
Мінімальний радіус розточування сфери, мм	25
Максимальний радіус обточуваної сфери, мм	150
Діаметр отвору в шпинделі, мм	52
Межі чисел обертів шпинделя, об/хв.	12,5..1600
Межі поздовжніх подач супорта, мм/об.шп.	0,05..2,8
Межі і поперечних подач, мм/об.шп.	0,02..1,28
Межі колових подач на радіусі сфери 100мм	0,01..0,62
Межі різей:	
метричних мм	0,5..112
дюймових, кількість ниток на 1"	56..0,25
Швидкість швидкого переміщення супорта:	
Поздовжнього ходу, м/хв.	3,8

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Поперечного ходу, м/хв	1,7
Габарити верстата, мм:	
довжина	3160
ширина	1190
висота	1575
Вага верстата, кг	3622

3.2.3. Аналіз типів базових компоновок.

3.2.3.1. Вибір верстатів-аналогів

Токарний токарно-центровий верстат моделі 16K20Ф3.

Найбільший діаметр обточувальної заготовки, мм:	
Над станиною	400
Над супортом	200
Кількість інструментів	6
Кількість частоти обертання шпинделя	12
Частота обертання шпинделя, хв ⁻¹	35-1600
подача, мм/хв:	
поздовжня	3-200
поперечна	3-500
Швидкість швидких переміщень, мм/хв.	
Поздовжніх	4800
Поперечних	2400
Дискретність переміщень, мм:	
Поздовжніх	0,01
Поперечних	0,005
Габаритні розміри верстата, мм:	

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Довжина	3360
Висота	1710
Ширина	1750

Токарний верстат мод. 16Б04А.

Найбільший діаметр оброблювальної заготовки, мм:

Над станиною	200
Над супортом	115
Найбільший діаметр прутка, який проходить через шпинделя, мм	14
Найбільша довжина оброблюваної заготовки, мм	350
Крок різі:	
Метричної	0,2-2,8
Дюймової	96-5
Модульної	0,1-14
Частота обертання шпинделя, об/хв.	3200
Кількість швидкостей шпинделя.	Б/С
Подача супорта, мм/об	0,175
Поздовжня	0,01-
Поперечна	0,005-0,09

Кількість ступеней подач

Потужність електродвигуна, кВт 1,1

Габаритні розміри, мм

Довжина	1310
Ширина	690
Висота	300
Маса, кг	2835-3685

Токарний верстат 16Т02А.

Найбільший діаметр заготовки, мм:

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Над станиною		125
Над супортом		75
Найбільший діаметр прутка, який проходить через отвір шпинделя, мм		8
Найбільша довжина заготовки, мм	50	
Частота обертання шпинделя, об/хв.		320-3200
Кількість швидкостей шпинделя		6
Найбільше переміщення супорта, мм:		
Поздовжнє		65
Поперечне		60
Потужність електродвигуна, кВт		0,27
Габаритні розміри, мм		
Довжина		695
Ширина		520
Висота		300
Маса, кг		3500

Токарний патронно-центровий верстат мод. 1А670.

Найбільший діаметр заготовки, мм		
Над станиною		2000
Над супортом		1600
Найбільша довжина заготовки, мм	10000	
Крок різі:		
Метричної		2,0-384
Дюймової		—
Модульної		—
Частота обертання шпинделя, об/хв.		1-125
Кількість швидкостей шпинделя		Б/С
Найбільше переміщення супорта		

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поздовжнє	10400
Поперечне	715
Кількість ступеней подач	—
Потужність електродвигуна, кВт	100
Габаритні розміри, мм:	
Довжина	22200
Ширина	4300
Висота	2850
Маса, кг	120000

3.2.4 Вибір та опис принципової структурно – кінематичної схеми обладнання.

На основі рухів, що забезпечують виробничий цикл на верстаті, виділяємо основні рухи:

рух O_1 – обертання заготовки

рух $П_2$ - поздовжнє переміщення супорта (інструмента)

рух $П_3$ – поперечне переміщення супорта.

Для виконання цих рухів і забезпечення кінематики верстата необхідні спеціальні механізми :

1) Ланка збільшення кроку :

встановлюється в шпиндельній бабці і дозволяє збільшити крок в 2,8 і 32 рази.

Позначається $\diamond^{изк}$ відноситься до гвинторізного ланцюга при нарізанні різі і ланцюга подач при токарних операціях забезпечує велике збільшення подачі супорта.

2) Механізм реверса : позначається $[\uparrow\downarrow]$ Р. Відноситься до гвинтового ланцюга або ланцюга подач . Забезпечує прямий і зворотній робочий хід супорта .

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

3) гітара змінних коліс $\frac{\alpha}{\beta} : \frac{c}{d}$; позначається $\diamond^{\text{шт}}$ – орган настройки на число π .

Розміщена між виходом із шпindelьної бабки і входом в коробку подач. Забезпечує пропорційність числу π .

4) Зворотній механізм :позначається $\diamond^{\text{язв}}$. Розміщується він в коробці подач. Саме цей механізм забезпечує пропорційне ціле число t (m) і зворотне пропорційне цілому числу p (п), а також пропорційність по одному дюйму для нарізання дюймових і пітчевих різей.

5) множильний механізм верстату : він позначається $\diamond^{\text{Ум.м}}$. Та розміщується в приводі подач саме після зворотнього механізму руху і здійснює пропорційність руху 1, 1/2, 1/4, 1/8.

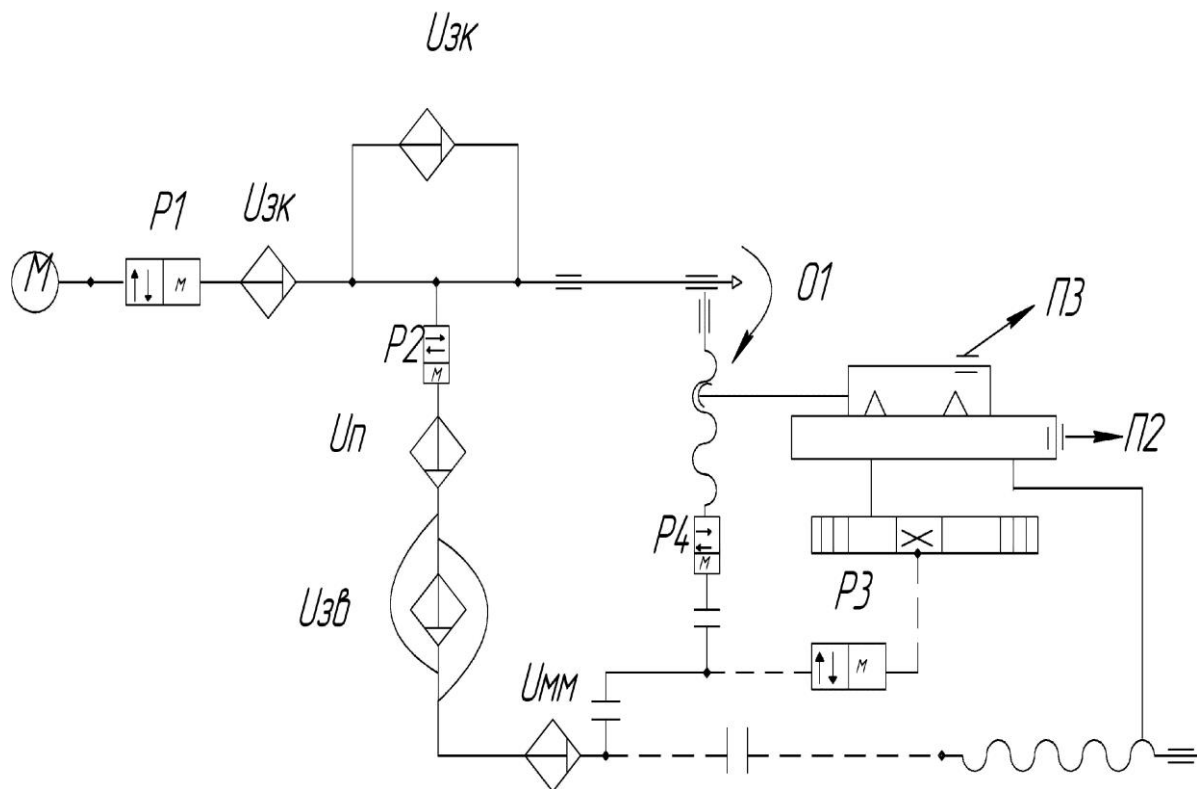


Рисунок 3.1 Структурно-кінематична схема

3.3 Кінематичний розрахунок .

3.3.1 розрахунок діапазону регулювання .

Визначаємо межі значень обертів шинделя і обґрунтовуємо структурну формулу приводу головного руху :

Верхня і нижня границі чисел обертів шпинделя розраховуються за формулою:

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot z_{\max}}{\pi d_{\min}} = \frac{1000 \cdot 9.63}{\pi \cdot 20} = 1491.2 \text{ об / хв};$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot z_{\min}}{\pi d_{\max}} = \frac{1000 \cdot 18.8}{3.14 \cdot 400} = 149.6 \text{ об / хв};$$

Діапазон регулювання визначаємо за формулою

$$R = n_{\max} / n_{\min} = 1491.2 / 149.6 = 100$$

Метод регулювання швидкості верстата – одна із важливих кінематичних характеристика. Для приводу з ступеневим регулюванням основним показником є нормалізований знаменник геометричного ряду „ ϕ ” , який у відповідності з ОСТ 2НШ-1-72 ([3]) має такі стандартні значення :1,06;1,12;1,26;1,40;1,60;20.

3.3.2. Розробка структурної формули .

Для коробки швидкостей токарно-гвинторізного верстата приймаємо $\phi=1,26$ ([3]) . За вибраним значенням знаменника „ ϕ ” визначаємо величину числа ступеней регулювання:

$$Z = 1 + \frac{\lg R}{\lg \phi} = 1 + \frac{\lg 100}{\lg 1.26} = 1 + 20.6 = 21.6;$$

Приймаємо $Z=22$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По визначеному Z формуємо структурну формулу для приводу головного руху за оптимальною структурою .

$$Z = P_1(x_1) \cdot P_2(x_2) \cdot P_3(x_3) \dots$$

Де P_1, P_2, P_3 – величина групи, що говорить про кількість передач в кожній групі.

X_1, X_2, X_3 – характеристика певної відповідної груп, які мають відповідно P_1, P_2, P_3 передач.

Причому треба вибрати умови :

а) характеристика першої (основної) групи повинна бути рівна 1, тобто $X_1 = 1$.

б) характеристики інших груп визначаються із залежностей

$$X_2 = P_1; \quad X_3 = P_1 \cdot P_2; \quad X_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3;$$

Привід швидкостей токарно – гвинторізного верстату відноситься до приводу з простою структурною групою .

Число ступеней рівне:

$$Z = (1 \cdot 2_{(1)} \cdot 3_{(2)}) \cdot (2_{(6)} \cdot 1 \cdot 1 + 2_{(6)} \cdot 1 \cdot 1).$$

3.3.3. Побудова структурної сітки , графіка чисел обертів

Структурну сітку будується на основі структурної формули :

$$Z = 1 \cdot 2_{(1)} \cdot 3_{(2)} \cdot (2_{(6)} \cdot 1 \cdot 1 + 2_{(6)} \cdot 1 \cdot 1).$$

Структурну сітку будуємо за логарифмічною шкалою.

Для її створення проводимо серію горизонтальних ліній з інтервалом $\lg Z$, кількість яких дорівнює числу ступенів Z , та вертикальних ліній, кількість яких відповідає числу незалежних груп плюс одиниця. Кожній групі передач виділяється ділянка між сусідніми вертикальними лініями згідно з їх конструктивним розташуванням. Структурна сітка не залежить від конкретної

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

кількості обертів початкової ланки; вона відображає лише порядок включення передач для досягнення кожної конкретної ступені частоти обертання кінцевої ланки та змішування передаточних відношень при перемиканні передач всередині групи.

Структурна сітка надає наочну інформацію, що представлена у вигляді структурної формули, на відміну від графіка чисел обертів, який дає конкретні значення обертів і передаточних відношень усіх передач приводу.

Для побудови графіка чисел обертів потрібно знати:

1. Знаменник „ ϕ ” ряду чисел обертів.
2. Мінімальна і максимальна частота обертання шпинделя $n_{\max}$ і $n_{\min}$ (об/хв).
3. Мінімальна та максимальна подачі $S_{\max}$ і $S_{\min}$ (об/хв).
4. Число ступеней Z .
5. Частота обертання електродвигуна $n_{\text{ел.дв.}}$.

Побудову ведемо в такі послідовності:

По відомих $\phi=1,26$; $Z=22$; $n_{\text{ел.дв.}}$ – приймаємо 1 оберт шпинделя, межі чисел обертів шпинделя;

$$n_{\max}=1600(\text{об/хв});$$

$$n_{\min}=12,5(\text{об/хв}).$$

Визначаємося з рядом чисел подач. Найближче мінімальне значення $n_{\min}=12,5$ (об/хв), значить ряд чисел обертів буде: 12.5; 16; 20; 25; 31.5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600 об/хв.

Структурна сітка і графік частот обертання показані на рис.3.2., рис.3.3. відносно

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

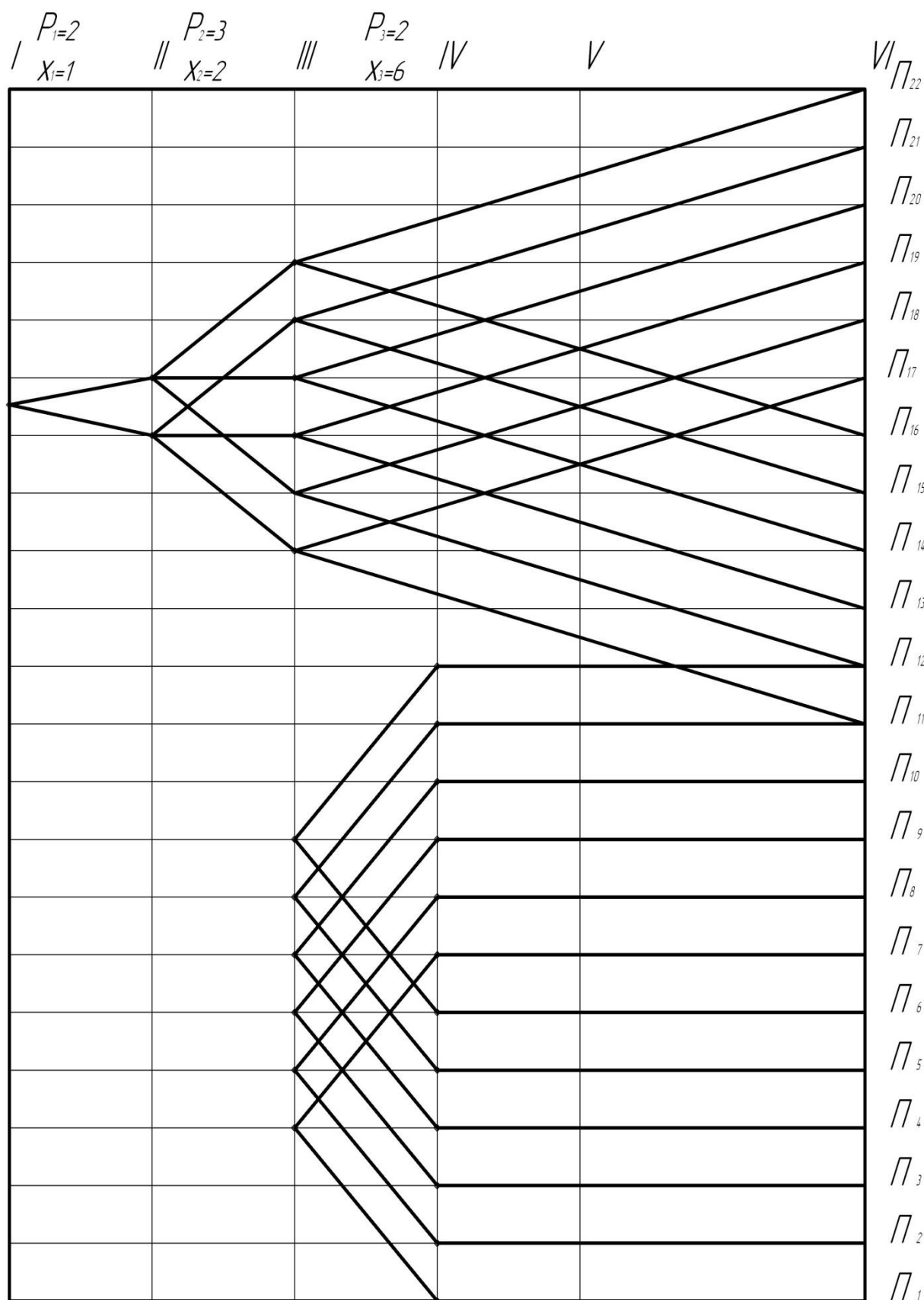


Рисунок 3.2 Структурна сітка.

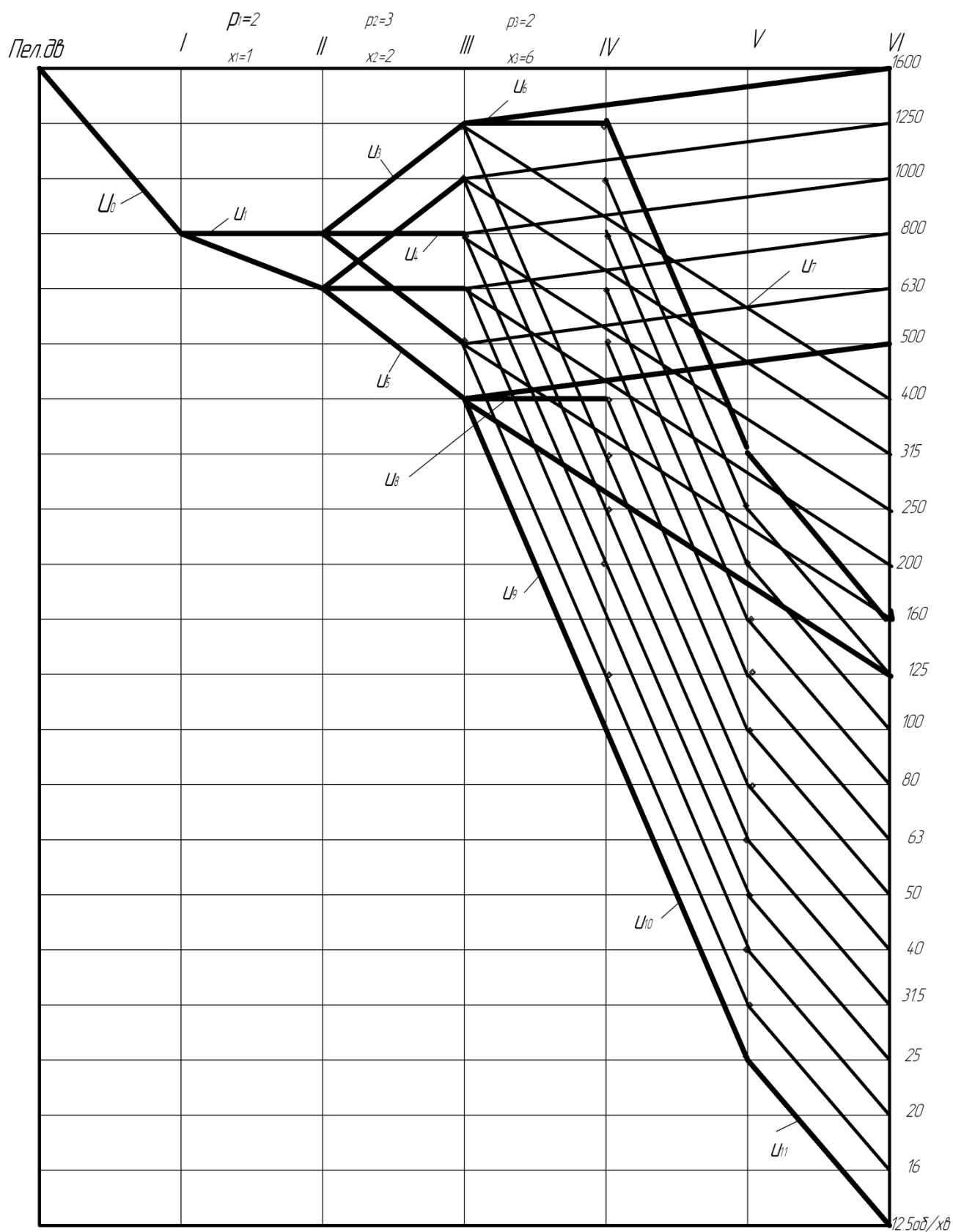


Рисунок 3.3 Графік чисел обертів.

3.3.4. Побудова кінематичної схеми приводу , визначення передаточного відношення чисел зубів передач .

За графіку чисел обертів здійснюємо визначення передаточних відношення зубчастих передач в коробці швидкостей.

$$U_1 = Z_1/Z_2 = 1/\varphi^0 = 1/1.26^0 = 1.$$

$$U_2 = Z_3/Z_4 = 1/\varphi^1 = 1/1.26.$$

$$U_3 = Z_5/Z_6 = \varphi^2 = 1.58.$$

$$U_4 = Z_7/Z_8 = 1/\varphi^0 = 1.$$

$$U_5 = Z_9/Z_{10} = 1/\varphi^2 = 1/1.58.$$

$$U_6 = Z_{11}/Z_{12} = \varphi^1 = 1.26.$$

$$U_7 = Z_{13}/Z_{14} = 1/\varphi^5 = 1/3.$$

$$U_8 = Z_{15}/Z_{16} = 1/\varphi^0 = 1.$$

$$U_9 = Z_{17}/Z_{18} = 1/\varphi^6 = 1/4.$$

$$U_{10} = Z_{19}/Z_{20} = 1/\varphi^6 = 1/4.$$

$$U_{11} = Z_{21}/Z_{22} = 1/\varphi^3 = 1/2.$$

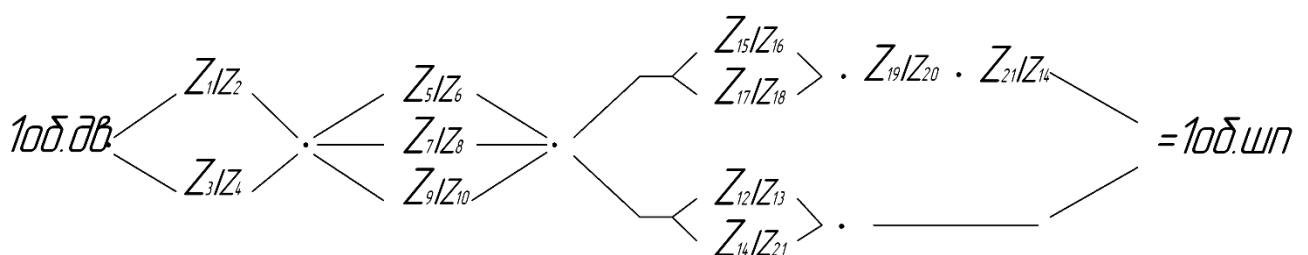
$$U_{\text{заг}} = \Pi_1/\Pi_{\text{ел.дв.}} = 12,5/1440 = 1/115,2.$$

Графік чисел обертів дає кількіну характеристику приводу та визначає :

- а) кількість передач, необхідних для конструктивної розробки приводу і їх відносне розміщення ;
- б) передаточні відношення ;
- в) реальні числа обертів всіх валів приводу ;

На основі графіку чисел обертів форму кінематичну схему приводу (рис. 3.4.).

Побудована кінематична схема забезпечую двадцять два значення частот обертів шпинделя :





КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ

Використовуючи дані графіка чисел обертів, визначаємо кількість зубів для кожної пари зубчастих коліс, які входять до складу кожної незалежної пари коробки передач. При цьому припускаємо, що модуль всіх зубчастих коліс групи однаковий, а міжосьова відстань залишається сталою.

Приймаючи $Z_{\min}=18$, знаходимо для основної групи:

$$\Sigma Z_{\min} = 18 \cdot \frac{U_1 + 1}{U_1} = 18 \cdot \frac{1+1}{1} = 36;$$

Згідно з таблицею [3], можна визначити, що при мінімальному значенні числа зубів $\Sigma Z=36$ забезпечити необхідні передаточні числа неможливо (для $\Sigma Z=36$ в таблиці вказана порожня клітинка). Найбільше значення ΣZ , при якому забезпечуються зазначені передаточні числа, становить 50, і йому відповідають відповідні числа зубів коліс:

$$\text{При } Z_1=25; Z_2= \Sigma Z - Z_1 = 50 - 25 = 25$$

$$Z_3=22; Z_4=50-22=28$$

$$Z_5=20; Z_6=52-20=32$$

$$Z_7=26; Z_8=52-26=26$$

$$Z_9=20; Z_{10}=52-20=32$$

$$Z_{11}=52; Z_{12}=70-52=18$$

$$Z_{13}=32; Z_{14}=72-32=40$$

$$Z_{15}=45; Z_{16}=90-45=45$$

$$Z_{17}=18; Z_{18}=90-18=72$$

$$Z_{19}=18; Z_{20}=90-18=72$$

$$Z_{21}=32; Z_{14}=40$$

Описаний метод включає потребу уточнення чисел обертів, оскільки використання цього методу включає можливість похибки передаточних чисел на величину більшу $\pm 10 (\varphi - 1)\%$.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3.3.5. Визначення оптимальних крутних моментів та швидкостей на валах приводу.

Величини значень розрахункових крутних моментів на валах приводу верстату є необхідні для розрахунку на міцність та довговічність передач, валів і підшипників.

Розрахунковий крутний момент на валах приводу головного руху визначається за формулою:

$$T_{обр} = 9550 \cdot \frac{N_{дв} \cdot \eta}{P_{розр}};$$

де $N_{дв}$ – потужність електродвигуна верстату;

η – К.К.Д. верстату $\eta=0,87$;

$n_{розр}$ – число обертів вала, одержуємо з розрахунків.

$$n_{розр.шп.} = n_1 \cdot \varphi^{Z/3+1} = 12,5 \cdot 1,26^{2/3+1} = 54 \text{ об/хв}$$

Отже:

$$T_{об.шп.} = 9550 \cdot \frac{10 \cdot 0,87}{54} = 1538,6 \text{ Нм}$$

Розраховуємо обертовий момент для передшпиндельної пари:

$$P_{розр} = \frac{P_{розр.шп.}}{U_{11}} = 54 / 1 / 2 = 108 \text{ об / хв.}$$

Отже

$$T_{обv} = 9550 \cdot \frac{10 \cdot 0,87}{108} = 769 \text{ Нм}$$

Решта обертових моментів визначаються по формулах:

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{об.П+1} = T_{об.п} \cdot U_n \cdot \eta$$

$$T_{об.П-1} = T_{об.п} / U_n \cdot \eta$$

де U_n - передаточне відношення кінематичного ланцюга від одного вала до іншого (із групи передач береться передаточне відношення більш навантаженої пари передач).

η – коефіцієнт К.К.Д. від розглянутого валу до іншого.

$$T_{обV} = T_{обV} / U_{10} \cdot \eta = 769 / 4 \cdot 0.98 = 196 (\text{Нм})$$

$$T_{обIII} = T_{обIV} / U_9 \cdot \eta = 196 / 4 \cdot 0.98 = 50 (\text{Нм})$$

$$T_{обII} = T_{обIII} / U_5 \cdot \eta = 50 / 1.50 \cdot 0.98 = 33 (\text{Нм})$$

$$T_{обI} = T_{обII} / U_2 \cdot \eta = 33 / 1.28 \cdot 0.98 = 26 (\text{Нм})$$

3.3.6. Розрахунок зубчастих коліс

3.3.6.1. Методика розрахунку.

Розрахункове контактне напруження для зубів прямозубих зубчастих передач з урахуванням того, що зубчасті колеса виготовлено зі сталі:

$$G_k = 12270 Z_n Z_{\xi 1} / d w_1 \sqrt{\frac{T_1}{\psi_{ed} d w_1} \frac{U_H}{U} k_{HV} k_{H\beta}},$$

де – T_1 – крутний момент на шестерні, Нм;

$d w_1$ – початковий діаметр шестерні, мм;

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

ψ_{ed} – відношення ширини вінця до початкового діаметру шестерні (для коробок передач верстатів $\psi_{ed}=0,2..0,4$);

U – передаточне число, $U \geq 1$;

Z_H – коефіцієнт який враховує форму у спряжених поверхнях зубів (визначають в залежності від кута β і сумарного коефіцієнту зміщення X_Σ).

Для прямозубих передач при $\alpha=20^\circ$ і $X_\Sigma=0$, $Z_H=1,76$

Коефіцієнт який враховує довжину контактних ліній:

$$Z_\xi = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}}$$

де ε_α - коефіцієнт торцевого перекриття, який визначається по ГОСТ 16532-70 або по формулі:

$$\varepsilon_\alpha = 1,88 - 32(1/Z_1 + 1/Z_2)$$

де Z_1 і Z_2 – число зубів відповідно шестерні і колеса;

k_{HV} – коефіцієнт, який враховує динамічні навантаження;

$k_{H\beta}$ – коефіцієнт, який враховує розподілення навантаження по ширині вінця.

Діаметр шестерні відповідно до умови контактної міцності розраховується за попередніми виразу, а модуль передачі за формулою:

$$m = d_{w1}/Z_1$$

Коефіцієнт щодо достатньої для розрахунку точності:

$$k_{HV} = 0.48 + 0.014V + \frac{3a_w}{U \cdot 10000} + (CT - 6) - 0.02,$$

де CT – ступінь точності передачі;

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

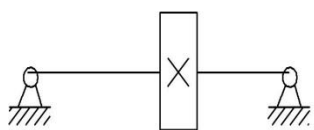
a_w – між осьова віддаль;

$$a_w = (Z_1 + Z_2)m/2$$

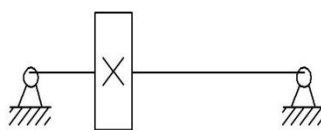
Коефіцієнт $k_{H\beta}$, що враховує навантаження по ширині вінця зубчастого колеса, визначається з залежності:

$$k_{H\beta} = 0,915 + 0,0588 \psi_{ed} + 0,799^2 \psi_{ed} - 0,554^3 \psi_{ed} + 0,17 KOD - 0,0474 KOD^2 - 0,684 \psi_{ed} KOD + 0,283 \psi_{ed} KOD^3 + 0,0933^2 \psi_{ed} KOD,$$

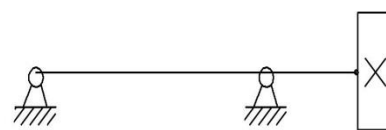
де KOD – код розміщення передачі відносно опор



KOD 1



KOD 2



KOD 3

Похибка визначення $k_{H\beta}$ за формулою не перевищує 1%, що повністю відповідає достатній точності розрахунку зубчастої передачі.

Для забезпечення згинної міцності зубів коліс зі зміщеною поверхнею визначається мінімально допустимий модуль на витривалість згину:

$$m = K_m \sqrt{T_1 K_{H\beta} y_F / (Z_1^2 \cdot \psi_{bd} \cdot G_{FP1}},$$

де K_m – коефіцієнт модуля, для прямозубих передач рівний 14;

$K_{F\beta}$ – коефіцієнт що враховує розподілення навантаження по ширині вінця.

З допомогою розрахунку модуля на ЕОМ $K_{F\beta}$ визначається по регресивній залежності

$$K_{F\beta} = 0,759 + 1,081 \psi_{ed} - 0,985^2 \psi_{ed} + 0,423^3 \psi_{ed} + 0,232 KOD - 0,0549 KOD^2 - 1,022 \psi_{ed} KOD + 0,380 \psi_{ed} KOD^2 + 0,0313^2 \psi_{ed} KOD;$$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Де G_{FP1} - допустимі напруження на згині;

y_F - коефіцієнт, який враховує форму зуба шестерні.

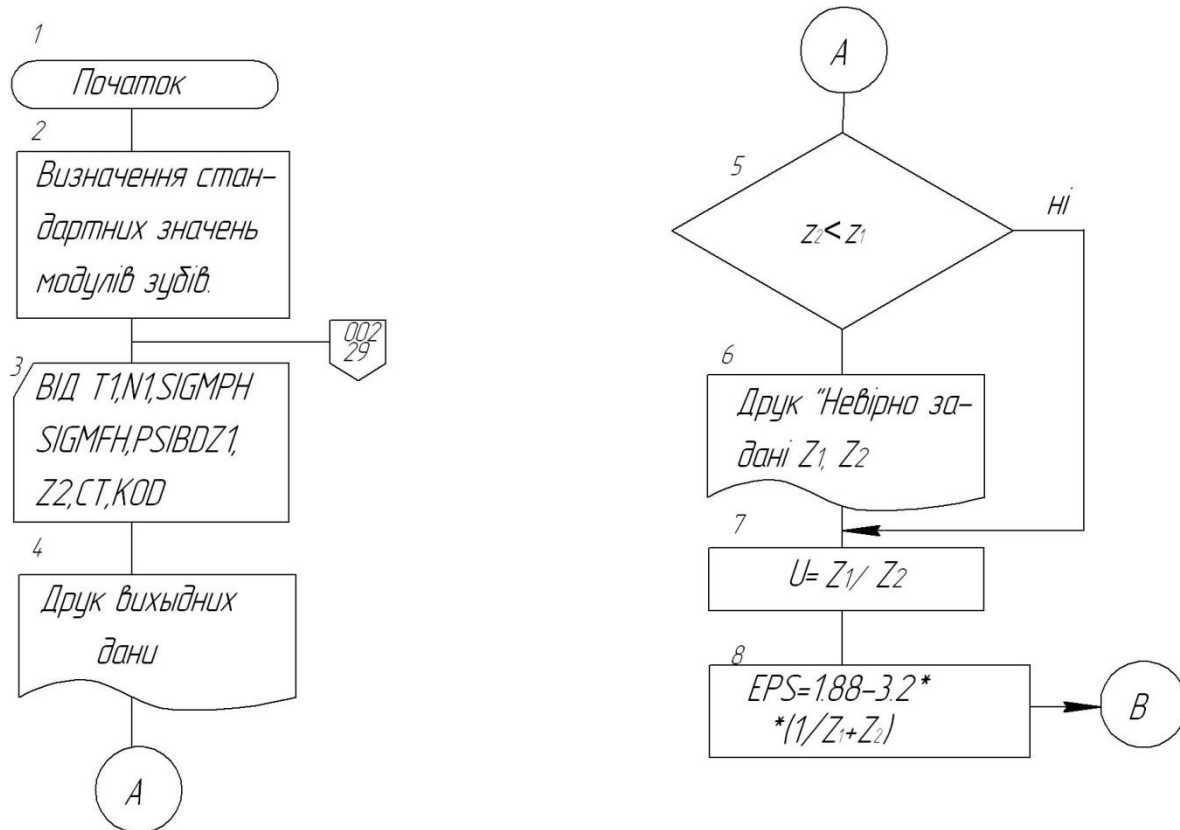
3.3.6.2. Вихідні дані.

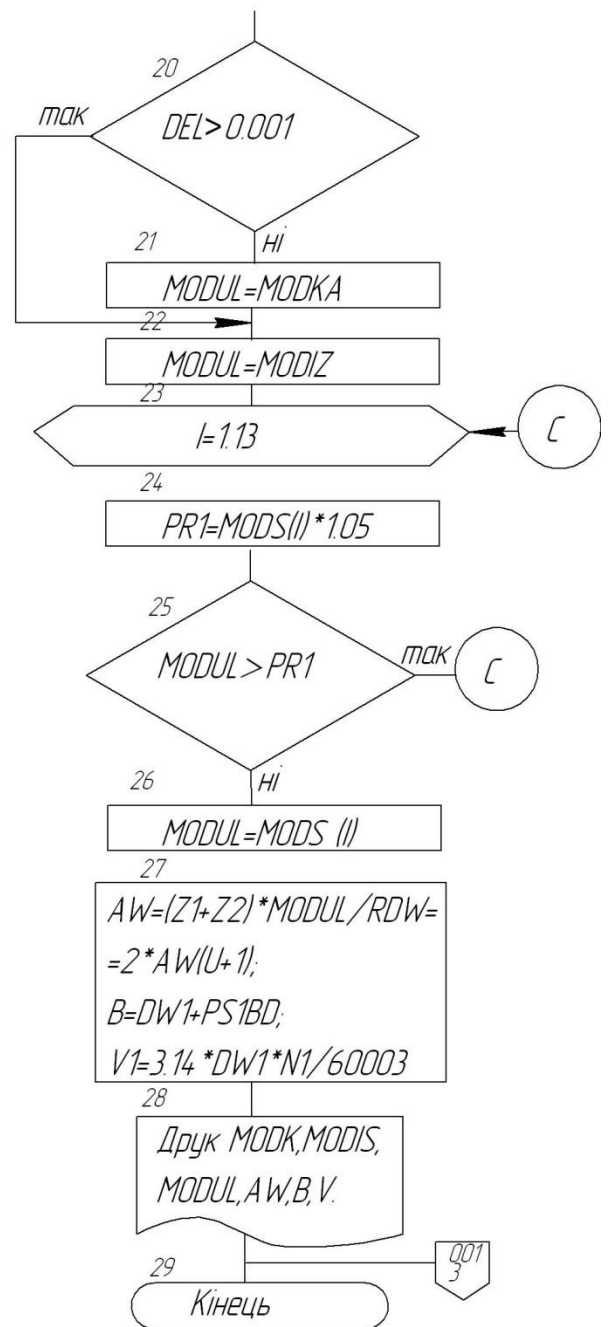
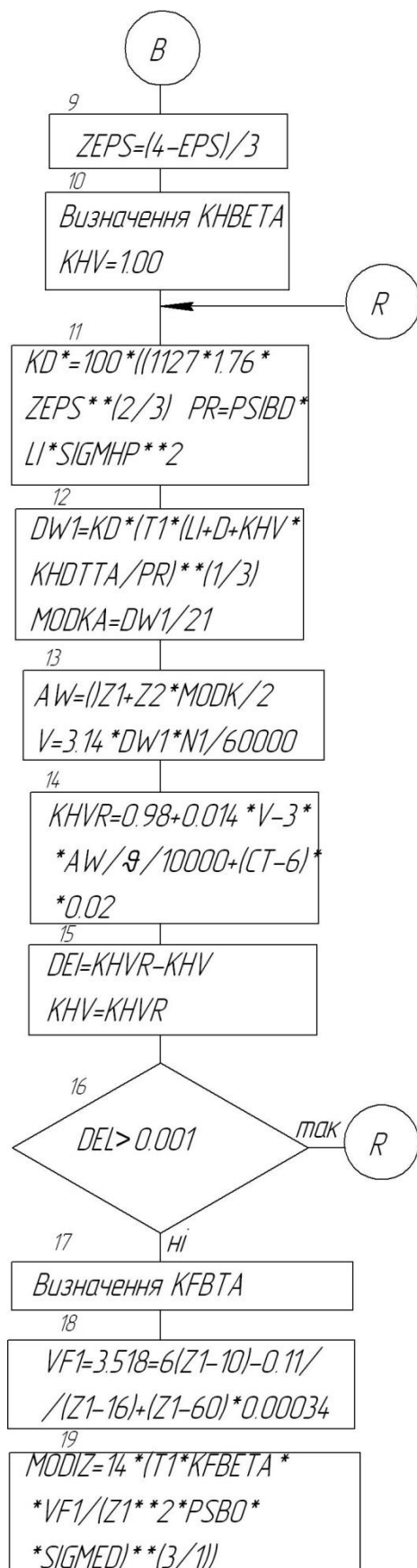
Таблиця 3.2. Вихідні дані.

Ідентифікатор	Одиниця		Назва величини
T_1	Н·м	бар	Крутний момент на шестерні.
N_1	об/хв.	1000	Частота обертання шпинделя.
SIGMHP	МПа	750	Допустиме контактне напруження для зубів колеса при базовому числі циклів.
SIGMHP	МПа	380	Допустиме згинальне напруження для зубів колеса при базовому числі циклів.
PSIBD	—	0,25	Відношення ширини вінця до початкового діаметру шестерні.
Z_1	—	бар	Число зубів колеса.
Z_2	—	бар	Число зубів шестерні.
СТ	—	7	Степінь точності зубчастої передачі.
KOD	—	бар	КОД розміщення передач відносно опор.

Значення величин вихідних даних беремо з попередніх розрахунків.

3.3.6.3. Блок-схема розрахунку зубчастих коліс.





Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ

Арк.

61

3.3.6.4. Результат розрахунку.

Таблиця 3.3. Результат розрахунку.

ідентифікатор	MODK	MODIZ	MODUL	AW	B
Зубчасті передачі					
Z_1/Z_2	0.934	1.231	2	50	40
Z_3/Z_4	1.062	1.351	2	50	40
Z_5/Z_6	1.265	1.570	2	52	41.60
Z_7/Z_8	0.971	1.296	2	52	41.60
Z_9/Z_{10}	1.265	1.570	2	52	41.60
Z_{11}/Z_{12}	3.506	4.520	5	177	44
Z_{13}/Z_{14}	3.506	4.520	5	177	44
Z_{15}/Z_{16}	0.635	1.015	1	45	36
Z_{17}/Z_{18}	0.765	0.920	1	45	36
Z_{19}/Z_{20}	2.429	3.394	4	180	57.6
Z_{21}/Z_{14}	3.506	4.520	5	177	44

MODK – Розрахунковий модуль по контактних напруженнях, мм

MODIZ – розрахунковий модуль по згинних напруженнях, мм

MODUL – стандартний модуль по ГОСТ 9563-60, мм

AW – між осьова відстань, мм

B – ширина шестерні, мм

Значення модуля $m=1; 2; 4; 5$ приймаємо для подальшого конструктивного проектування та кінематичного розрахунку коробки швидкостей.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3.7. Розрахунок модуля передачі та конструктивних параметрів зубчастих коліс.

Розраховуємо групу передач розташовану перед шпинделем. Ця група передач складається з двох пар зубчастих передач з числом зубів:

$$Z_{11}=51; Z_{12}=18; Z_{14}=40; Z_{21}=32$$

Передаточні числа відповідно рівні:

$$Z_{11}/Z_{12}=52/18=2,82; Z_{14}/Z_{21}=40/32=1,26$$

Розраховуємо передачу з більшим передаточним числом $U=2,82$.

Визначаємо модуль передачі з умови міцності на згин:

$$m_H = 11.5 \cdot \cos \beta_3 \sqrt{\frac{T_{o6} \cdot K_U}{y \cdot z_k \cdot \psi_m \cdot [G]_{3Г}}} ; \text{ (мм) Значення "у" згідно } ([4],) \text{ для } Z_{пр} = Z / \cos^3 \beta = 52 / \cos^3 10^\circ = 54.44 \text{ у} = 0.286$$

$\Psi_m = v / m_H$. Приймаємо рівним $\psi_m = 12$. коефіцієнт перенавантаження $K_u = K_H \cdot K_{qu} \cdot K_{HPU}$.

Приймаючи рівномірний хор-р руху з ([4], табл. 3) знаходимо $K_H = 1$. для шостої степені точності і орієнтованої швидкості 5м/с згідно ([4],) для жорсткого валу при $\psi_m / Z = 6 / 52 < 0,2$; $K_{HPU} = 1$.

Знаходимо $K_u = 1 \cdot 1,1 \cdot 1 = 1,1$

$[\sigma_{зг}]$ знаходимо задавшись матеріалами і термообробкою коліс. Вибираємо для шестерні і колеса сталь 40Х з гартуванням СВЧ до твердості HRC:

Для шестерні HRC 55..58, для колеса HRC 50..55. Згідно ([4], табл. 6) $\sigma_{uq} = 240$ МПа

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

σ_{uq} – границя міцності зубів при розрахунку на згин. При чистовому режимі шліфування $K_{шп}=1,05$ ([4],). Коефіцієнт врахування режиму роботи $K_{u,реж.}=1,4$ ([4], табл. 8).

Звідци $[\sigma_{зг}]=240 \cdot 1,05 \cdot 1,4=350 \text{ МПа}$

$$m_n = 11.5 \cdot \cos 10^\circ \cdot \sqrt[3]{\frac{1538.61.1}{0.286 \cdot 20 \cdot 350 \cdot 2}} = 2.87 \text{ (мм)}$$

Визначаємо міжосьову відстань з умови міцності:

$$A = 10(U + 1) \cdot \sqrt{\left(\frac{332}{U \cdot [G]_{пов}}\right)^2 \cdot \frac{T_{06}}{\psi_A}} ; \text{ (мм)}$$

Величина $[G]_{пов}=G_{кд.реж}$

де $\sigma_{кд}$ – тривала границя витривалості зубів при розрахунку на контактну міцність $\sigma_{кд}=900 \text{ МПа}$ ([4],)

Коефіцієнт $K_{к.реж.}$ знаходимо по формулі:

$$K_{к.реж.} = K_Q \sqrt[6]{\frac{K_N \cdot N_o \cdot P}{60 \cdot T_p \cdot \Pi_p}} ;$$

де N_o – розрахункове число циклів навантажень при випробуваннях матеріалу шестерні на витривалість.

P – к-сть передач в групі, де знаходиться розрахункова частота (обертання).

n_p – розрахункова частота обертання шестерні в об/хв.

T_p – задана довговічність передач $T_p=10 \dots 12 \text{ тис.год.}$

K_Q і K_N – коефіцієнти збільшення. $G_{к.д.}$ і N_o , що залежить від степені універсальності верстату і місцеположення передачі в приводі

$K_Q=1,2$; $K_N=1,7$; $P=2$ [4],

Визначаємо $K_{к.реж}$ для $T_p=10 \text{ тис.год.}$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$K_{к.р.еж.} = 1.26 \sqrt{\frac{1.7 \cdot 10^8 \cdot 2}{60 \cdot 10000 \cdot 108}} = 1.58.$$

Звідси $[\sigma]_{пов.} = 900 \cdot 1,58 = 1422$ (МПа).

Знаходимо "А" розрахункове

$$A = 10(2.82 + 1)^3 \sqrt{\left(\frac{332}{2.82 \cdot 1422}\right)^2 \cdot \frac{1538.6}{0.3}} = 158 \text{ (мм)}.$$

Розраховуємо дійсне число між осьової відстані:

$$A = \frac{m_H (Z_{11} + Z_{12})}{2 \cos \beta} = \frac{3 \cdot (52 + 18)}{2 \cos 10^\circ} = 106 \text{ (мм)}$$

Так як отримана величина "А" менше від "А_{розр}", то приймаємо модуль m=5

Тоді:
$$A = \frac{5(52 + 18)}{2 \cos 10^\circ} = 177 \text{ (мм)}.$$

Позаяк отримана величина "А" більше від "А_{розр}" та вибране значення модуля забезпечує роботоздатність передачі за згином і контактною міцністю.

Модуль для другої передачі передшпіндельної групи з технологічних міркувань приймаємо такий же, при цьому міцність цієї передачі буде автоматично забезпечена, так як обертовий момент, що передається нею менший. Аналогічно проводиться розрахунок групи передач, які з'єднують інші вали коробки швидкостей визначаючи розрахункові моменти по мінімальному числу обертів веденого валу.

Проводимо уточнюючий розрахунок передшпіндельної пари (визначаємо конструктивні параметри зубчастих коліс).

Розраховуємо допустимі напруження. Допустиму контактну міцність $[\sigma_H]$ визначаємо по формулі [1] попередньо отримавши значення величин, необхідних для розрахунку. Границя контактної міцності поверхонь зубів згідно [1].

$$\sigma_{H.lim.B} = 18H_{HRC} + 150 = 18 \cdot 48 + 150 = 1014 \text{ МПа}.$$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо коефіцієнт безпеки $S_H=11$; коефіцієнт $Z_R=0,95$; коефіцієнт $Z_V=1$.
Базова кількість циклів навантажень $N_0=10^8$, який відповідає коефіцієнту довговічності $K_{HL}=0,9$.

Допустима контактна напруження:

$$[\sigma_H] = G_{H.lim.B} \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot K_{HL} / S_H;$$

$$[\sigma_H] = 1014 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 0,9 / 1,1 = 790 \text{ МПа}.$$

Для сталі 40Х з гартуванням СВЧ по ГОСТ 4543-71 межа текучості $\sigma_T=700 \text{ МПа}$.

Допустима максимальна контактна напруження для зубів:

$$[\sigma_F] = \sigma_{F.lim.B} \cdot K_{FL} \cdot K_{FC} / S_F;$$

$$[\sigma_F] = 580 \cdot 1 / 1,7 = 341 \text{ (МПа)}.$$

Визначаємо допустиму максимальну напругу на згині:

$$[\sigma_F]_{\max} = 0,6 \sigma_B = 0,6 \cdot 950 = 570 \text{ (МПа)};$$

де $\sigma_B=950 \text{ МПа}$ – границя міцності для найбільш навантаженої пари зачеплення.

Розрахунок здійснюємо для більш навантаженої пари зачеплення.

Приймаємо кут нахилу зубів $\beta=10^\circ 0' 4''$ ($\cos 10^\circ 0' 4''=0,98$).

Перевіримо по розрахунковій формулі: [1],

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо розрахункову контактну напругу G_H , яка викликається розрахунковим моментом T_1 . коефіцієнт Z_H визначаємо по формулі [1].

$$(\beta_b = \beta \text{ і } \alpha_w = \alpha / \cos \beta).$$

$$Z_H = \sqrt{\frac{2 \cos \beta_b}{\sin 2\alpha_w}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.98}{0.64}} = 1.75$$

Коефіцієнт $Z_m = 275 \text{ Н}^{1/2} / \text{мм}$ ([1], ст 181).

Коефіцієнт торцевого перекриття визначаємо за формолою: [1].

$$\varepsilon_\alpha = [1.88 - 3.2(1/Z_1 + 1/Z_2)] \cdot \cos \beta = [1.88 - 3.2(1/52 + 1/18)] \cdot 0.98 = 1.60.$$

$$\text{Коефіцієнт } Z_\varepsilon = \sqrt{1/\varepsilon_\alpha} = \sqrt{1/1.60} = 0.78$$

По графіку (див. [1]) коеф. $K_{H\alpha} = 1.05$; коеф. $K_{H\beta} = 1$; $K_V = 1$.

Визначаємо розрахункове контактне напруження за формолою [1].

$$G_H = Z_H \cdot Z_m \cdot Z_\varepsilon \cdot \left[\frac{U+1}{U} \right] \sqrt{\frac{10^3 \cdot T_2 \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{HV} \cdot (U+1)}{2a_3 \cdot \psi_b a}};$$

$$G_H = 1.76 \cdot 2.75 \cdot 0.78 \cdot \left[\frac{2.87+1}{1} \right] \sqrt{\frac{10^3 \cdot 15381.0511 \cdot (2.82+1)}{2.82}} = 752 \text{ Мпа}$$

Здійснюємо перевірочний розрахунок зубів коліс на згин за формолою [1].

Матеріал з якого виготовляють шестерні і колеса однакові але ширина зубів шестерні в основі менша ніж ширина зубів колеса, через це розрахунок зубів на згин здійснюємо для зубів шестерні які менш міцні на згин в порівнянні з зубами колеса. Попередню визначаємо значення величин, що необхідні для проведення розрахунків [1].

Еквівалента кількість зубів шестерні по формулі ([1], ф-ла 12,72).

$$Z_{v1} = Z_1 / \cos^3 \beta = 18 / \cos^3 10^\circ = 18.8 \text{ зуба}$$

Приймаємо $Z_{v1} = 19$ зубів.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цьому числу по графіку ([1], рис. 12,23). Відповідає коефіцієнт форми зубів шестерні $y_F=4.2$ коеф. $y_\varepsilon=1$ (див.[1], ст. 189).

Коефіцієнт $y_\beta=1-\beta/140=1-10/140=0,92$.

Ділильний діаметр d_1 і початковий d_o шестерні.

$$d_1 = d_{o1} = Z_{1m} / \cos \beta = \frac{18 \cdot 3}{\cos 10^\circ} = 54.8 \text{ мм}$$

Колова швидкість передачі:

$$g = \frac{\omega_1 \cdot d_{o1}}{2} = \frac{\pi \cdot Z_1 \cdot d_{o1}}{30 \cdot 2} = \frac{3.14 \cdot 12.5 \cdot 54.8}{30 \cdot 2} = 35.8 \text{ м/с.}$$

Для цієї швидкості ”v“ значення коефіцієнтів $K_{H\alpha}$ і K_{HV} прийнято правильно.

По графіку (див.[1], рис. 12,17). Коеф. $K_{FL}=1.05$; $K_{F\beta} \approx 1$. По (див.[1], табл. 12,5).

Коефіцієнт динамічного навантаження $K_{FV}=1.02$.

Проведемо перевірковий розрахунок зубів шестерні на згин

$$G_F = y_F \cdot y_\varepsilon \cdot y_\beta \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{FV} \left(\frac{2 \cdot 10^3 \cdot T_1}{Z_1^3 \cdot \psi_b d \cdot m^3} \right) = 4.2 \cdot 1 \cdot 0.94 \cdot 1.05 \cdot 1.02 \left(\frac{2 \cdot 10^3 \cdot 769}{18^3 \cdot 0.375 \cdot 3^3} \right) = 110 \text{ МПа}$$

$$110 \text{ МПа} < [G_F] = 3.41 \text{ МПа}$$

Визначаєм розміри зубів.

Висота головки зуба $h_a^*=1$;

Коеф. Радіального зазору $C^*=0,25$

Висота головки від залупи зубів. ([1], ф-ла 12,18).

$$h_a = h_a^* \cdot m = 1 \cdot 5 = 5 \text{ мм.}$$

Висота ніжок зубів: ([1], ф-ла 12,19).

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$hf=(ha^*+C^*)\cdot m=(1+0.25)\cdot 5=6.25\text{мм}$$

Висота зубів: ([1], ф-ла 12,20).

$$h=ha+hf=5+6.25=11.25\text{ мм}$$

Дільний діаметр d_1 , діаметер вершин і діаметер впадин d_f для шестерні :

$$d_1=54,8\text{ мм (обчислений раніше).}$$

$$d_{01}=d_1+2ha=54.8+10=64.8\text{ мм.}$$

$$d_{f1}=d_1-2hf=54.8-12.5=42.3\text{мм.}$$

для колеса:

$$d_2=z_2\cdot m/\cos\beta=52\cdot 5/\cos 10^\circ=309\text{ мм.}$$

$$d_{01}=d_1+2ha=309+10=319\text{ мм.}$$

$$d_{f2}=d_2-2hf=309-12.5=269,5\text{мм}$$

Робоча ширина зубчастого вінця :

$$b\omega=\psi ba\cdot A=0.25\cdot 177=44.25\text{мм.}$$

приймаємо $b\omega=44\text{мм.}$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3.8 Орієнтовний розрахунок конструктивних параметрів валів приводів.

Визначаємося з матеріалом вала – сталь 45. Для цієї сталі по ДСТУ 7806:2015 приймаємо :

Межа міцності при розтягу $\sigma_B=610\text{МПа}$; межа текучості $\sigma_T=360\text{МПа}$;

На самперед розраховуємо вал на статичну міцність, на дію згину та кручення, розтяг або стиск вала силами які діють на колесо

Сили, що діють на зубчастому зачепленні .

Колова сила: $F_t = \frac{2T}{d}$;

де d - ділильний діаметр:

$$d_1 = m_1 z_1 = 5 \cdot 52 = 260 \text{ мм.}$$

$$d_2 = m_2 z_2 = 5 \cdot 32 = 160 \text{ мм.}$$

$$F_{t12} = \frac{2 \cdot T_5}{d_1} = \frac{2 \cdot 769 \cdot 10^3}{260} = 5915 (H)$$

$$F_{t43} = \frac{2 \cdot T_5}{d_2} = \frac{2 \cdot 769 \cdot 10^3}{160} = 9612 (H)$$

Радіальна сила $F_r = F_t \cdot \tan \alpha$

$$F_{r12} = F_{t12} \cdot \tan \alpha = 5915 \cdot 0,36 = 2129 H$$

$$F_{r43} = F_{t43} \cdot \tan \alpha = 9612 \cdot 0,36 = 3460 H$$

Осьова сила : $F_a = F_t \cdot \tan \beta$

$$F_{a12} = F_{t12} \cdot \tan \alpha = 5915 \cdot 0,14 = 828 H$$

$$F_{a43} = F_{t43} \cdot \tan \alpha = 9612 \cdot 0,14 = 1345 H$$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо реакції опор (підшипників) вала :

$$R'_A = \frac{F_{T12}(l-a) + F_{T43} \cdot b}{l} = \frac{5915(160-40) + 9612 \cdot 40}{160} = 6839(H)$$

$$R'_B = F_{t43} + F_{t12} - R'_A = 9612 + 5915 - 6839 = 8688(H)$$

- від сили F_{12} і F_{43}

$$R''_A = \frac{F_{r12}(l-a) - F_{r43} \cdot b}{l} = \frac{2129(160-40) - 3460 \cdot 40}{160} = 731(H)$$

$$R''_B = F_{r43} - F_{r12} - R''_A = 3460 - 2129 - 731 = 600(H)$$

- від сили F_{a12} і F_{a43} :

$$\Sigma M_B = R'''_A \cdot l - F_{a12} \cdot d_1/2 + F_{r12}(l-a) + F_{a43} \cdot d_2/2 - F_{r43} \cdot b$$

Звідси:

$$R'''_A = \frac{-F_{a12} \cdot d_1/2 + F_{r12}(l-a) + F_{a43} \cdot d_2/2 - F_{r43} \cdot b}{l} = \frac{-828 \cdot 260/2 + 2129(160-40) + 1345 \cdot 160/2 - 3460 \cdot 40}{160} = 731(H)$$

$$\Sigma M_A = R'''_B \cdot l - F_{a43} \cdot d_2/2 - F_{r12}(l-b) + F_{a12} \cdot d_1/2 - F_{r12} \cdot a$$

Звідси:

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_B''' = \frac{F_{a43} \cdot d_2 / 2 + F_{r43}(l - b) - F_{a12} \cdot d_1 / 2 - F_{r12} \cdot a}{l} =$$

$$\frac{1345 \cdot 160 / 2 + 3460(160 - 40) - 828 \cdot 260 / 2 - 2129 \cdot 40}{160} = 2062(H)$$

Ці реакції розташовані в тій же площині, що і реакції опор R_A'' і R_B'' .

Визначаємо згинні моменти в січеннях I (посередині шестерні) і II (посередині ширини маточини циліндричного колеса):

-від сил F_{t12} і F_{t43} :

$$\text{в січенні I } M_I' = R_A' \cdot a = 6839 \cdot 0.04 = 273(H / m)$$

$$\text{в січенні II } M_{II}' = R_B' \cdot b = 8688 \cdot 0.04 = 347(H / m)$$

-від сил F_{r12} і F_{r43} :

$$\text{в січенні I } M_I'' = R_A'' \cdot a = 731 \cdot 0.04 = 29(H / m)$$

$$\text{в січенні II } M_{II}'' = R_B'' \cdot b = 600 \cdot 0.04 = 24(H / m)$$

- від сили F_{a12} і F_{a43} :

$$\text{в січенні I } M_I''' = R_A''' \cdot a = 731 \cdot 0.04 = 29(H / m)$$

$$\text{в січенні II } M_{II}''' = R_B''' \cdot b = 2062 \cdot 0.04 = 82(H / m)$$

- від сили R_A'''

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в січенні I $R_A^{III} (1-b)=731(0,16-0,04)=88(\text{Нм})$

-від сили R_B^{III}

в січенні II $M_{IIA}^{III} = R_B^{III} \cdot b = 2062 \cdot 0,04 = 82(\text{Нм})$

Від сили F_{T12} і F_{T43} : вал згинається в одній площині, від сили F_{r12} і F_{r43} , F_{a12} і F_{a43} -в площині перпендикулярній першій.

Визначаємо повний згинний момент:

в січенні I

$$M_I = \sqrt{(M_I')^2 + (M_I'' + M_I''')^2} = \sqrt{237^2 + (29 + 29)^2} = 279(\text{Нм})$$

в січенні II

$$M_{II} = \sqrt{(M_I')^2 + (M_{II}'' + M_{IIA}''')^2} = \sqrt{374^2 + (24 + 82)^2} = 388(\text{Нм})$$

Максимальний згинний момент

$$M = M_{II} = 388(\text{Нм}).$$

Розраховуємо вал по теорії міцності.

Визначаємо еквівалентний момент по формулі
 $[G_{3Г}] = 85 \text{ МПа}$ ([1]).

Визначаємо діаметр вала в небезпечному січенні:

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 M_{\text{екв}}}{[G_{3Г}]} } = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 393 \cdot 10^3}{85}} = 36 \text{ (мм)}$$

В січенні II нехай діаметр $d=36 \text{ (мм)}$

Діаметр вала в інших січеннях приймаємо конструктивно. Проведемо ескізне конструювання вала.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

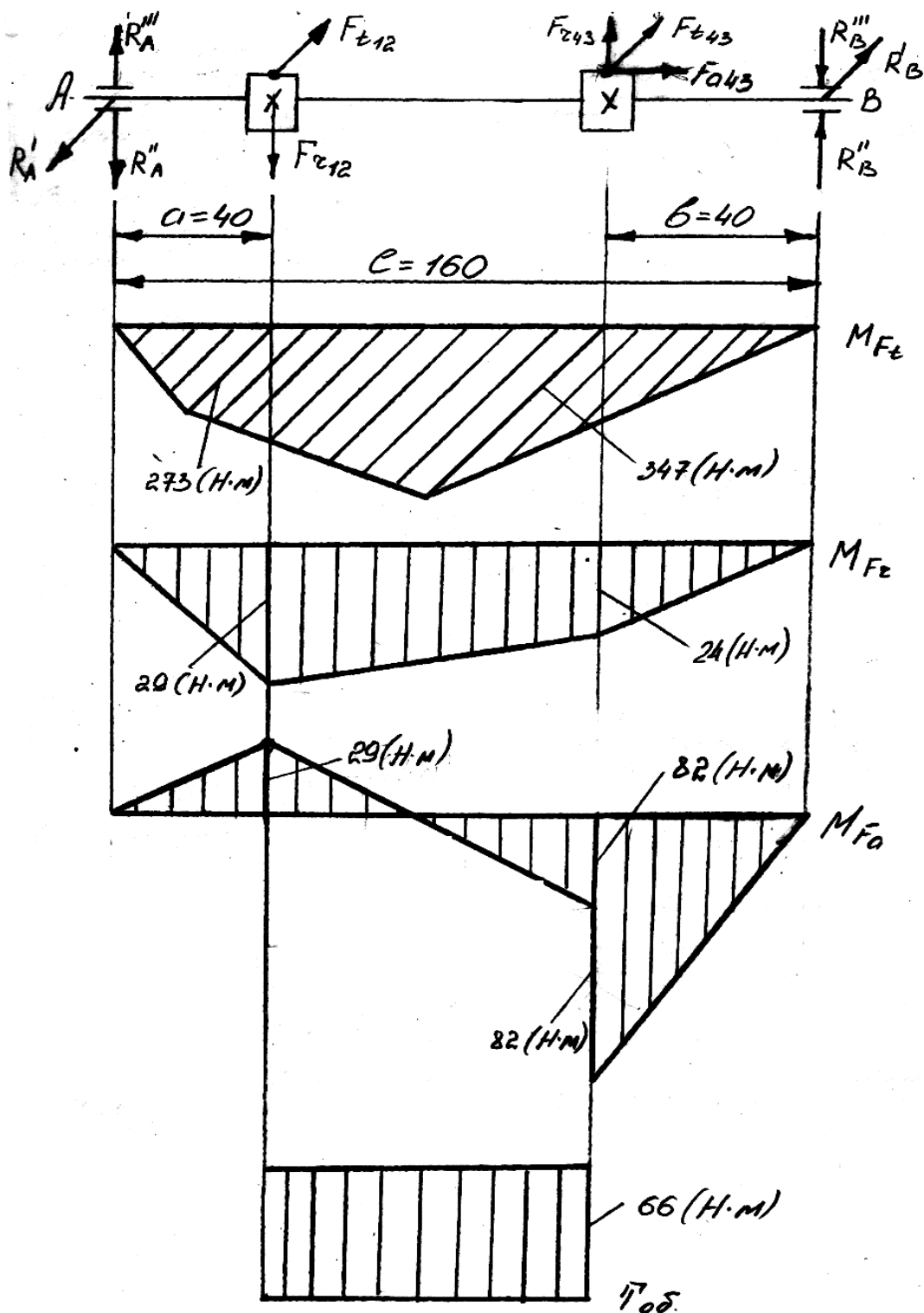


Рисунок 3.5 Схема навантаження вала та епюри згинних.

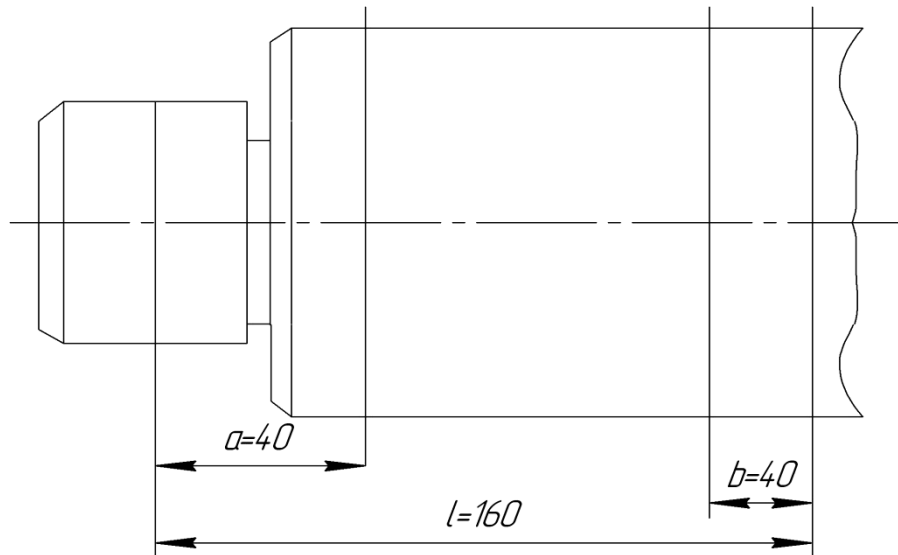


Рисунок 3.6 Ескіз вала $\varnothing=36\text{мм}$

Розраховуємо вал на опір втомі .Розрахунок виконуємо для січення I

Межа втомленості при семетричному циклі напруг :

$$G_1=0.45G_b=0.45 \cdot 610=270 \text{ (МПа)}.$$

Межа втомленості при семитричному циклі кручення

$$\tau_1=0.45G_b=0.25 \cdot 610=152 \text{ (МПа)}.$$

Ефективні коефіцієнти концентрації напруг з врахуванням форми вала (шпоночна канавка) ([1], табл. 16,2) при згині $K_{\tau\phi}=1,7$; при крученні $K_{\tau\phi}=1,4$; ([1], табл. 16,2)

Для посадочних поверхонь вала під зубчастими колесами позначаємо обточку з шороховатістю поверхні $R_z=10$. відповідно ефективні коефіцієнти концентрації напруги від стану поверхні вала (див.[1]).

$$K_{\tau n}=K_{\tau\phi}=1,08. \text{ Загальні ефективні коефіцієнти напруги:}$$

$$K_{\sigma}=K_{\tau\phi}+K_{\sigma n}-1=1,7+1,08-1=1,78$$

$$K_{\tau}=K_{\tau\phi}+K_{\tau n}-1=1,4+1,08-1=1,48.$$

Значення коефіцієнту K_{ϕ} (див.[1], ст. 271) при згині $K_{\phi}=0,88$; при крученні $K_{\phi}=0,77$. Так як для вала зміщення не потрібно, то коефіцієнт зміщення K_{ν}

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

невраховуємо. Коефіцієнт впливу асиметрії циклу напруг на міцність вала при згині (див.[1], ст. 271) $\psi_{\sigma}=0,05$ і $\psi_{\tau}=0$.

Ширина і висота шлоночної канавки у відповідності до СТ СЭВ189-75 $b=10\text{мм}$ і $t=5\text{мм}$.

Момент опору січення вала при згині в січенні I:

$$W_{\text{нето}} = \frac{\pi d^3}{32} - \frac{b \cdot t (d - t)^2}{2d} = \frac{3,14 \cdot 36^3}{32} - \frac{10 \cdot 5 (36 - 5)^2}{2 \cdot 36} = 3913 \text{ мм}^3$$

Момент опору січення вала при крученні в січенні I:

$$W_{\text{к.нето}} = \frac{\pi d^3}{16} - \frac{b \cdot t (d - t)^2}{2d} = \frac{3,14 \cdot 36^3}{16} - \frac{10 \cdot 5 (36 - 5)^2}{2 \cdot 36} = 8493 \text{ мм}^3$$

Розрахункова напруження згину в січенні I:

$$G_i = M / W_{\text{к.нето}} = 388 \cdot 10^3 / 3913 = 99,1 \text{ МПа}$$

Так як напруження згину змінюється по симетричному циклу ,то середня напруження цілу $\tau_m=0$,а амплітуда циклу при згинні $G_0=G_i=99,1 \text{ МПа}$

Розрахункова напруження на кручення в січенні I:

$$\tau_k = T_3 / W_{\text{к.нето}} = \frac{66 \cdot 10^3}{8493} = 7,77 (\text{МПа})$$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так як напруження кручення змінюється по віднольованому циклу , то амплітуда циклу при крученні і середнє напруження циклу при крученні :

$$\tau_a = \tau_m = 0.5\tau_k = 0,5 \cdot 7,77 = 3,88 (\text{МПа}).$$

Визначаємо коефіцієнт запасу міцності вала в січенні I по згину :

Визначаємо коефіцієнт запасу міцності вала в січенні I по крученні :

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1} \cdot K_d}{K_\tau \cdot \tau_a} = \frac{152 \cdot 0.77}{1.48 \cdot 3.88} = 20.38$$

Визначаємо загальний коефіцієнт запасу міцності:

$$S = \frac{1}{\sqrt{(1/S_G)^2 + (1/S_\tau)^2}} = \frac{1}{\sqrt{(1/1.34)^2 + (1/20.38)^2}} = 1.83$$

$$S = 1.83 > [S] = 1.5$$

Відповідно обчислений діаметр вала $d = 36 \text{ мм}$ розрахунком вала на статичну міцність забезпечує також його опір втомленості .

3.3.9 Розрахунок і підбір підшипників в якості опор валів приводу.

Розраховуємо і підбираємо відповідно до стандарту підшипник кочення при слідуючих даних: радіальне навантаження на підшипник $F_r = 58,7 \text{ Н}$; осьве $F_a = 22,8 \text{ Н}$; діаметр вала в місці посадки підшипника $d = 40 \text{ мм}$; кутова швидкість вала $\omega = 2,4 \text{ рад/с}$; навантаження на підшипник постійне та спокійне; температура нагріву підшипника не перевищує 60°C ; номінальна довговічність підшипника $L_h = 20000 \text{ год}$.

Так як навантаження порівняно невеликі і осьове навантаження порівняно з радіальним невелике, то вибираємо підшипник легкої серії № 205 для якого статична вантажопідйомність $C_0 = 6950 \text{ Н}$ і динамічна вантажопідйомність $C = 19800 \text{ Н}$.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо (див.[1]) коефіцієнт обертання $V=1$; коефіцієнт осьового навантаження $C=0,19$ (див.[1]). Відношення:

$F/V \cdot F_r = 22.8/1 \cdot 58.7 = 0.38 > e = 0.19$, тому відповідно коефіцієнт радіального навантаження $X=0,56$, а коефіцієнт осьового навантаження $V=2,3$.

Визначаємо (коефіцієнт) еквівалентне навантаження підшипника:

$$P = (X \cdot Y \cdot F_r + Y \cdot F_a) \cdot K_\delta \cdot K_T$$

$$P = (0.56 \cdot 1 \cdot 58.7 + 2.3 \cdot 22.8) \cdot 1 \cdot 1 = 85.3 \text{ Н}$$

Визначаємо частоту обертання кільця підшипника:

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 2.4}{3.14} = 22.9 (\text{хв}^{-1})$$

По довідниках [9] при довговічності підшипника $L_h = 20000$ год і частоті обертання кільця $n = 22,9 \text{ хв}^{-1}$ відношення $c/p = 2,78$. відповідно потрібна динамічна вантажопідйомність підшипника:

$$C = 2,78 \cdot P = 2,78 \cdot 85,3 = 237,1 (\text{Н})$$

Можна стверджувати, що вибраний підшипник відповідає вимогам, які до нього поставлено.

3.3.10.Орієнтовний розрахунок конструктивних параметрів проміжкових валів приодів.

Підбираємо матеріал вала –сталь 45.Для цієї стал по ДСТУ 7806:2015 приймаємо:межа міцності при розтягу $G_b = 610 \text{ МПа}$,межа текучості $G_T = 360 \text{ МПа}$.

Спочатку розраховуємо вал на статичну міцність на сумісну дію згину і кручення.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розтяг або стиск вала осьовою силою ,яка діє на колесо не враховуємо .

Визначаємо сили які діють в зубчастому зачепленні :

$$\text{Колова сила : } Ft = \frac{2T}{d};$$

Де d-ділительний діаметр

$$d_1 = m_1 \cdot z_1 = 2 \cdot 47 = 94 \text{ мм}$$

$$d_2 = m_2 \cdot z_2 = 2 \cdot 18 = 36 \text{ мм}$$

$$F_{t12} = \frac{2 \cdot T_v}{d_1} = \frac{2 \cdot 3.26 \cdot 10^3}{94} = 69.3 \text{ Н}$$

$$F_{t43} = \frac{2 \cdot T_v}{d_1} = \frac{2 \cdot 3.26 \cdot 10^3}{36} = 163.3 \text{ Н}$$

Радіальна сила : $F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha$

$$F_{r12} = F_{t12} \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 69.3 \cdot 0.36 = 24.9 \text{ Н}$$

$$F_{r43} = F_{t43} \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 163.3 \cdot 0.36 = 58.7 \text{ Н}$$

Осьова сила : $F_0 = F_t \cdot \operatorname{tg} \beta$.

$$F_{043} = F_{t43} \cdot \operatorname{tg} 8^\circ = 163.1 \cdot 0.14 = 22.8 \text{ Н}$$

Визначаємо реакції опор (підшипників) вала :

-від сили F_{t12} і F_{t43} :

$$R'_A = \frac{F_{t12} \cdot (l - a) - F_{r43} \cdot b}{l};$$

$$R'_A = \frac{69.3 \cdot (130 - 36) - 163.1 \cdot 32}{130} = 10 \text{ (Н)}$$

$$R'_b = F_{t43} - F_{t12} + R'_A;$$

$$R'_b = 163.1 - 69.3 + 10 = 103.8 \text{ (Н)}$$

-від сили F_{r12} і F_{r43} :

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_A'' = \frac{F_{t12} \cdot (l - a) + F_{r43} \cdot b}{l};$$

$$R_A'' = \frac{24,9 \cdot (130 - 36) + 58,7 \cdot 32}{130} = 32,4(H)$$

$$R_B'' = F_{r43} - F_{r12} - R_A'';$$

$$R_B'' = 58,7 + 24,9 - 32,4 = 51,2(H)$$

-від сили F_{043}

$$R_A''' = R_B''' = \frac{F_{043} \cdot d_3}{2 \cdot l};$$

$$R_A''' = R_B''' = \frac{22,8 \cdot 36,36}{2 \cdot 130} = 3,2(H)$$

Ці реакції розташовані в тій же половині ,що і реакції $R_A'' = R_B''$.

Визначаємо згинні моменти в січенні I (посередині ширини ступиці циліндричної шестерні) II (посередині ширини ступиці циліндричного колеса):

-від сили F_{12} і F_{43} :

В січенні I $M_I' = R_A' \cdot 0$
 $M_I' = 10 \cdot 0,036 = 0,36(H \cdot m)$

В січенні II $M_{II}' = R_B' \cdot 0$
 $M_{II}' = 103,8 \cdot 0,032 = 3,32(H \cdot m)$

-від сили F_{r12} і F_{r43}

В січенні I $M_I'' = R_A'' \cdot 0$
 $M_I'' = 3,24 \cdot 0,036 = 1,16(H \cdot m)$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В січенні II $M''_B = R''_B \cdot 0$
 $M''_B = 5.12 \cdot 0.032 = 1.64 (H \cdot m)$

-від сили F_{043}

В січенні II $M'''_I = R'''_B \cdot 0$
 $M'''_I = 3.2 \cdot 0.036 = 0.11 (H \cdot m)$

-від сили R'''_A

В січенні II $M'''_{IA} = R'''_A \cdot (l - b)$
 $M'''_{IA} = 3.2 \cdot (0.13 - 0.032) = 0.31 (H \cdot m)$

-від сили R'''_B

В січенні II $M'''_{IB} = R'''_B \cdot b$
 $M'''_{IB} = 3.2 \cdot 0.032 = 0.1 (H \cdot m)$

Від сили F_{t12} і F_{t43} вал згинається в даній площині

Від сили F_{r12} і F_{r43} ; F_{043} – в площині перпендикулярній першій :

Визначаємо повний згинний момент :

В січенні I $M_I = \sqrt{(M'_I)^2 + (M''_I + M'''_I)^2}$;
 $M_I = \sqrt{(0.36)^2 + (1.16 + 0.11)^2} = 1.32 (H \cdot m)$

В січенні II $M_I = \sqrt{(M'_I)^2 + (M''_I + M'''_I)^2}$;
 $M_I = \sqrt{(3.32)^2 + (1.16 + 0.31)^2} = 3.85 (H \cdot m)$

Максимальний згинний момент

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{II}=3.85 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Розраховуємо вал по третій теорії міцності .

Визначаємо еквівалентний момент по формулі ([1]формула 16,8).

$$M_{екв} = \sqrt{M^2 + T_{\checkmark}^2}$$

$$M_{екв} = \sqrt{(3,85)^2 + (3,26)^2} = 5,04(\text{Н} \cdot \text{м})$$

Допустима напруження на згин вала по таблиці $[G]_{зг}=85\text{МПа}$ ([1]табл 16,1).

Визначаємо діаметр вала в небезпечному перерізі

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_{екв}}{[G]_{зг}}} = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 8,32 \cdot 10^3 \cdot 5,04}{85 \cdot 8,23}} = 36(\text{мм})$$

В січенні II нехай діаметр вала $d=36\text{мм}$. Діаметр вала в інших січеннях приймемо конструктивно .Проведемо ескізне конструювання вала

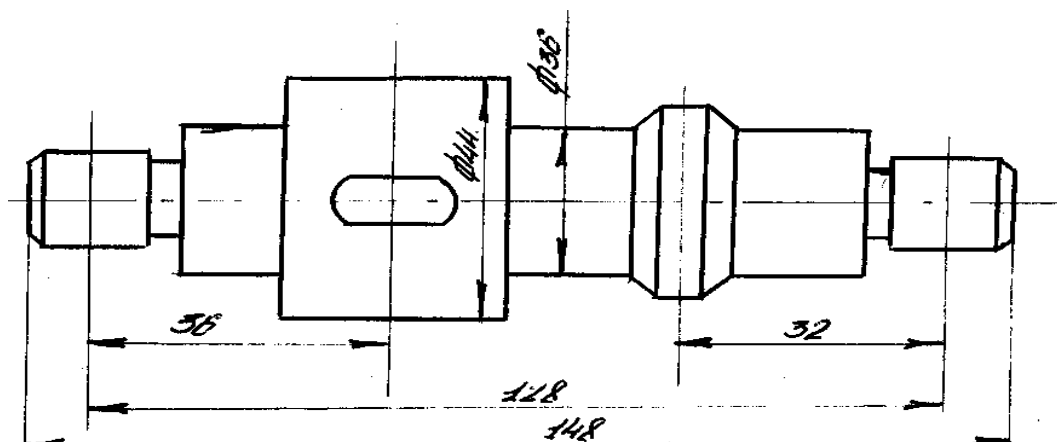


Рисунок 3.7 Ескіз вала Ø44мм.

Розраховуємо вал на опір втомленості. Розрахунок виконуємо для січення I .

Межа втомленості при симетричному циклі напруг.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

$$G_{\perp}=0.45 \cdot G_b=0.45 \cdot 610=270 \text{ МПа}$$

Межа втомленості при семетричному циклі кручення.

$$\tau_{\perp}=0.25 \cdot G_b=0.25 \cdot 610=152 \text{ МПа}$$

Ефективні коефіцієнти концепції напруг з врахуванням форми січення вала (шпоночна канавка) з таблиці : при $K_{G\phi}=1,7$; при крученні $K_{\tau\phi}=1,4$ ([1]табл 16,2).

Для посадочних поверхонь вала під зубчастими колесами призначаємо обточку з шорсткістю поверхні $R_z=10$. Відповідно ефективні коефіцієнти концентрації напруг від стану поверхні вала ([1]ст 270). $K_{G\phi}=K_{\tau\phi}=1,08$. Загальні

коефіцієнти концепції напруг

$$K_{G\phi} = K_{\tau\phi} + K_{G\phi} - 1 = 1,7 + 1,08 - 1 = 1,78.$$

$$K_{\tau\phi} = K_{\tau\phi} + K_{\tau\phi} - 1 = 1,4 + 1,08 - 1 = 1,48$$

Значення коефіцієнта K_d ([1]ст 270). при згині $K_d=0,88$; при крученні $K_d=0,77$; Так як для вала зміщення не потрібне ,то коефіцієнт зміщення не враховуємо . Коефіцієнт асиметрії циклу напруг на міцність вала при згині ([1]ст 270). $\psi_G=0.005$ і $\psi_\tau=0$.

Ширина і висота шпоночної канавки у відповідності до СТ СЭВ 189-75 $b=10$ мм і $t=5$ мм .

Моменти опору січення вала при згині в січенні I :

$$W_{ннетт} = \frac{\pi d^3}{32} - \frac{b t (d - t)^2}{2d};$$

$$W_{ннетт} = \frac{3 \cdot 14^3}{32} - \frac{10 \cdot 5 (36 - 5)^2}{2 \cdot 36} = 3910.7 (\text{мм}^3)$$

Моменти опору січення вала при крученні в січенні I :

$$W_{ннетт} = \frac{\pi d^3}{16} - \frac{b t (d - t)^2}{2d};$$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

$$W_{\text{нетто}} = \frac{3.14 \cdot 36^3}{16} - \frac{10 \cdot 5(36 - 5)^2}{2 \cdot 36} = 8488.8 (\text{мм}^3)$$

Розрахункова напруження згину в січенні І :

$$G_i = M / W_{\text{нетто}} = 3,85 \cdot 10^3 / 3910,7 = 0,98 \text{ МПа.}$$

Так як напруження згину змінюється по симетричному циклу $G_m = 0$, а амплітуда циклу при згині $G_a = G_i = 0,98 \text{ МПа.}$

Розрахункова напруження на кручення в січенні І вала.

$$T\tau_k = T_V / W_{\text{нетто}} = 3,26 \cdot 10^3 / 8488,8 = 0,38 \text{ МПа.}$$

Визначаємо коеф запасу міцності вала в січенні І по крученню:

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1} \cdot K_d}{K_\tau \cdot \tau_a} = \frac{15,2 \cdot 0,77}{1,48 \cdot 0,19} = 41,6$$

Де $\tau_a = \tau_m = 0,5 \cdot \tau_k = 0,5 \cdot 0,38 = 0,19 \text{ МПа}$ -амплітуда циклу при крученні і середня напруження циклу при крученні.

Визначаємо коеф запасу міцності вала в січенні І по згину :

$$S_\sigma = \frac{G_{-1} \cdot K_d}{K_G \cdot G_a} = \frac{270 \cdot 0,88}{1,78 \cdot 0,98} = 13,6$$

Визначаємо загальний коеф запасу міцності :

$$S = \frac{1}{\sqrt{(1/S_G)^2 + (1/S_\tau)^2}} = \frac{1}{\sqrt{(1/13,6)^2 + (1/41,6)^2}} = 12,9$$

Відповідно обчислений діаметр вала $d = 36 \text{ мм}$ розрахунок вала на статичну міцність забезпечує також його опір втомленості.

3.3.11 Розрахунок та підбір підшипників в якості опор приводу.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо і підберемо підшипник кочення при таких даних : радіальне навантаження на підшипник $F_r=58.7\text{Н}$; осьове $F_0=22.8\text{Н}$; діаметр вала в місці посадки підшипника $d=25\text{мм}$; кутова швидкість вала $\omega=2,4\text{ рад/с}$; навантаження на підшипник постійне та спокійне ;температура нагріву підшипника не перевищує 60°C ; номінальна довговічність підшипника $L_h=20000\text{год}$.

Так як навантаження на підшипник порівняно невеликі і осьове навантаження порівняно з радіальним невелике ,то вибираємо підшипник легкої серії N205 по ГОСТ 8338-75, для якого статична вантажопідйомність $C_0=6950\text{Н}$ і динамічна вантажопідйомність $C=1080\text{Н}$.

Приймаємо ([1]ст 307).коєф обертання $V=1$;коєф безпеки $K_b=1$;температур-ний коєф. $K_t=1$;

Відношенню $F_0/C_0=22,8/6950=0,0033$ відповідає коєф осьового навантаження $c=0,19$.

Відношення $F_0/V \cdot F_r=22.8/1 \cdot 58.7=0.38 > e=0.19$, тому відповідно коєф радіального биття $x=0,56$, а коєф осьового навантаження $Y=2.3$.

Визначаємо еквівалент динамічного навантаження підшипника :

$$P=(X \cdot Y \cdot F_r + Y \cdot F_0) \cdot K_b \cdot K_t;$$

$$P=(0,56 \cdot 1 \cdot 58,7 + 2,3 \cdot 22,8) \cdot 1 \cdot 1=85,3\text{Н}$$

Визначаємо частоту обертання кільця підшипника :

$$P = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 2,4}{3,14} = 22,9 (\text{хв}^{-1})$$

По довідниках (див[9]табл 15,3).придовговічності підшипника $L_h=20000\text{год}$ і частоті обертання кільця $P=22,9\text{ хв}^{-1}$ відношення $C/P=2,78$.

Відповідно потрібна динаміка вантажопідйомність підшипника :

$$C=2,78 \cdot P=2,78 \cdot 85,3=23,71\text{ Н}$$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином вибраний підшипник задовольняє вимогам ,які пред'явленні до нього.

3.3.12 Вибір потужності та типу двигуна

Визначення потужності приводів головного руху і руху подач проводиться на основі даних про величини складових сил різання для найбільш навантажених режимів роботи .

Визначаємо ефективну потужність ,яка потрібна для здійснення процесу різання.

$$N_{ef} = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 102} + \frac{P_x \cdot S \cdot n}{60 \cdot 102 \cdot 1000} ; \text{кВт.}$$

P_z, P_x -складові сили різання ,Н

v -швидкість різання,м/хв.

S -подача мм/об.

n -число обертів шпинделя об/хв.

$$N_{ef} = \frac{2458 \cdot 18,8}{60 \cdot 102} + \frac{1813 \cdot 1 \cdot 1600}{60 \cdot 102 \cdot 1000} = 7,9 \text{ кВт.}$$

По ефективну потужності різання і коефіцієнту орисної дії приймаємо потужність електродвигуна : $N_{дв} = N_{ef} / \eta$

η -к.к.д. верстату з врахуванням втрат потужності на холостому ходу $N_{х.х.}$.

$$\eta = \frac{\eta_{розр}}{1 + \frac{N_{х.х.}}{N_{еф}} \cdot \eta_{розр}} ;$$

Де $\eta_{розр}$ -розрахунковий к.к.д. верстату.

$$\eta_{розр} = \eta_{пас}^{a_1} \cdot \eta_{зп}^{a_2} \cdot \eta_n^{a_3} ;$$

Де $\eta_{пас}$ -к.к.д.пасової передачі .

$\eta_{зп}$ -к.к.д.- зубчастої передачі .

η_n -к.к.д.- підшипників.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

a_1, a_2, a_3 - відповідна кількість однотипних передач і пар підшипників.

$$\text{Отже : } \eta_{\text{розр}} = 0,96 \cdot 0,99^2 \cdot 0,997^{12} = 0,898.$$

Визначаємо втрати потужності на холостому ході за формулою:

$$N_{x.x.} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot \text{dep} \left(\Sigma n + K \cdot \frac{d_{\text{шп}}}{\text{dep}} \cdot \Pi_{\text{шп}} \right), \text{кВт.}$$

Де dep - середнє арифметичне діаметрів всіх опрних шийок валів.

$d_{\text{шп}}$ - середнє арифметичне значення діаметрів опрних шийок шпинделя.

Σn - сума частот обертання всіх проміжних валів (хв.⁻¹).

$K = 1,5 \div 2,0$ - коеф який враховує підвищені за рахунок попереднього натягу в шпindelьному вузлі .

$\Pi_{\text{шп}}$ - частота обертання шпинделя ,хв.⁻¹ .

$$N_{x.x.} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 40(1173 + 1,5 \cdot 100/40 \cdot 54) = 0,22 \text{ кВт.}$$

Знайшовши $N_{\text{еф}}$; $N_{x.x.}$; $\eta_{\text{розр}}$; можна орієнтовно визначити потужність двигуна:

$$N_{\text{іод}} = \frac{N_{\text{еф}}}{\eta} + N_{x.x.} \text{ кВт.}$$

$$\eta = \frac{0,898}{1 + \frac{0,22}{7,9} \cdot 0,898} = 0,87 \text{ кВт.}$$

$$N_{\text{дв}} = 7,9/0,87 + 0,22 = 9,3 \text{ кВт.}$$

по знайденому значенню потужності $N_{\text{дв}}$, вибираємо електродвигун найближчої більшої потужності відповідної серії і число обертів .

A02-54-4

N=10кВт

n=1440об/хв.

U_{ном}=380В

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f_{i\text{ ном}}=50\text{Гц}$$

$$I_{\text{ном}}=44\text{А}$$

$$R_c=0.34\text{ Ом}$$

$$X_l=0.43\text{ Ом}$$

$$R_p=0.12\text{ Ом}$$

$$X_2=0.25\text{ Ом}$$

$$K=2.66$$

$$\mathfrak{R}_{um} = \frac{Mx}{M_{ном}} = 2,2$$

Визначаємо швидкість ідеального холостого ходу $\omega_0=2\pi f_{i\text{ ном}}/p(1)$

$$\omega_0=2\pi \cdot 50/2=157\text{ рад/с}$$

Розраховуємо приведені значення опорів обмотки ротора та індивідуальний опір короткого замикання [6]

$$X_2' = (X_2 \cdot K)^2$$

$$X_2' = 0,25 \cdot (2,66)^2 = 1,77\text{ Ом}$$

$$R_p' = R_p \cdot K^2$$

$$R_p' = 0,12 \cdot (2,66)^2 = 0.85\text{ Ом}$$

$$X_k = X_1 + X_2$$

$$X_k = 0.43 + 1.77 = 2.2\text{ Ом}$$

Проводимо розрахунок механічної характеристики ,для цього визначаємо координати точок номінального режиму і критичного моменту [6]

$$\omega_0=\pi \Pi_{\text{ном}}/30$$

$$S_{ном} = \frac{\omega_0 - \omega_{ном}}{\omega_o}(5); \omega_{ном} 153,4\text{ рад/с.}$$

$$S_{ном} = \frac{157 - 153,4}{157} = 0,023.$$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\omega_{НОМ}} (6); \quad M_{НОМ} = \frac{1100}{153,4} = 7(H \cdot м);$$

$$M_K = \pi_M \cdot M_{НОМ} (7); \quad M_K = 22 \cdot 7 = 15,4(H \cdot м);$$

$$S = \frac{P'_p}{\sqrt{Rc^2 + X_H^2}}; (8); \quad S = \frac{0.85}{\sqrt{0.34^2 + 2.2^2}} = 0.38;$$

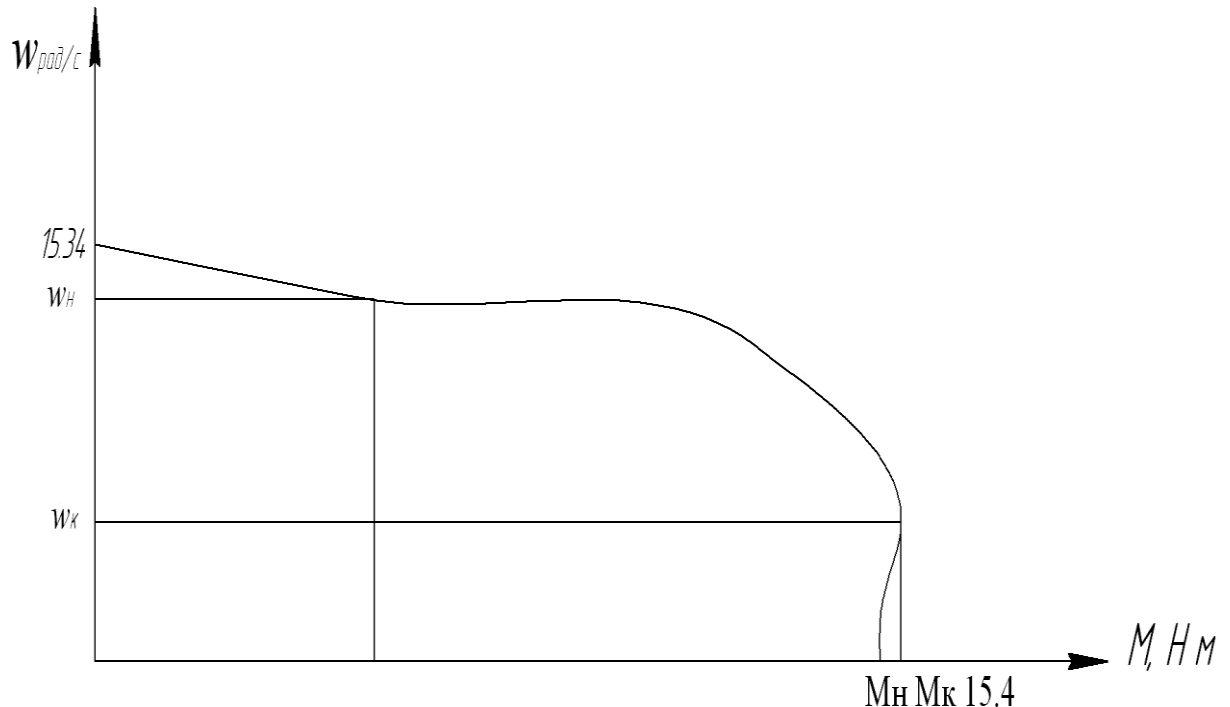
$$a = Rc/Rp; (9); \quad a = 0.34/0.85 = 0.4$$

Подальші розрахунки проводимо за формулою :

$$M = \frac{2M_K(1 + a \cdot S'_k)}{S/S_k + S_k/S + 2a \cdot S_k} = \frac{61.13}{2(S/0.38 + 0.38/S + 0.3)}; (10)$$

$$\omega = \omega_0(1-S) (11).$$

Задаючись рядом значень S визначаємо по цих формулах відповідні значення моментів.



3.4 Проектування шпиндельного вузла .

3.4.1 Розрахунок, характеристика та вимоги шпиндельного вузла.

-точність $\Delta = \Delta g / 3$ (3.4.1)

Де Δ -биття шпинделя ,мм

Δg -допуск на виготовлення деталі ,мм

$$\Delta g = 87 \text{ мкм} = 0,087 \text{ мм}$$

$$\Delta = \frac{0,87}{3} = 0,029 \text{ мм}$$

жорсткість $J \geq F / y$.

Де J -жорсткість на передньому кінці шпинделя ,н/мкм.

F -сила , прикладена до кінця шпинделя ,мкм.

- вібростійкість ,власна частота шпинделя має бути не нижче 500-600Гц.

- теплостійкість ,для верстатів нормального класу точності допустимий нагрів на зовнішньому кільці підшипника складає 70°C.

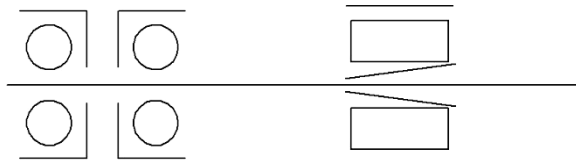
3.4.2 Компоновка шпиндельного вузла

Параметри швидкості $n \cdot d$ -в залежності від цього параметру вибираємо компоновочну схему шпиндельного вузла .

$$n \cdot d = 1000 \cdot 100 = 1 \cdot 10^5 \text{ мм.хв}^{-1}$$

Для $n \cdot d = 1 \cdot 10^5 \text{ мм.хв}^{-1}$ задовільняє люба схема шпиндельного вузла .Так як верстат використовується для токарних робіт ,то приймаємо типову схему для токарних верстатів,а саме

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$d \cdot n \leq (1.6 \div 2) \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}$$

Рисунок 3.8 Схема компоновки ШВ .

Діаметр шпинделя:

$$d = \frac{(d \cdot n)_{\text{табл}}}{P_{\text{max}}} = \frac{2 \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}}{1600 \cdot \text{хв}^{-1}} = 125 \text{ мм}.$$

Діаметр шпинделя d приймаємо $d=100$ мм/

Звідси основні конструктивні розміри шпинделя наступні :

$$d_{\Pi}=100 \text{ мм}$$

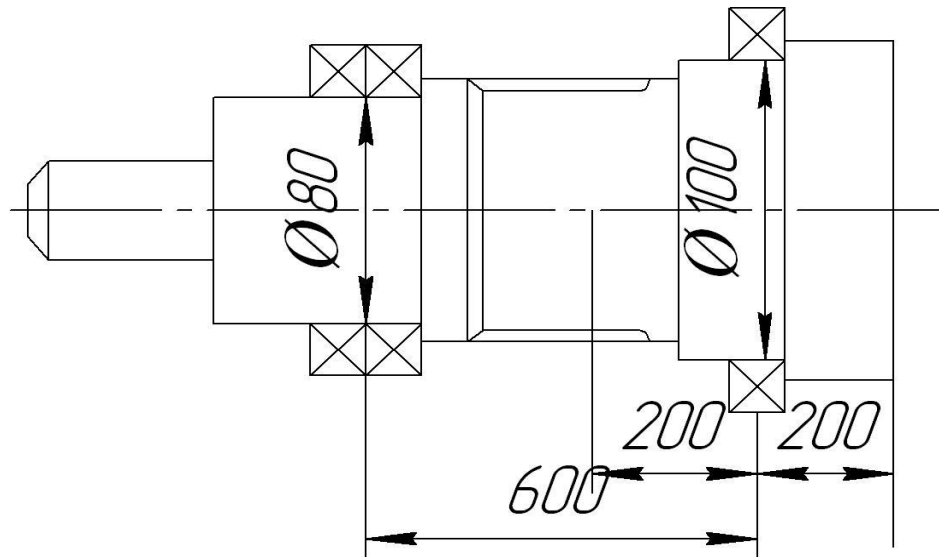
$$d_3=0,8 \cdot d_{\Pi}=0,8 \cdot 100=80 \text{ мм}$$

$$L=6 \cdot d_{\Pi}=6 \cdot 100=600 \text{ мм}$$

$$C=2 \cdot d_{\Pi}=2 \cdot 100=200 \text{ мм}$$

$$b=2 \cdot d_{\Pi}=2 \cdot 100=200 \text{ мм}$$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Риунок 3.9 Компонівка ШВ.

Розрахунок елементів

Передача крутного моменту здійснюється від циліндричної шестерні через рухоме шліцеве з'єднання. Визначаємо внутрішній діаметр шліців шпинделя по пониженим допустимим напруженням кручення.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{ш}}{\pi \cdot [\tau]_к}} \quad (4.2)$$

де $T_{ш} = T_{VI} \cdot 0.2$; $T_{VI} = 1538.6 - 0.2 \cdot 1538.6 = 1230.8$ Н·м- крутний момент на шпінделі за мінусом момента який йде на привід механізму подачі

$[\tau]_к = 25 \text{ Н/мм}^2$ [10, с.95] – допустиме напруження кручення.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 1230,8}{3,14 \cdot 25}} = 63,05 \text{ мм.}$$

По таблиці 6.11 [10] підбираємо для шпинделя шліці з внутрішнім діаметром $d_{вн} = 82 \text{ мм.}$

$$Z \times d \times D = 10 \times 82 \times 92 \text{ мм.}$$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

Ширина зуба $b=12\text{мм}$; фаска на шліці $f=0.5\text{мм}$. Проведемо перевірковий розрахунок для шліцевої ділянки :

Матеріал для шпинделя приймаємо сталь 40ХН, термообробка покращення, границя витривалості $G_b=930\text{Н/мм}^2$ -табл 3.3[10].

Границя витривалості при симетричному циклі згину :

$$G_{-1}=0.43 \cdot G_b=0.43 \cdot 930=399.9\text{Н/мм}^2$$

Границя витривалості при симетричному циклі дотичних напружень :

$$T_{\tau-1}=0.58 \cdot G_{-1}=0.58 \cdot 399.9=231\text{Н/мм}^2.$$

Момент опору січення шліцевої ділянки шпинделя рівний :

$$W_k = \frac{\pi d^4 + b(D-d)(D-d)^2 \cdot Z}{16 \cdot D} \quad (4.3)$$

$$W_k = \frac{3.14 \cdot 82^4 + 12(92-82)98+82)^2 \cdot 10}{16 \cdot 92} = 24.7 \cdot 10^3 \text{ мм}^3.$$

Амплітуда і середнє значення циклу дотичних напружень :

$$\tau_m = \tau_T = \frac{\tau_{\max}}{2} = \frac{T_u}{2 \cdot W_k} = \frac{1538.6 \cdot 10^3}{2 \cdot 24.7 \cdot 10^3} = 31.14 \text{ Н / мм}^2$$

Коефіцієнт запасу міцності :

$$n = \frac{\tau - 1}{\frac{K_\tau \cdot \tau_v}{\epsilon_\tau} + \psi_\tau \cdot \tau_m}; \quad (4.4)$$

Де $K_\tau=1.65$ з табл 6.6[10] –ефективний коефіцієнт концентрації дотичних напружень на шліцевій ділянці шпинделя.

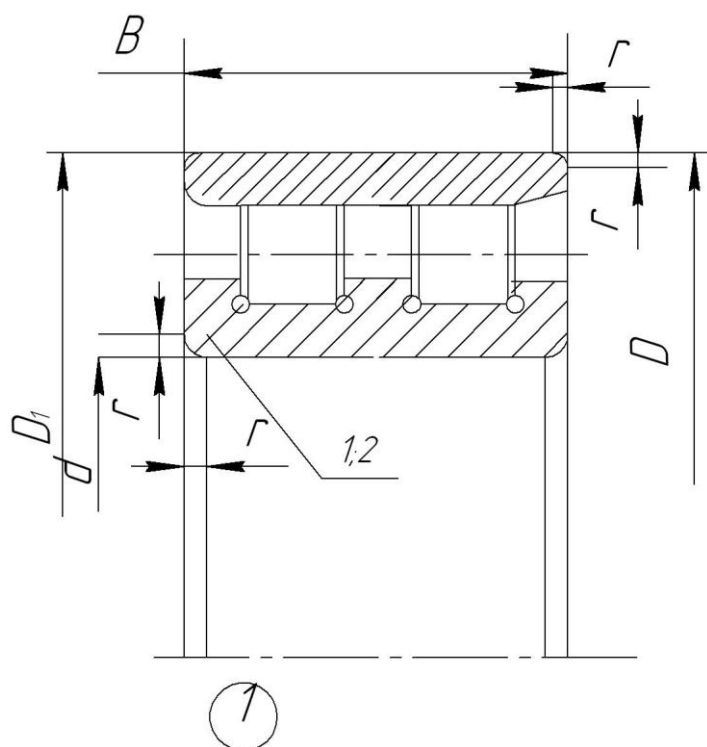
$\epsilon_\tau=0.83$ з табл 6.8[10] –масштабний фактор для дотичних напружень
 $\psi_\tau=0.1[10, \text{с.100}]$ –коефіцієнт чутливості матеріалу.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

$$\text{тоді } n = \frac{231}{\frac{1,65}{0,83} \cdot 31,14 + 0,1 \cdot 31,14} = 3,5$$

3.4.3 Характеристика елементів ШВ.

Опори кочення



d=100 мм

Ролики $D_w=11\text{мм}$

D=150мм

l=11мм

B=37мм

Z=30

r=2.2мм

C=116000H

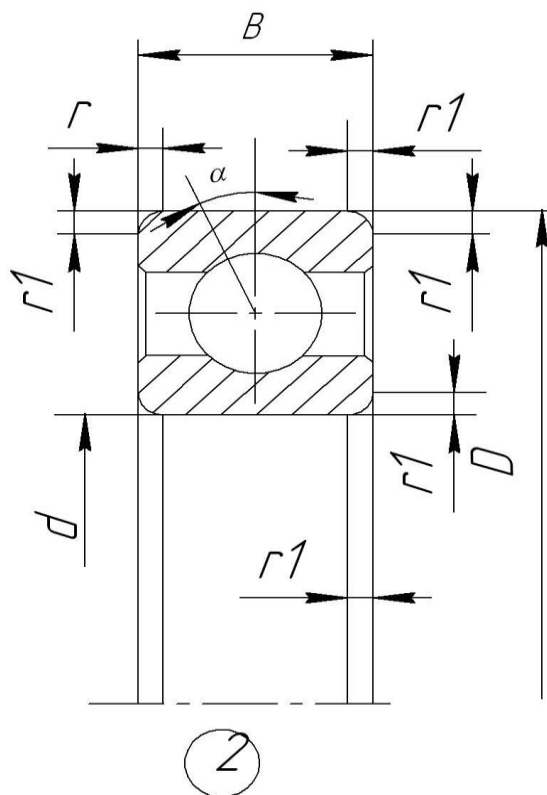
$D_1=137\text{мм}$

$C_0=128000\text{H}$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

$\Pi_{\text{гран, об/хв. при змазці: пластичний -315 ; рідкій-400}}$

Маса=2,19 кг



$d=80$ мм Кульки $D_w=19,05$ мм

$D=140$ мм

$B=26$ мм

$Z=15$

$r=3,0$ мм

$C=68900$ Н

$r=1,5$ мм

$C_0=61200$ Н

$\Pi_{\text{гран, об/хв. при змазці:}}$.

пластичний -4000 ; рідкій-5000

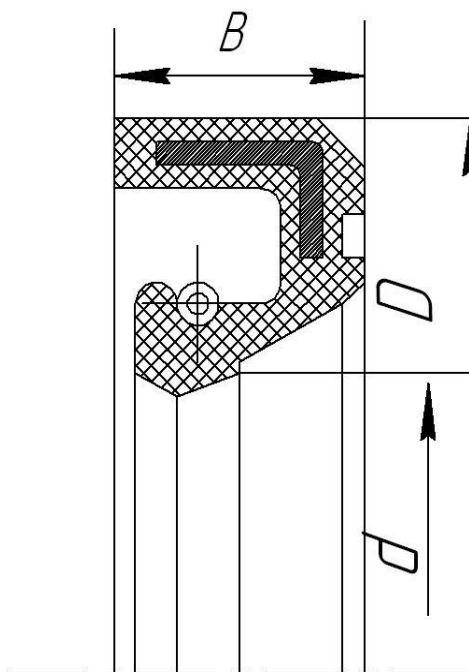
Маса=1,68 кг

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

1-роликовий підшипник радіальний двохрядний з короткими циліндричними роликами № 3182120.

2-шариковий підшипник радіально – упорний однорядний №46216.

Система ущільнень.



Гумове армоване ущільнення з пружиною .

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

3.4.4 Розрахунок оптимальної міжосьової відстані між опорами вузла.

3.4.4.1 Розрахункова схема.

Конструктивна схема [2].

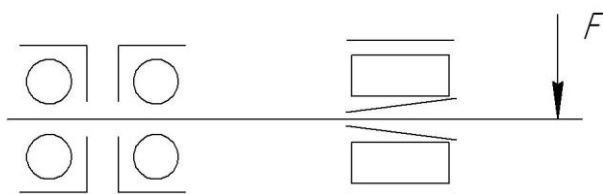


Рисунок 3.10. Конструктивна схема.

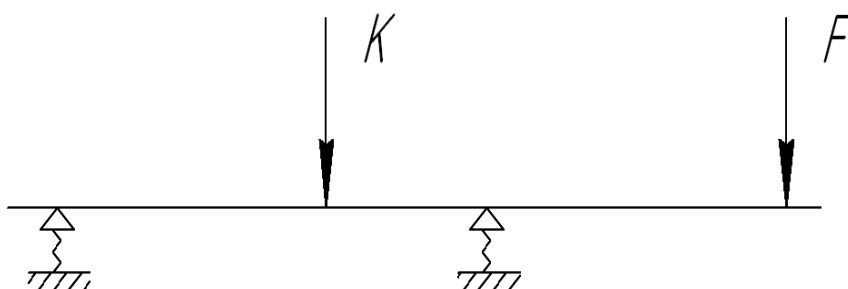


Рисунок 3.11 Розрахункова схема

3.4.4.2 Методика розрахунку

Конструктивні параметри шпindelного вузла в значній мірі впливають на його жорсткість. Рациональний вибір цих параметрів дозволяє отримати оптимальні жорсткі характеристики вузла. При наближених проектних

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

розрахунках шпинделя його замінюють балкою на двох опорах з силою F , прикладеній на консолі, тобто на відстані «С» від середини передньої опори (рис 4.5).

Радіальну деформацію робочого кінця шпинделя можна представити у вигляді:

$$Y = Y_{\text{шп}} + Y_{\text{оп}} + Y_{\text{сдв}} \quad (4.5).$$

Де $Y_{\text{шп}}$ - переміщення, обумовлене згином тіла шпинделя;

$Y_{\text{оп}}$ - деформація кінця шпинделя, обумовлена податливістю опор;

$Y_{\text{сдв}}$ - зміщення, викликане зсувом від дії поперечної сили.

Нехтуючи зсувними деформаціями $Y_{\text{сдв}}$, які не перевищують (0,03...0,06) у, використовуємо відомі залежності з курсу «Опір матеріалів», отже, звідси можна записати:

$$Y = \frac{F \cdot C^2}{3E} \left[\frac{C}{I_2} + \frac{L(1 - \xi_3)}{I_1} + F \left(K_1 \left[\frac{C(1 - \xi_3) + L}{L} \right]^2 + K_2 [1 - \xi_3] \cdot \frac{C^2}{L^2} \right) \right] \quad (4.6)$$

де E - модуль пружності матеріалу шпинделя;

I_1 і I_2 - осьовий момент інерції січення шпинделя відповідно на робочому кінці між опорами;

K_1, K_2 - податливість, відповідно передньої і задньої опор шпинделя;

ξ_3 - коефіцієнт, враховуючий наявність в передній опорі зацімлюючого моменту. Відповідно загальна податливість ШВ.

$$K = \frac{C^2}{3E} \left(\frac{C}{I_2} + \frac{L(1 - \xi_3)}{I_1} + K_1 \right) \left(\frac{C(1 - \xi_3) + L}{L} \right)^2 + K_2 (1 - \xi) \left(\frac{C}{L} \right)^2; \quad (4.7)$$

Після вибору діаметру D шийки шпинделя і попередньої ескізної проробки шпинделя оптимізують між опорну відстань L

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крива загальної податливості $K(L)$ має екстремум. Виходячи з критерію максимальної жорсткості (мінімальної податливості), рівняння диференціюють по L і прирівнюють до нуля.

$$\frac{dK}{dl} = 0.$$

В результаті дістанемо алгебраїчні рівняння третього порядку для визначення L_{onm} :

$$l^3 - \left(\frac{6EI_1 K_1}{C} \cdot l + 6EI_1 (K_1 [1 - \xi_3] + K_2) \right) = 0;$$

Рівняння розв'язують за допомогою формули Кордачо або приближеним графічним методом. При призначенні міжопорної відстані враховують його вплив на точність обертання шпинделя, тому виходячи з критерію мінімального радіального биття попереднього кінця шпинделя розміри міжопорної відстані оптимізують умовою:

$$l_{onm} \geq 2.5c.$$

Приведена методика використовується при складанні алгоритмі програми визначення оптимальної міжопорної відстані ШВ.

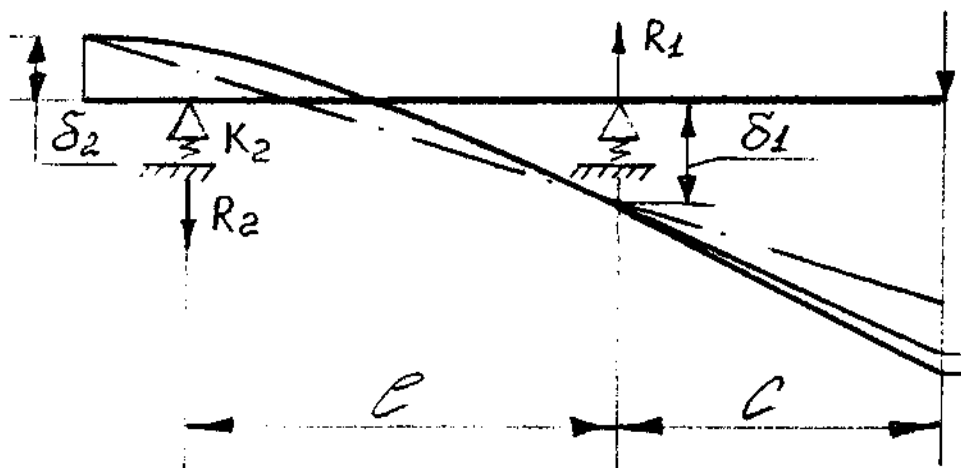


Рисунок 3.12 Розрахункова схема

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

Таблиця 3.4.1. Вихідні дані.

Ідентифікація	Позначення величини	Розмірність	Значення	Найменування величини
Вихідні дані				
DM	D	мм	92	Діаметр шпинделя в між опорній частині
DOT	dom	мм	52	Діаметр отвору в шпинделі
DK	dk	мм		Діаметр кінця шпинделя
EPR	E	Н/мм ²	2,1E5	Модуль пружності
POD 1	K1	мм/Н	0,82E-6	Податливість передньої опори
POD 2	K2	мм/Н	2,08E-6	Податливість задньої опори
C	C	мм	200	Виліт робочого кінця шпинделя
ES	ξ_3	-	0,2	Коефіцієнт защемлення передньої опори

3.4.4.3 Результати розрахунку

Розрахункова міжосьова відстань

$$RASDL=150,80140$$

Оптимальна між опорна відстань в міліметрах

$$OPDL=562.50000$$

Жорсткість шпиндельного вузла, Н/мм

$$YSP=0.44094E+0.4$$

Виходячи з конструктивних міркувань приймаємо міжопорну відстань $L=600\text{мм}$ і використовуємо її для подальшого конструктивного силового розрахунку.

Розрахунок кінця шпинделя .

Методика розрахунку .

Для забезпечення точності обертання шпинделя рекомендується проводити перевірочну оцінку пружних деформацій робочого кінця шпинделя в наслідок власної податливості. При цьому допускають, що шпиндель представляє собою балку з консоллю на двох шарнірних опорах. Вигляд розрахункової схеми залежить від типу опор. Для відповідної схеми визначають характери стики жорсткості, які порівнюють з допустимими:

$$Y < [Y] \text{ і } Q < [Q],$$

Де Y – деформація робочого кінця шпинделя під дією розрахункових зусиль

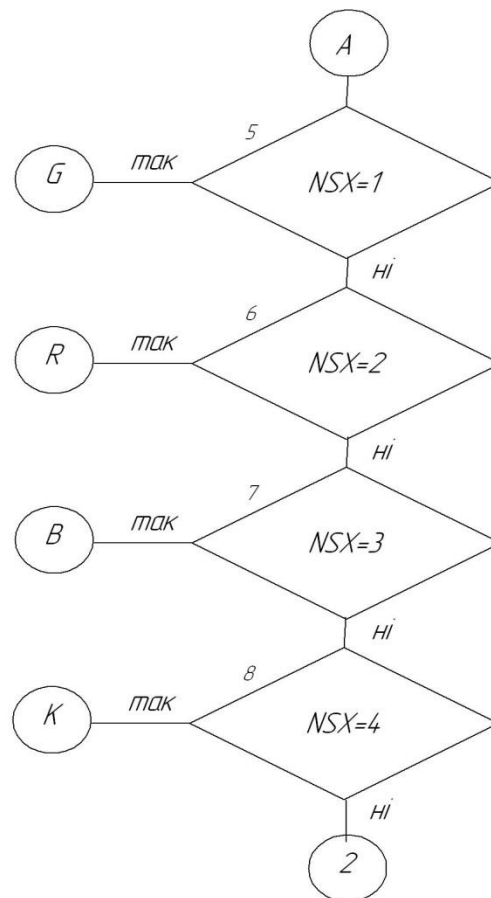
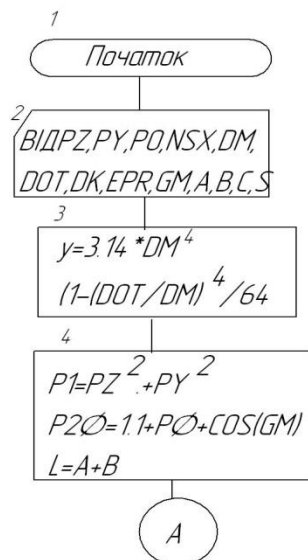
Q – кут повороту вісі шпинделя в передній опорі.

Допустимі значення цих величин:

$$[y] \leq 1/3\sigma \text{ або } [y] \leq (0,001 \dots 0,0002)l; [Q] \leq 0.001 \text{ рад.}$$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Де σ – допуск на биття переднього кінця шпинделя згідно стандарту або технічному завданню на проектування



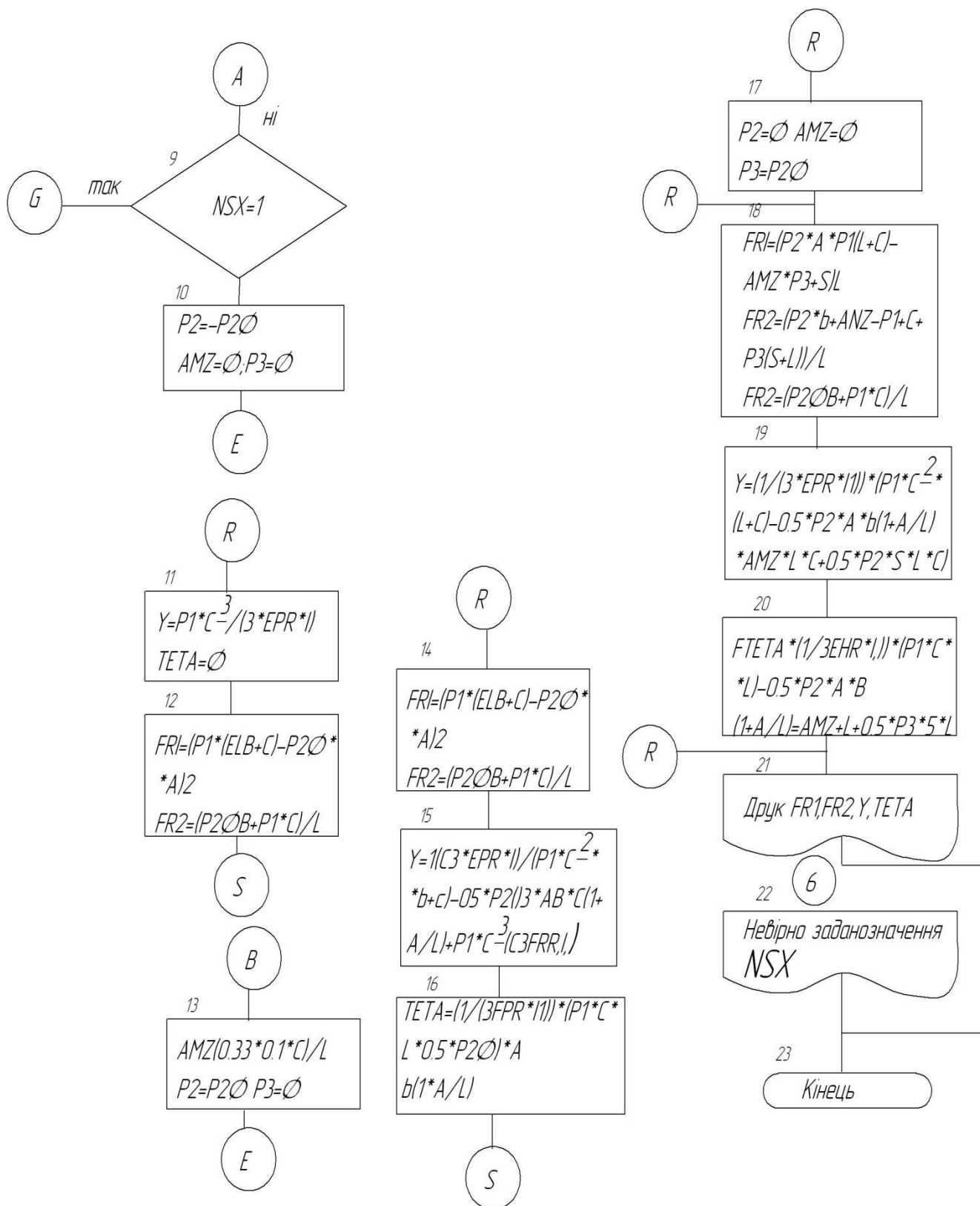


Рисунок 3.13 Блок-схема розрахунку кінця шпинделя .

Таблиця 3.6. Вихідні дані

Ідентифікація	Позначення величини	Розмірність	Значення	Найменування величини
Вихідні дані				
PZ	Pz	H	2458	Складова зусилля
PY	P _y	H	1010	різання
PO	P _o	H	960	Кругове зусилля
DM	Dm	мм	60	Діаметр кінця шпинделя
DOT	Domb	мм	50	Діаметр отвору в шпинделі
DK	Dk	мм	80	Діаметр шпинделяміжопорами
FPR	E	H/мм ²	2,1E5	Модуль пружності матеріалу шпинделя
GM	Σm	рад	0	Кут між силами різання і круговою
A	A	мм	400	
B	B	мм	200	
C	C	мм	200	
S	S	мм	50	

Результати розрахунку

Реакції в передній опорі, в Н

FR1=2846.55H

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

Реакції в задній опорі, в Н

$$FR2=-1234,1389$$

Прогин кінця шпинделя, в мм.

$$y=0,011303$$

Значення прогину задовільняє граничним умовам:

$$y=0,011 < [y]=0.02$$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Характеристика ділянки з точки зору охорони праці та заходи по покращенню умов праці

На спроектованій ділянці проводиться механічна обробка деталі «Корпус прихвату гідравлічного». Згідно проектного технологічного процесу механічної обробки деталі «Корпус» На ділянці розміщені:

1. Токарно – гвинторізний 1А616 – 1 шт;
2. Вертикально – свердлильний 2Н135 – 1 шт;
3. Токарно – гвинторізний 16Б16П – 1 шт;
4. Вертикально – свердлильний 2Н118 – 1 шт;
5. Фрезерний з ЧПК 6Т13Ф3 – 1 шт.

Промислове підприємство на якому розташована спроектована ділянка згідно стандартних норм відноситься до IV класу, якому відповідає ширина санітарно-захисної 100м. Всі виробничі будівлі підприємства розміщені на його території по ходу виробничого процесу, при цьому вони згруповані з врахуванням санітарних, протипожежних вимог, а також з врахуванням споживання електроенергії, руху транспортних та людських потоків.

Висота приміщення ділянки 4,5м., ширина виходу з приміщення 1,2м., а висота 2,2м. Ширина основних проходів всередині ділянки 1,5м., а ширина проїздів 2,5м. Двері, що ведуть безпосередньо назовні, обладнані тамбуром (повітряними завісами).

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Рісний В.В.				Літ.		Арк.		Аркушів	
Розроб.		Турта Т.І.						106		14	
Перевір.		Кобельник В.Р.			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці		ТНТУ, МВ-41 Тернопіль				
Н. Контр.		Кобельник В.Р.									
Затверд.		Крупа В.В.									

Дільниця спроектована згідно вимог до будівель виробничого призначення таким чином, що є можливість реконструкції та технічного переоснащення виробництва, зміни технологічних процесів та переходу на нові види продукції. Будівля, в якій розміщена дільниця відноситься до категорії робіт Іа, для якої ступінь вогнестійкості ІІа.

На дільниці з метою запобігання травматизму застосовується попереджувальне фарбування будівельних конструкцій та знаки безпеки.

Для обробки та захисту внутрішніх поверхонь дільниці від дії вогню використовується олійна фарба, що допускає миття поверхонь.

Підлога дільниці зносостійка, вогнестійка, не слизька, щільна. Через неї в інші приміщення не повинні проникати, вода, мастила шкідливі речовини, гази. Покриття підлоги вибрано у відповідності.

Порядок розташування устаткування і відстані між верстатами визначені розмірами верстатів, технологічними вимогами і вимогами техніки безпеки. До устаткування, що має електропривід передбачений вільний прохід з усіх сторін шириною 1м зі сторони робочої зони і 0,6м - зі сторони неробочої зони, технологічне устаткування розміщене таким чином, що забезпечується потоковість виробничого процесу, розміщення технологічного устаткування, проходів та проїздів гарантує зручність та безпеку праці, можливість монтажу, демонтажу, та ремонту устаткування. На робочих місцях передбачена площа, на якій розміщуються стелажі, тара, столи.

Система управління охороною праці це сукупність органів управління підприємством, які на підставі комплексу нормативної документації проводять цілеспрямовану, планомірну діяльність щодо здійснення завдань і функцій управління з метою забезпечення здорових та безпечних і високопродуктивних умов праці. Згідно з Законом України «Про охорону праці» (ст.23) на підприємстві створена служба охорони праці, яка підпорядковується безпосередньо керівникові підприємства та вирішує наступні завдання:

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечення безпеки виробничих процесів, устаткування, будівель та споруд; забезпечення працівників засобами індивідуального та колективного захисту; професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці, пропаганди безпечних методів праці; вибору оптимальних режимів праці і відпочинку працівників; професійного добору виконавців для визначення видів робіт. Служба охорони праці на дільниці підпорядкована інженеру з охорони праці, який має вищу освіту та стаж роботи за профілем виробництва більше трьох років.

Умови праці на дільниці відповідають нормативним та відносяться до категорії допустимих. На кожному робочому місці є інструкція з техніки безпеки та вся нормативна документація.

Згідно з ДНАОП 0.00-4.12.99 «Типове положення про навчання з питань охорони праці» усі працівники при прийнятті на роботу і в процесі роботи проходять на підприємстві, в склад якого входить спроектована дільниця інструктаж з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, з правил поведінки при аваріях. Форми навчання на підприємстві: інструктажі (увідні, первинні інструктажі на робочому місці, позапланові, цільові), технічні мінімуми, спеціальне навчання, навчання (перевірка знань) посадових осіб, підвищення кваліфікації.

Всі робочі місця на дільниці атестовані.

Мікрокліматичні умови праці на ділянці:

- температура повітря: в холодний період року для категорії робіт Па $t = (18 \dots 20)^\circ\text{C}$; в теплий $t = (21 \dots 23)^\circ\text{C}$;
- відносна вологість повітря $\Theta = (40 \dots 60)\%$;
- барометричний тиск $P = (0,9 \dots 1,06) \cdot 10^{-5}$ Па;
- швидкість руху повітря в холодний період року $V_x = 0,1 \dots 0,2$ м/с. в теплий період року $V_t = 0,3$ м/с;
- інтенсивність теплового опромінення поверхонь технологічного обладнання, освітлених установок складає до 50 Вт/м^2 .

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

При проектуванні на ділянці організованої природної та штучної загально обмінної вентиляції враховані розрахункові параметри зовнішнього повітря міста Тернополя. Для компенсації втрат тепла на ділянці спроектована центральна водяна система опалення низького тиску.

На спроектованій ділянці передбачене природне (двостороннє бокове освітлення при ширині вікон 4,5м., висоті підвіконника 1,5м.) та штучне комбіноване освітлення. Штучне освітлення передбачається як на даній ділянці так і у побутових приміщеннях для компенсації нестачі природного світла та для освітлення приміщень у темні період доби. Загальне освітлення відповідає вимогам (становить $E_p=300\text{лк.}$; евакуаційне освітлення $E_{ев}=0,5\text{лк}$, аварійне освітлення $E_{ав}=2\text{лк}$ в середині приміщення, та $E_{ав}=1\text{лк}$ на території, охоронне освітлення $E=0,5\text{лк}$ на рівні землі). Місцеве освітлення забезпечується лампами розжарювання. Застосування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму та професійних захворювань.

Джерелом штучного освітлення є газорозрядні лампи високого тиску типу ДРЛ, при цьому використовують світильники переважно прямого світла. Для спроектованої ділянці використані лампи ДРЛ-80.

На спроектованій ділянці параметри шуму та вібрацій на робочих місцях, що виникають при експлуатації технологічного оснащення.

Для забезпечення електробезпеки на ділянці по виготовленню деталі «Корпус пригату гідравлічного» все технологічне обладнання заземлене, використане контурне заземлення. Захист від прямих ударів блискавок та вторинного прояву атмосферної електрики забезпечено влаштуванням блискавковідводів та заземленням обладнання, яке знаходиться на ділянці. Захист будівлі від прямих ударів блискавок виконано окремо розташованими стержневими (тросовими) блискавковідводами, які встановлені на будівлі. На ділянці заземлювачі захисного заземлення технологічного обладнання об'єднані з захистом від прямого удару блискавок.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно ОНТП 24-86 дільниця по виготовленню деталі «Корпус прихвату гідравлічного» за вибухопожежною та пожежною безпекою відноситься до категорії Д. На підприємстві та передбачено систему протипожежного водопостачання. Протипожежний водогін об'єднаний з виробничим водогоном. Втрати води на гасіння пожежі для спринклерних установок, внутрішніх пожежних кранів та зовнішніх гідрантів прийнято відповідно з вимогами «Інструкції з проектування установок автоматичного пожежогасіння». Водопожежне постачання розраховано на тривалість гасіння пожежі – 2 год., при цьому прийнято протипожежний водогін низького тиску.

На дільниці на випадок пожежі передбачена евакуація людей через евакуаційні виходи, які розташовані розсосереджено. Спроектовано два евакуаційні виходи безпосередньо через коридор назовні.

Для ліквідації невеликих осередків пожеж, а також для гасіння пожеж у початковій стадії їхнього розвитку силами персоналу об'єкта, на дільниці передбачені первинні засоби пожежогасіння. Згідно «Правил пожежної безпеки в Україні» на дільник встановлений щит, до комплекту якого входять: ящик з піском місткістю 0,5 м³, який укомплектований совковою лопатою; протипожежні покривала, виготовлені з негорючого теплоізоляційного полотна розміром 2×2 м. – 2 шт., вогнегасники вуглекислотні типу ВВ-5 – 2 шт., порошкові типу ВПУ-2 – 1 шт., гаки – 3 шт., лом – 2 шт., сокири – 2 шт.

Для своєчасного виявлення ознак займання на дільниці передбачена пожежна сигналізація – електрична типу ЕПС променева. На даній дільниці встановлено не адресований пожежний сповіщувач.

Для покращення стану охорони праці та умов роботи на спроектованій дільниці по виготовленню деталі «Корпус прихвату гідравлічного» пропонується:

— внести зміни в технологічний процес механічної обробки деталі механізуючи та автоматизуючи виробничий процес завдяки впровадженню

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110

верстатів-напівавтоматів замість універсального-обладнання. Це дозволить не лише збільшити продуктивність праці і зменшити трудомісткість виробничого процесу (обробка проводиться напівавтоматичному циклі), а й покращити умови праці. Застосування цих верстатів дозволяє зменшити допоміжні ручні рухи на 80% , що виключає постійне знаходження оператора, який обслуговує верстат в робочій зоні під час обробки деталі. Цей фактор зменшує можливість травматизму на робочому місці;

- повести зміну обладнання;
- провести атестацію нових робочих місць.

4.2 Розрахунок захисного заземлення

Вихідні данні:

1) захищуваний об'єкт – обладнання механічного цеху (4 верстати, площа ділянки 35,2 м²);

2) захищуваний об'єкт – стаціонарний;

3) напруга мережі – 380 В;

4) виконання мережі – з глухозаземленою нейтраллю;

5) тип заземлювального пристрою – вертикальний;

6) розміри вертикальних заземлювачів:

– довжина $l_g = 2\text{м}$;

– діаметр прутка $d = 0,04\text{м}$;

7) відношення відстані між трубами до їхньої довжини $l_g/L_g = 1$;

8) розміри горизонтального заземлювача (з'єднувальної стрічки):

– довжина $L_r = L_{з.с.}$ – визначається при розрахунку;

– ширина стрічки $b_c = 0,035\text{м}$;

9) глибина закладання вертикальних заземлювачів $h_g = 0,55\text{м}$,
горизонтальних $h_r = 0\text{м}$;

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

10) розташування заземлювачів попередньо приймають за чотирикутним контуром при числі стержнів від 4 до 100 та в один ряд при числі стержнів від 2 до 20;

11) ґрунт – суглинок; склад – однорідний; вологість – мала; агресивність – нормальна;

12) кліматична зона – I I.

1. Визначаємо характеристику навколишнього середовища в опоряджувальному цеху: за пожежною небезпекою згідно з ПУЕ воно відноситься до класу П – I I; за вибухонебезпечністю згідно з ПУЕ – до класу В – I; за ступенем ураження електричним струмом – без підвищеної небезпеки.

2. Визначаємо R_d – допустиме (нормативне) значення опору розтіканню струму в заземлювальному пристрої. За таблицею 7.1 [16] приймаємо $R_d = 4$ Ом.

3. Визначаємо $p_{табл}$ – приблизне значення питомого опору ґрунту, що рекомендується для розрахунку. За таблицею 7.2 [16] приймаємо $p_{табл} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

4. Визначаємо $K_{с.в.}$ - коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів для даної кліматичної зони I I. За таблицею 7.4 [16] приймаємо $K_{с.в.} = 1,3$.

5. Визначаємо $K_{с.г.}$ - коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача згідно з кліматичною зоною. За таблицею 7.4 [16] приймаємо $K_{с.г.} = 3,5$.

6. Визначаємо $p_{розн.в.}$ - розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних заземлювачів:

$$p_{розн.в.} = p_{табл} \cdot K_{с.в.} \quad (4.1)$$

де $p_{табл}$ - приблизне значення питомого опору ґрунту;

$K_{с.в.}$ - коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача згідно з кліматичною зоною.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

$$p_{розр.в} = 100 * 1,3 = 130 (Ом * м)$$

7. Визначаємо $p_{розр.г}$ - розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних заземлювачів:

$$p_{розр.г} = p_{табл} * K_{с.г} \quad (4.2)$$

де $K_{с.г}$ - коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача згідно з кліматичною зоною.

$$p_{розр.г} = 100 * 3,5 = 350 \text{ Ом} * \text{м}$$

8. Визначаємо t – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача (рисунок 5.1):

$$t = h_{в} \frac{l_{в}}{2} \quad (4.3)$$

де $h_{в}$ – глибина закладання вертикальних заземлювачів;

$\frac{l_{в}}{2}$ - довжина заземлювача.

$$t = 0,55 \frac{2}{2} = 0,55 \text{ м}$$

9. Визначаємо $R_{в}$ – опір розтіканню струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_{в} = \frac{p_{розп.в}}{2\pi l_{в}} \ln \frac{4l_{в}}{d} \quad (4.4)$$

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						113
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $p_{розр.в.}$ - розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних заземлювачів;

l_B – довжина заземлювача.

$$R_B = \frac{130}{2\pi \cdot 3,5} \ln \frac{4 \times 2}{0,04} = 31,33 \text{ Ом}$$

Приймаємо 32 Ом.

10. Визначаємо $\eta_{т.в.}$ - теоретична кількість вертикальних заземлювачів без врахування коефіцієнта використання $\eta_{в.в.}$, тобто $\eta_{в.в.}=1$:

$$\eta_{т.в.} = \frac{R_B}{R_d \eta_{в.в.}} \quad (4.5)$$

де R_B – опір розтіканню струму в одному вертикальному заземлювачі;
 R_d – допустиме (нормативне) значення опору розтіканню струму в заземлювальному пристрої.

$$\eta_{т.в.} = \frac{32}{4 \times 1} = 8 \text{ шт}$$

Приймаємо 8 штук.

11. Визначаємо $\eta_{в.в.}$ - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів при розташуванні їх згідно з вихідними даними або за чотирикутним контуром при кількості заземлювачів $\eta_{т.в.}=9шт$ та при відношенні $L_{\phi}/l_{\phi}=1$. За таблицею 7.5 [16] С. 262 приймаємо $\eta_{в.в.}=0,59$.

12. Визначаємо $\eta_{н.в.}$ - необхідна кількість, шт., вертикальних однакових заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання:

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						114
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta_{н.в} = \frac{R_B}{R_d \eta_{в.в}} \quad (4.6)$$

де R_B – опір розтіканню струму в одному вертикальному заземлювачі;
 R_d – допустиме (нормативне) значення опору розтіканню струму в заземлювальній пристрої;

$\eta_{в.в}$ - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів при розташуванні їх згідно з вихідними даними.

$$\eta_{н.в} = \frac{32}{4 \times 0,59} = 13,56 \text{ шт}$$

Приймаємо 14 штук.

13. Визначаємо $R_{розр.в}$ - розрахунковий опір, Ом, розтіканню струму у вертикальних заземлювачах при $\eta_{н.в.} = 15 \text{ шт}$ без врахування з'єднувальної стрічки:

$$R_{розр.в} = \frac{R_B}{\eta_{н.в} \times \eta_{в.в}} \quad (4.7)$$

де R_B – опір розтіканню струму в одному вертикальному заземлювачі;
 $\eta_{в.в}$ - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів при розташуванні їх згідно з вихідними даними;

$\eta_{н.в.}$ - необхідна кількість, шт., вертикальних однакових заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання.

$$R_{розр.в} = \frac{32}{15 \times 0,59} = 3,61 \text{ Ом}$$

Приймаємо 4 Ом.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Визначаємо L_B - відстань між вертикальними заземлювачами за відношенням.

$$\text{Звідси: } L_6 = l \cdot l_6 = l \cdot 2 = 2(\text{м}).$$

15. Визначаємо $L_{3.c}$ - довжину, м, з'єднувальної стрічки – горизонтального заземлювача:

$$L_{3.c} = 1,05 \cdot L_6 (\eta_{н.в} - 1) \quad (4.8)$$

де $\eta_{н.в.}$ - необхідна кількість, шт., вертикальних однакових заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання;

L_B – відстань між заземлювачами.

$$L_{3.c} = 1,05 \cdot 2 (15 - 1) = 29,4(\text{м})$$

Приймаємо 30 м.

16. Визначаємо $R_{г.з.с}$ - опір розтіканню струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній стрічці):

$$R_{г.з.с} = \frac{p_{розп.в}}{2\pi l} \ln \frac{4l^2}{b_c t} \quad (4.9)$$

де $p_{розр.г}$ - розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних заземлювачів;

t – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача;

b_C – ширина стрічки.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		116

$$R_{г.з.с} = \frac{350}{2\pi 3,5} \ln \frac{4(3,5)^2}{0,035 \times 2,3} = 102,068 \text{ Ом}$$

Приймаємо 102 Ом.

17. Визначаємо $\eta_{в.г}$ - коефіцієнт використання горизонтального заземлювача при розташуванні вертикальних заземлювачів згідно з вихідними даними або за чотирикутним контуром при відношенні $L_{\phi}/l_{\phi}=1$ та необхідній кількості вертикальних заземлювачів $\eta_{н.в.}=15шт$. За таблицею 7.6 [10] С. 263 приймаємо $\eta_{в.г}=0,42$.

18. Визначаємо $R_{розр.г}$ - розрахунковий опір, Ом, розтіканню струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній стрічці) при числі електродів $\eta_{г}=1$.

$$R_{розр.г} = \frac{R_{г.з.с}}{\eta_{г} \times \eta_{в.г}} \quad (4.10)$$

де $R_{г.з.с}$ - опір, Ом, розтіканню струму в горизонтальному заземлювачі;
 $\eta_{в.г}$ - коефіцієнт використання горизонтального заземлювача при розташуванні вертикальних заземлювачів згідно з вихідними даними;

$$R_{розр.г} = \frac{102}{1 \times 0,42} = 242,857 \text{ Ом}$$

Приймаємо 243 Ом.

19. Визначаємо $R_{розр.в.г}$ - розрахунковий теоретичний опір, Ом, розтіканню струму у вертикальних та горизонтальних заземлювачах:

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		117

$$R_{\text{розр.в.г}} = \frac{R_{\text{розр.в}} \times R_{\text{розр.г}}}{R_{\text{розр.в}} + R_{\text{розр.г}}} \quad (4.11)$$

де $p_{\text{розр.г}}$ - розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних заземлювачів;

$p_{\text{розр.в}}$ - розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних заземлювачів.

$$R_{\text{розр.в.г}} = \frac{4 \times 243}{4 + 243} = 3,93 \text{ Ом}$$

20. Вибираємо матеріал та поперечний перетин з'єднувальних провідників. За таблицею [16] вибираємо голі мідні провідники $S_M = 4 \text{ мм}^2$ або алюмінієві $S_A = 6 \text{ мм}^2$.

21. Вибираємо матеріал та поперечний перетин магістральної шини. За таблицею [16] вибираємо сталеву шину товщиною $\delta_s = 4 \text{ мм}$ і перетином не менше $\sigma = 100 \text{ мм}^2$.

Розрахунок захисного заземлення для спроектованої ділянки зображено на рисунку 4.1

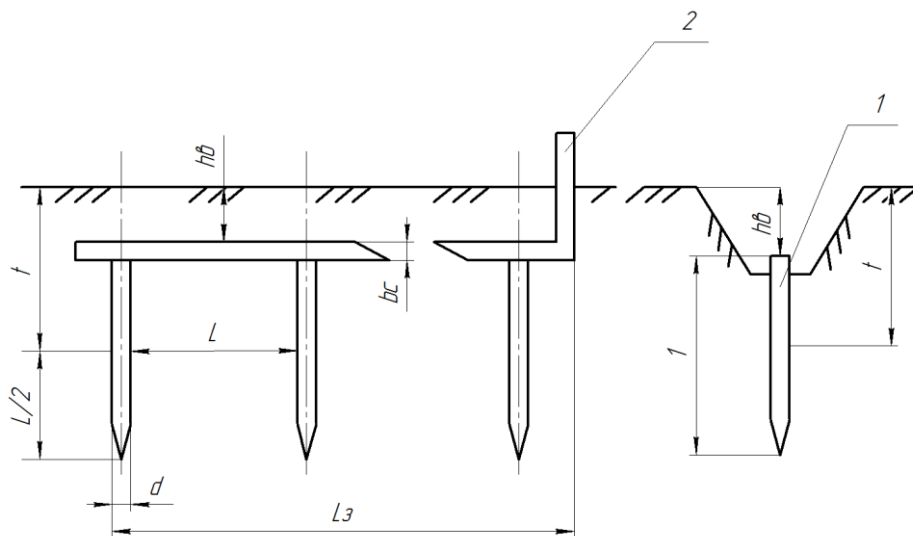


Рисунок 4.1 – Розрахунок захисного заземлення для спроектованої ділянки

Висновок: отриманий розрахунковий опір розтіканню струму у вертикальних та горизонтальних заземлювачах відповідає вимогам ПУЕ, ПТЕ, ПТБ.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз технічних вимог до оброблюваної деталі та методів їх забезпечення і контролю. Описано характеристику матеріалу деталі «Корпус прихвату гідравлічного», а також обґрунтовано вибір типу виробництва — дрібносерійного, з наданою його характеристикою.

У технологічній частині роботи обрано оптимальний метод виготовлення заготовки (виливка), який забезпечує отримання високоякісної заготовки з точними поверхнями і малим припуском під механічну обробку ($K_{в.м.}=0,72$). Визначено міжопераційні припуски та проміжні розміри для механічної обробки поверхонь деталі за допомогою табличного методу.

Розроблено маршрутний технологічний процес механічної обробки деталі, обрано відповідне технологічне обладнання та оснащення, розроблена операційна технологія, визначено різальний, допоміжний і вимірювальний інструменти. Табличним методом здійснено розрахунок режимів різання та технічних норм часу для всіх операцій технологічного процесу механічної обробки деталі «Корпус прихвату гідравлічного».

Також проведено аналіз схем формоутворення на токарно-гвинторізному верстаті, виконано кінематичний розрахунок лінії приводу головного руху, спроектовано коробку швидкостей і шпиндельний вузол верстату. Розроблено конструкцію верстатного пристосування та здійснено деталювання ряду елементів коробки швидкостей.

Оформлено всю необхідну технологічну документацію та конструкторську частину.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Загальні висновки до кваліфікаційної роботи		
Розробив		Рісний В.В.					
Розроб.		Турта Т.І.					
Перевір.		Кобельник В.Р.					
Н. Контр.		Кобельник В.Р.					
Затверд.		Крупа В.В.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						120	1
					ТНТУ, МВ-41 Тернопіль		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дослідження розсіювання величин подач токарних верстатів в імовірнісному аспекті / В. В. Крупа та ін. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2023. № 4(83). С. 16–28.
2. Крупа В., Кобельник В., Гагалюк А. Обґрунтування параметрів спеціального трикулачкового патрона для затиску тонкостінних циліндричних заготовок. Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. 2023. № 4. С. 128–137.
3. Розточувальні інструменти з попарно-асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких циліндричних отворів П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, В. Г. Яковлев. Технічні науки та технології. 2016. № 2 (4). С. 28-35.
4. Кваліфікаційна робота бакалавра: структура, вимоги до виконання та захист. Методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування галузі знань 13 Механічна інженерія для здобувачів всіх форм здобуття освіти / уклад.: Р. А. Склярів, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Р. Я. Лещук, А. А. Сенік, В. В. Шанайда, А. В. Гагалюк, В. М. Буховець. – Тернопіль : ТНТУ, 2025. 78 с.
5. Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М. І. Про характер зміни подачі при виході інструменту із тіла заготовки в процесі свердління наскрізних отворів. Вісник ТНТУ : Науковий журнал.: Тернопіль : ТНТУ, 2012. № 4 (68). С. 114–127.
6. Beddoes J. Principles of metal manufacturing processes /Beddoes, Jonathan.: Burlington, MA: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003. 326 p.
7. Creese, R. Introduction to manufacturing processes and materials /Creese, Robert C: New York : Marcel Dekker, 1999. 395 p.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробив		Рісний В.В.			Переліт посилань	Літ.		Арк.	Аркушів	
Розроб.		Турта Т.І.						121	1	
Перевір.		Кобельник В.Р.				ТНТУ, МВ-41 Тернопіль				
Н. Контр.		Кобельник В.Р.								
Затверд.		Крупа В.В.								

8. V. Krupa et al. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952> (date of access: 22.05.2025).

9. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок.: Львів: Світ, 1996. 368 с.

10. Бочков В. М., Сілін Р. І., Гаврильченко О. В. Металорізальні верстати : навч. посіб.: Львів Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. 268 с.

11. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: підручник. Львів: Бескид Біт, 2008. 448 с.

12. Гейчук В.М. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor (Частина І): навч. посіб. Навчальне мережне електронне видання. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 394 с.

13. Гагалюк А.В., Паливода Ю.Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування : навчальний посібник Тернопіль: Осадца Ю. В., 2025. – 308 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. Дячун А. Є., Капаціла Ю. Б, Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин».:Тернопіль: ТНТУ, 2016. 75 с

16. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці: навчальний посібник.: Львів: Афіша, 2000. 350 с.

17. Кальченко В. І. ,Кологойда А. В, О. С. Следнікова. Розрахунок та конструювання коробок швидкостей металорізальних верстатів. Методичні

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вказівки до виконання практичних та розрахунково-графічної робіт : Чернігів: ЧНТУ, 2016. 111 с.

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

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

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

21. Кобельник В.Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.:* Краматорськ, 2012. – Вип. № 31. С. 47–56.

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

23. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.

24. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу свердління наскрізних отворів. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.* : Краматорськ, 2011. Вип. № 28. С. 77–85.

25. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.:* Краматорськ, Київ, 2006. Вип. № 19. С. 58–64.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення зменшення задирок при наскрізному свердлінні. *Всеукраїнська молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих : прогресивні ідеї – наука – виробництво, 22 – 25 жовтня 2012 р. : тези допов. :* К. : КПІ, 2012. Том 1. С. 71–73.

27. Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. :* Краматорськ, Київ, 2006. Вип. № 19. С. 58–64.

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

29. Кривий П.Д., Тимошенко Н.М., Дзюра В.О., Кобельник В.Р. Уточнений метод апріорно-емпіричних функцій визначення закону розподілу та його характеристик на основі малої вибірки. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року.:* ТНТУ, 2020. С. 132–133.

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

31. Кузнецов Ю. М., Скляр Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнецов, Р. А. Скляр; під ред. Ю. М. Кузнецова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.

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

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

33. Кухарський О. М., Кушак І .В. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з предмету: «Технологія машинобудування». Тернопіль, 2001. 280 с.

34. Кухарський О.М., Кузьмін М.І. Визначення припусків табличним методом.: Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.

35. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: «Вища школа», 1993. 560 с.

36. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки: навчальний посібник.: Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

37. Паливода Ю.Є., Кухарський О.М. Визначення припусків розрахунково аналітичним методом: Тернопіль, 2003. 81 с.

38. Пат. 16398 Україна, МПК (2006) G 01 B 5/24. Спосіб вимірювання головного заднього кута спірального свердла / Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Шарик М. В.; заявник і патентовласник Терноп. нац. техн. унів. ім. І. Пулюя. № u200600061; заявл. 03.01.2006; опубл. 15.08.2006, Бюл. № 8.

39. Пат. 51906 UA, МПК B23B 49/00. Переналаджувальний свердлильний кондуктор [Текст] / Гупка Андрій Богданович, Гупка Богдан Васильович, Брошак Іван Іванович, Гевко Ігор Богданович, Ляшук Олег Леонтійович, Дячун Андрій Євгенович, Гагалюк Андрій Валерійович (Україна) - опубл. 10.08.2010.

40. Равська Н. С. та ін. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці: навчальний посібник.: Житомир: ЖІТІ, 2000. 332 с.

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

42. Стискін Г.М. Технологічні основи програмування обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням. Львів: Видавництво “Оріяна Нова”, 2002. 208 с.

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

					КРБ 21-039/045.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		