

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

Конструювання компонентів приводу головного руху консольного горизонтально - фрезерного верстату з розробкою технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус УГ 250.31.00.011”.

Виконав: студент (ка)

4

курсу, групи

МВ-41

напряму підготовки (спеціальності)

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

		Мулик Р.П.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Сеник А.А.
	(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.

**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 Мулику Роману Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Конструювання компонентів приводу головного руху

консольного горизонтально - фрезерного верстату з розробкою

технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус УГ 250.31.00.011».

Керівник роботи Сеник Андрій Антонович, 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 Тех. креслення деталі «Корпус УГ 250.31.00.011»

Базовий технологічний процес обробки деталі. Верстати-аналоги.

Аналоги конструкцій коробок подач вертикально-свердлильних верстатів

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

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

2. Технологічна частина Технологічний розрахунок

Розробка маршрутного та операційного технологічного процесу обробки

Інструментальне забезпечення технологічної операції

3. Конструкторська частина Розробка кінематичної схеми верстату

Конструювання 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)

Деталь «Корпус УГ 250.31.00.011», заготовка – 1 ф.А1

Пристрій для фрезерування площини – 1 ф.А1

Кінематична схема верстата – 1 ф.А1

Загальний вигляд – ф.А1.

Карта налагодження. – ф.А1.

Пристрій контрольний – 1 ф.А1.

Складальне креслення 2 ф.А1.

[illegible][illegible]

Мулик Р.П.
(прізвище та ініціали)

_____ Сенік А.А. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Мулик Р.П. – Конструювання компонентів приводу головного руху консольного горизонтально - фрезерного верстату з розробкою технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус УГ 250.31.00.011”. робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 133 – Галузеве машинобудування /кер. А.А. Сенік. Тернопіль : факультет інженері машин, споруд та технологій, кафедра конструювання верстатів інструментів та машин, група МВ-41.: ТНТУ 2025.

У кваліфікаційній роботі розглянуто процес конструювання компонентів приводу головного руху консольного горизонтально-фрезерного верстата та розробку технологічного процесу виготовлення корпусної деталі. Обґрунтовано вибір конструкційного матеріалу, проаналізовано технологічність деталі, проведено кінематичні й силові розрахунки елементів приводу, побудовано структурно-кінематичну схему.

Розроблено схему коробки швидкостей, яка забезпечує розширення діапазону регулювання частоти обертання шпинделя.

Ключові слова: горизонтально-фрезерний верстат, привід головного руху, корпусна деталь, безступеневе регулювання, технологічний процес.

ABSTRACT

R.P. Mulyk – *Design of main drive components of a horizontal knee-type milling machine with development of the technological process for manufacturing the “Housing UG 250.31.00.011”.* bachelor's qualification work: specialty 133 – Industrial Engineering / supervisor A.A. Senyk. Ternopil: Faculty of Engineering of Machines, Structures and Technologies, Department of Machine Tools and Instruments Design, Group MV-41.: TNTU 2025.

The qualification thesis considers the process of designing main drive components for a horizontal knee-type milling machine and the development of a technological process for manufacturing a housing-type part. The choice of structural material is justified, the manufacturability of the part is analyzed, kinematic and power calculations of the drive components are performed, and a structural-kinematic diagram is constructed.

A gear speed box diagram is developed, providing an expanded range for spindle speed adjustment.

Keywords: horizontal milling machine, main drive, housing part, stepless regulation, technological process.

					КРБ МВ 21 037.00.00.000 ПЗ			
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата				
Розроб.		Мулик Р.П.			Вступ	Літ	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Сеник А.А.				Н		1
Рецензен						ТНТУ, гр. МВ-41		
Н. контр.		Кобельник В.Р.						
Зав. каф.		Крупа В.В.						

ЗМІСТ

ВСТУП	
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1. Аналіз завдання	
1.2 Характеристика об'єкту виробництва	
1.3 Сучасні досягнення в області технології, обладнання і оснащення при виготовленні подібних деталей	
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
2.1 Встановлення типу та організаційної форми виробництва	
2.2 Вибір та розрахункове обґрунтування технологічних баз	
2.3. Визначення допусків, припусків і операційних розмірів. Проектування заготовки	
2.4. Розмірний аналіз технологічного процесу	
2.5. Розрахунок режимів різання, вибір обладнання та оснащення	
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	
3.1. Кінематичний розрахунок	
3.2. Вибір структури приводу та його компоновка	
3.3. Силловий розрахунок приводу	
3.4. Висновок	
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	
ВИСНОВКИ	
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	
ДОДАТКИ	

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ				
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата					
Розроб.		Мулик Р.П.			Зміст		Літ	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Сеник А.А.					Н		1
Рецензент				ТНТУ, гр. МВ-41					
Н. контр.		Кобельник В.Р.							
Зав. каф.		Крупа В.В.							

ВСТУП

У технології верстатобудування комплексно вивчають питання взаємодії верстату, пристосіблення, ріжучого інструменту і обробляючих деталей, шляхи побудови найбільш раціональних, тобто найбільш продуктивних, економічних, технологічних процесів обробки деталей машин, включаючи вибір обладнання і технологічної оснастки, методи раціональної побудови технологічних процесів складання машин.

Вдосконалення технологічних методів виготовлення машин має при цьому першочергове значення. Якість машини, надійність, довговічність і економічність в експлуатації залежить не тільки від вдосконалення її конструкції, але і від технології виробництва. Застосування прогресивних високопродуктивних методів обробки, забезпечуючи високу точність і якість поверхонь деталі машини, методів спрощення робочих поверхонь, підвищуючи ресурс роботи деталей і машини в цілому, ефективне використання сучасних автоматичних і потокових ліній, станків з програмним керуванням (в тому числі і багатоопераційних), електронно-обчислювальних машин та іншої нової техніки, застосування прогресивних форм організації і економіки виробничих процесів – все це направлено на вирішення головних задач: підвищення ефективності виробництва і якості продукції.

Науково-технічний прогрес в машинно і верстатобудуванні в значній степені визначає розвиток і вдосконалення всього народного господарства країни. Важливими умовами прискорення науково-технічного прогресу являється ріст продуктивності праці, підвищення ефективності загального виробництва і покращення якості продукції. Тому майбутні спеціалісти – верстатобудівники повинні володіти основами конструювання верстатів і їх важливих вузлів.

					КРБ МВ 21 037.00.00.000 ПЗ					
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата						
Розроб.	Мулик Р.П.				Вступ			Літ	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Сеник А.А.							Н		1
Рецензент								ТНТУ, гр. МВ-41		
Н. контр.	Кобельник В.Р.									
Зав. каф.	Крупа В.В.									

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз завдання.

Завданням кваліфікаційної роботи бакалавра є конструювання компонентів приводу головного руху консольного горизонтально-фрезерного верстата з розробкою технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус УГ 250.31.00.011». У процесі виконання роботи необхідно проаналізувати технологічність заданої деталі згідно з вихідними даними, провести огляд літератури, кінематичний розрахунок і розробити структурно-кінематичну схему, сформулювати вихідні дані, виконати графоаналітичний розрахунок приводу, розрахунок кінематичної схеми, вибір двигуна, силові розрахунки вузлів і механізмів.

У вихідних даних задано безступеневе регулювання швидкості. Основні переваги такого приводу – підвищення продуктивності обробки за рахунок точного налаштування отриманої за режимами різання швидкості, можливість плавної зміни швидкості під час роботи. Для безступеневої зміни швидкості застосовують інколи фрикційні варіатори, частіше – регулюючі двигуни. У даному випадку застосуємо двигун постійного струму з тиристорною системою управління. Такі двигуни ширше використовуються у верстатах з числовим програмним управлінням. В цих двигунах діапазон регулювання швидкості з постійною потужністю струму лежить в межах 2,5-6, що не перекриває всього потрібного діапазону регулювання на шпинделі. Для перекриття ставлять не складну коробку швидкостей з виконанням умови: $R_n = R_{\sigma} \cdot R_k$.

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Мулик Р.П.				Аналіз завдання		Лім.	Арк.
Перевір.	Сеник А.А.							
Реценз.								
Н. Контр.	Кобельник В.Р.						ТНТУ, гр.МВ-41	
Затверд.	Крупа В.В.							

1.2 Характеристика об'єкту виробництва.

Корпус УГ 250.31.00.011 призначений для кріплення шпиндельної групи і в зібраному конструктивному варіанті має назву траверса шпиндельна УГ 250.31.00.000 СБ.

Схема вузла з специфікацією зображена на рисунку 1.1.

Для кріплення шпиндельного вузла в корпусі передбачено отвір $\varnothing 40H7^{(+0.025)}$ мм, шорсткість обробки якого повинна бути не менша $R_a=1,25$ мкм. Для фіксації положення шпинделя передбачено кріплення гвинтами М8 через розрізаний паз, яке зображено на рисунку 1.2.

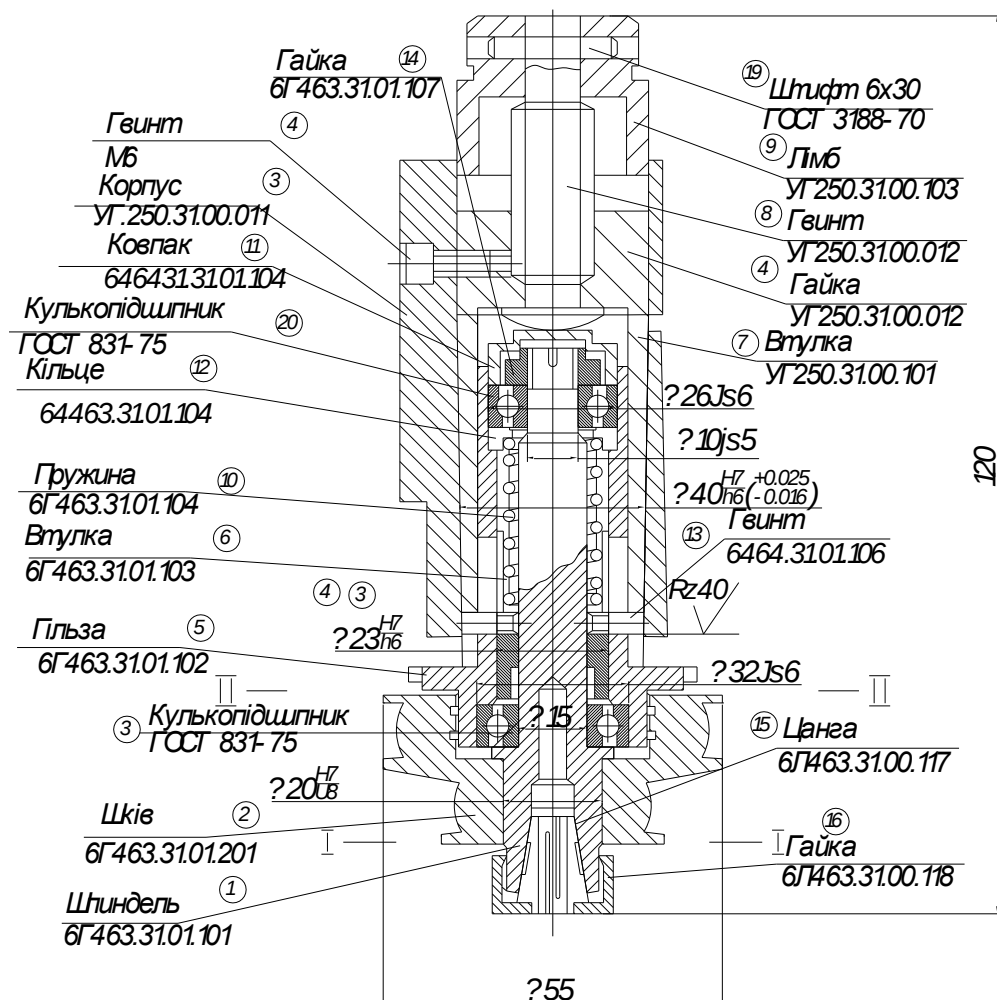


Рисунок 1.1 – Схема вузла верстат моделі УГ250

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ

Арк.

Для фіксації положення шпинделя передбачено кріплення гвинтами М8 через розрізаний паз, яке зображено на рисунку 1.2.

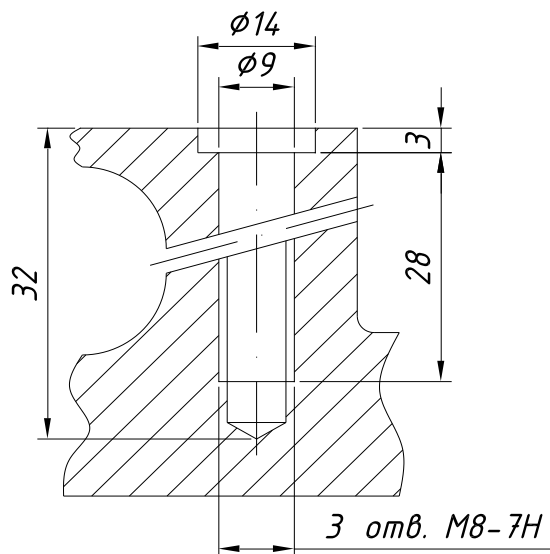


Рисунок 1.2 – Схема кріплення шпинделя

Траверса шпиндельна кріпиться до торцю повзуна за допомогою 6 гвинтів М8 і фіксується на 2 штифти Ø6, для чого в корпусі передбачено два отвори Ø5,8 під розвертання під штифт Ø6. Схема кріпильних отворів показана на рисунку 1.3.

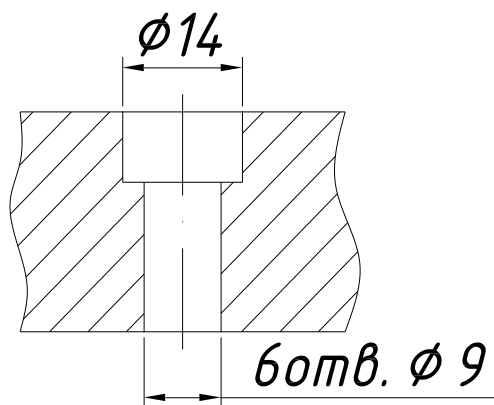


Рисунок 1.3 – Схема кріплення траверси

В корпусі передбачені 2 фігурні виборки В=50 мм, R=10 мм для монтажу направляючих повзуна при збиранні вузла.

Кріплення інструмента в шпинделі здійснюється цанговим затиском, обертання шпинделя здійснюється від електродвигуна через трьохступеневу

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шківну передачу. Безпосередньо на шпинделі встановлюється двохступеневий шків.

Виходячи з умов, що корпус є основною базовою деталлю вузла, до нього ставляться підвищені вимоги відносно точносних параметрів. Так площа А є базовою тому, що безпосередньо до неї кріпиться повзун і утримується вузол за допомогою кріпильних гвинтів. Площина А повинна бути гладкою і прямолінійною та мати шорсткість не менше $R_a=1.25\text{мкм}$. Цю площину ми будемо використовувати як базу для обробки центрального отвору $\varnothing 40\text{H}7(^{+0,025})$, який має вимоги - допуск паралельності відносно базової площини повинен не перевищувати $0,01\text{мм}$. Шорсткість отвору $\varnothing 40\text{H}7$, $R_a=1.25\text{мкм}$, також обумовлена технічними вимогами складального креслення для запресовування гільзи шпинделя.

Матеріал деталі – сірий чавун СЧ20 і заготовкою на деталь відповідно прийнятий виліток. Сірий чавун має добрі ливарні властивості, добре піддається механообробці. Крім цього чавун стійкий проти вібрації, відносно дешевий матеріал. Тож зміна матеріалу в даному випадку не доцільна.

Механічні властивості сірого чавуну СЧ20:

- границя витривалості на розтяг $\sigma_{вр} = 21\text{кгс} / \text{мм}^2$
- границя витривалості на розтяг $\sigma_{зг} = 40\text{кгс} / \text{мм}^2$
- твердість $\text{HB}=170\div 214$.

Хімічний склад:

C – $3.3\div 3.5\%$; Si – $1.4\div 2.2\%$; Mn – $0.7\div 1.0\%$; P $\leq 0.2\%$; S $\leq 0.15\%$.

Технічні вимоги до поверхонь деталей заносимо у таблицю 1.1.

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 Технічні вимоги до поверхонь деталі

№ п/п	Конструктивний елемент деталі	Квалітет	Шорсткість, мкм	Методи досягнення і контролю
1	Базова пл. А 210×105, мм	11	1,25	Чистове шліфування, <u>плоскомір</u>
2	Отвір $\varnothing 40H7$ $l=120\text{мм}$	7	1,25	Чистове хонінгування, <u>індикаторний плоскомір</u>
3	6 <u>отв.</u> $\varnothing 9/\varnothing 14$	9	2,5	Свердління по кондуктору, спеціальний шаблон на розточування отворів, калібр-пробка
4	<u>Виборки</u> В=50мм, R=10мм	11	6	Фрезерування по копію або по ЧПК, шаблон спеціальний
5	Паз В=3мм і паз В=3мм під кутом 10°	11	6	Одноразове фрезерування дисковою прорізною фрезою, контроль спеціальний шаблон
6	<u>Отв.</u> $\varnothing 6,6/\varnothing 12$	10	6	Свердління по кондуктору з застосуванням спеціальної <u>цековки</u> $\varnothing 6/\varnothing 12$, контроль спеціальний шаблон
7	3 <u>отв.</u> $\varnothing 8/\varnothing 9/\varnothing 14$	7/11	6	Свердління по кондуктору, застосування спец. комбінованого інструменту $\varnothing 9/\varnothing 14$ і нарізання різи мітчиком, контроль різбовий калібр-пробка і спец. калібр $\varnothing 9/\varnothing 14$
8	Заниження $h=8,5$ мм	11	6	Фрезерування, контроль шаблоном
9	Торцеві та бокові поверхні	11	6	Фрезерування, контроль спеціальним шаблоном
10	4 <u>отв.</u> M4H7	7	2,5	Свердління по кондуктору, нарізання різи мітчиком
11	Фаски $0,5\times 45^\circ$ в <u>отв</u> $\varnothing 40$ і фаски в <u>різ</u> <u>отв.</u> під 120°	10	2,5	Забезпечується <u>цикуванням</u> спеціальною кутовою зенківкою
12	Дві фаски $30\times 45^\circ$	11	6	Однократне фрезерування, контроль по спец. шаблону.
13	Шорсткість <u>механообробки</u> всіх поверхонь			Еталони шорсткості на відповідні види робіт

Враховуючи, що ми маємо корпусну деталь, яка призначена для розміщення в ній складальних одиниць і деталей, до деталі ставляться відповідні вимоги до точності розташування геометрично взаємозв'язаних поверхонь та точності і шорсткості окремих елементів поверхонь. Нашу деталь слід віднести до класу корпусів з складними елементами та основною площиною, яку використовуємо за технологічну і конструкторську бази, за допоміжні бази приймаємо бокові площини і поверхню центрального отвору. Враховуючи особливості матеріалу деталі сірий чавун, заготовкою на деталь приймаємо литво, з відповідним промеле для одержання зовнішнього необробленого контуру, по моделі і з відповідним стержнем для одержання отвору.

При обробці деталей типу корпусу відомі наступні основні етапи обробки:

- поверхонь, які використовують, як бази для наступної обробки;
- обробка допоміжних взаємозв'язаних плоских поверхонь;
- обробка основних і кріпильних отворів;
- чистова викінчувальна обробка плоских поверхонь;
- чистова обробка основних отворів.

У залежності від характеру розташування оброблюваних поверхонь і масштабів випуску деталей застосовується обробка на консольно-фрезерних верстатах, барабанно-фрезерних верстатах, верстатах з ЧПК і багатоцільових верстатах. В автоматичних ліній застосовується агрегатно-фрезерні верстати. При можливості багатомісних налагоджень застосовують спеціальні пристрої для одночасного закріплення декількох деталей.

У багатосерійному виробництві обробку ведуть наборами фасонних або стандартних фрез на консольного горизонтально-фрезерному верстаті, також використовують двохшпиндельні фрезерні головки, або багатоінструментальні обробки на спеціальних верстатах. Шліфування площин здійснюється на плоскошліфувальних верстатах, переферією круга або торцем годинникового круга. Отвори в відливках обробляють шляхом

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розточування, зенкерування, розвертування, хонінгування на горизонтально- або координатно-розточувальних верстатах, агрегатних, багатоцільових і верстатах з ЧПК. Точність міжосьових розташувань отворів, паралельність і перпендикулярність осей, співвісність отворів забезпечується їх обробкою з однієї установки. Застосовуємо для кріплення деталі спеціальні пристрої з базуванням відносно заданих поверхонь. Викінчувальну обробку отворів з шорсткістю $R_a=1,25\ldots0,63$ здійснюється шляхом чистового розверстування і розкатування роликами, тонкого розточування, шліфування, хонінгування.

1.3 Сучасні досягнення в області технології, обладнання і оснащення при виготовленні подібних деталей

Розвиток народного господарства в багатьох випадках визначається технічним прогресом машинобудування. Для народного господарства необхідно збільшити випуск продукції машинобудування і підвищити її якість. Цей ріст здійснюється переважно за рахунок інтенсифікації виробництва на основі широкого використання досягнень науки і техніки, застосування прогресивних технологій.

Так для обробки корпусних деталей на універсальних верстатах характерне наступне:

- висока трудомісткість обробки, що в основному визначається значним допоміжним часом;
- трудомісткість забезпечення заданої точності в наслідок великої кількості операцій, які виконуються на різних верстатах;
- високі вимоги до кваліфікації робітника;
- велика тривалість циклу обробки в результаті втрат часу на транспортування, контрольні операції, притримування на проміжних складах і т.д.;
- низький коефіцієнт використання верстатів, який пояснюється більшою питомою вагою допоміжного часу;

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

— більші строки переходу на випуск нових виробів, викликані виготовленням більшої кількості оснастки;

Застосування багатоопераційних верстатів дозволяє зразу вирішити багато основних проблем, висунутих виробленням корпусних деталей.

Аналізуючи ефективність застосування багатоцільових верстатів слід відзначити наступні позитивні фактори:

- поліпшення організаційних сторін виробництва і створення передумов для комплексної автоматизації всього виробничого процесу;
- можливість швидкого внесення змін в конструкцію деталі, яка знаходиться у виробництві, для того необхідно змінювати тільки окремі частини програм;
- поліпшення планування виробництва (час обробки деталей на верстатах визначається програмою і не залежить від оператора, що дозволяє точніше розраховувати завантаження обладнання, скоротити запаси і точно виконати строки поставки);
- зменшення виробничих площ;
- полегшення умов праці і підвищення культури виробництва.

Складання готових виробів і вузлів також вимагає творчого підходу та рішення питань механізації та автоматизованого виробничого процесу. Основні вимоги до зібраних конструкцій наведені у відповідності до технічних характеристик, згідно технічних умов та вимог креслення. Сам процес складання шпіндельного вузла доцільно розбивати на окремі ділянки збирання комплектів і під вузлів, які не впливають безпосередньо на кінцеву точність вузла.

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Висновки

У результаті проведеного аналітичного дослідження встановлено, що вибраний об'єкт проектування — корпус УГ 250.31.00.011 — є складовою частиною шпиндельного вузла, яка відіграє важливу роль у забезпеченні жорсткості та точності роботи консольного горизонтально-фрезерного верстату. Матеріал деталі — сірий чавун СЧ20 — є раціональним вибором, що забезпечує потрібні експлуатаційні властивості, технологічність та віброопірність конструкції.

Аналіз сучасних технологій обробки корпусних деталей вказує на доцільність застосування багатофункціонального обладнання, зокрема багатоопераційних верстатів та верстатів з ЧПК, які забезпечують високу точність та ефективність виробництва. Також доцільним є використання безступеневих систем регулювання швидкості для приводу головного руху, зокрема за допомогою двигунів постійного струму з тиристорною системою керування.

Таким чином, в першому розділі було сформовано теоретичне підґрунтя для подальшого конструювання приводу головного руху та розробки технологічного процесу виготовлення корпусної деталі. Наступні розділи присвячені реалізації поставлених задач на основі отриманих аналітичних даних.

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Встановлення типу та організаційної форми виробництва

Тип виробництва визначають по коефіцієнту закріплення операцій:

$$K_{з.о} = O / P, \quad (2.1)$$

де $K_{з.о}$ – коефіцієнт закріплення операцій;

O – число всіх виконуваних операцій;

P – число робочих, які виконують різні операції.

Такт випуску являє собою проміжок часу між випуском двох виробів, які рухаються один за одним:

$$\tau = \frac{60F_d}{N}, \quad (2.2)$$

де τ – такт випуску деталей;

F_d – дійсний річний фонд часу роботи обладнання. При двозмінному режимі роботи і 41 годинному робочому тижневі становить 4015 годин.

N – річна програма випуску, шт.

$$\tau = \frac{60 \cdot 4015}{35000} = 6.88 \text{ хв};$$

Кількість одиниць технологічного обладнання визначаємо за формулою:

$$Cp_i = \frac{T_{шт} \cdot N}{60F_d}, \quad (2.3)$$

де Cp_i – розрахункова кількість технологічного обладнання;

$T_{шт}$ – штучний час на операцію.

Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання визначається по формулі 2.4 і заносимо в таблицю 2.1

$$\eta_{з.ф.і.} = \frac{Cp_i}{Cn_i}, \quad (2.4)$$

де Cp_i і Cn_i – відповідно розрахункове і прийняте значення кількості устаткування.

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Кількість операцій закріплення за одним робочим місцем:

$$O_i = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.і.}}, \quad (2.5)$$

де $\eta_{з.н.}$ – нормативний коефіцієнт завантаження устаткування.

Приймаємо $\eta_{з.н.} = 0.75$.

Результати розрахунків по формулах 2.3, 2.4 та 2.5 заносимо в таблицю 2.2.

Враховуючи час на установку і зняття заготовки, який рівний 1,2 хв і залежить від маси заготовки, попередньо визначаємо штучний час по наступній таблиці.

Таблиця 2.1 - Попередній маршрут обробки заготовки та його укрупнене нормування

№ опер.	Назва операції	Зміст операції	Наближена формула обчислення	Φ_k	$T_{шт},$ хв
1	2	3	4	5	6
05	Вертикально-фрезерна	1. Чорнове фрезерування низу корпусу	$T_0 = 0.007 \cdot l = 0.007 \cdot 335 = 2.35$	1,51	4,47
010	Горизонтально-фрезерна	1. Чорнове фрезерування торцевих пов.	$T_0 = 0.007 \cdot l = 0.007 \cdot 145 = 1.02$	1,51	2,73
015	Горизонтально-фрезерна	1. Чорнове фрезерування бокових пов.	$T_0 = 0.007 \cdot l = 0.007 \cdot 273 = 1.91$	1,51	4,09
020	Горизонтально-фрезерна	1. Чорнове фрезерування 2 фасок 30x45°	$T_0 = 0.007 \cdot l = 0.007 \cdot 72.4 = 0.51$	1,51	1,97
025	Копіювально-фрезерна	1. Чорнове фрезерування заниження	$T_0 = 0.007 \cdot l = 0.007 \cdot 240 = 1.68$	1,51	3,74
030	Горизонтально-фрезерна	1. Чорнове фрезерування виборок	$T_0 = 0.007 \cdot l = 0.007 \cdot 100 = 0.7$	1,51	2,26

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
035	Вертикально-свердлильна	1. Свердлити 6 отв $\varnothing 9$ 2. Цикувати 6 отв $\varnothing 9/\varnothing 14$ 3. Свердлити 2 отв $\varnothing 5,8$ 4. Свердлити отв $\varnothing 6,6$ 5. Цикувати 6 отв $\varnothing 6/\varnothing 12$ 6. Свердлити 4 отв $\varnothing 3,2$ 7. Зенкувати 4 отв $\varnothing 3,2$ 8. Нарізати різь M8	$T_{01} = 0.52dl = 0.52 \cdot 9 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0.117$ $T_{02} = 0.52dl = 0.52 \cdot 14 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0.058$ $T_{03} = 0.52dl = 0.52 \cdot 5.8 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0.075$ $T_{04} = 0.52dl = 0.52 \cdot 6.6 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0.041$ $T_{05} = 0.52dl = 0.52 \cdot 12 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 0.062$ $T_{06} = 0.52dl = 0.52 \cdot 3.2 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 0.027$ $T_{07} = 0.52dl = 0.52 \cdot 3.2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0.002$ $T_{08} = 0.4dl = 0.4 \cdot 4 \cdot 13 \cdot 10^{-3} = 0.021$ $\sum T_0 = 0.403$	1,3	1,72
040	Вертикально-свердлильна	1. Свердлити 3 отв $\varnothing 6,7$ 2. Розсвердлити 3 отв $\varnothing 6,7/\varnothing 9$ 3. Цикувати 3 отв $\varnothing 9/\varnothing 14$ 4. Нарізати різь M8	$T_{01} = 0.52dl = 0.52 \cdot 6.7 \cdot 32 \cdot 10^{-3} = 0.112$ $T_{02} = 0.52dl = 0.52 \cdot 9 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0.047$ $T_{03} = 0.52dl = 0.52 \cdot 14 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 0.022$ $T_{04} = 0.4dl = 0.4 \cdot 8 \cdot 32 \cdot 10^{-3} = 0.021$ $\sum T_0 = 0.283$	1,3	1,57
045	Плоско-шліфувальна	1. Шліфувати поверхню А	$T_0 = 3.2$		4,4
050	Горизонтально-розточна	1. Розточити отв $\varnothing 40$ 2. Розвернути начорно отв $\varnothing 40$ 3. Розвернути начорно отв $\varnothing 40$	$T_{01} = 0.3dl = 0.3 \cdot 40 \cdot 105 \cdot 10^{-3} = 1.3$ $T_{02} = 0.43dl = 0.43 \cdot 40 \cdot 105 \cdot 10^{-3} = 1.81$ $T_{03} = 0.43dl = 0.43 \cdot 40 \cdot 105 \cdot 10^{-3} = 1.81$ $\sum T_0 = 4.92$	1,3	6,4

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
055	Вертикально-фрезерна	1. Фрезерувати паз В=3мм	$T_0 = 0.007 \cdot l =$ $0.007 \cdot 78 = 0.55$	1,51	2,02
060	Вертикально-фрезерна	1. Фрезерувати паз В=3мм під кутом	$T_0 = 0.007 \cdot l =$ $0.007 \cdot 55 = 0.39$	1,51	1,78

Таблиця 2.2 – Розрахунок кількості верстатів і операцій

№ п/п	№ опер.	Назва операції	$T_{шт}, \text{хв.}$	$C_{р.і.}, \text{шт.}$	$C_{п.і.}, \text{шт.}$	$\eta_{з.ф.і.}$	O_i
1	005	Вертикально-фрезерна	4,74	0,69	1	0,69	2
2	010	Горизонтально-фрезерна	2,73	0,40	1	0,40	2
3	015	Горизонтально-фрезерна	4,09	0,59	1	0,59	2
4	020	Горизонтально-фрезерна	1,97	0,29	1	0,29	3
5	025	Горизонтально-фрезерна	3,74	0,54	1	0,54	2
6	030	Вертикально-фрезерна	2,26	0,33	1	0,33	3
7	035	Вертикально-свердлильна	1,72	0,26	1	0,26	3
8	040	Вертикально-свердлильна	1,57	0,23	1	0,23	4
9	045	Плоско-шліфувальна	4,4	0,64	1	0,64	2
10	050	Горизонтально-розточна	6,4	1,24	2	0,62	2
11	055	Горизонтально-фрезерна	2,02	0,29	1	0,29	3
12	060	Вертикально-фрезерна	1,78	0,26	1	0,26	3
Всього			37,41		14		31

Коефіцієнт закріплення операцій орівнює:

$$K_{з.о} = \frac{31}{14} = 2.21$$

Згідно ДСТУ 31108-94 виробництво багатосерійне.

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ		Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата			

Встановлюємо організаційну форму виробництва для механообробки. Для потокової форми організації виробництва визначаємо добову програму випуску деталей:

$$N_{\partial} = \frac{N}{D}, \quad (2.6)$$

де D – річна кількість робочих днів ($D=254$ дні)

$$N_{\partial} = \frac{35000}{254} = 137.8 \approx 138 \text{шт.деталей}$$

Розрахунок продуктивності потокової лінії:

$$Q_{\partial} = (v \cdot F_c \cdot \eta_{з.л.}) \left(\sum_{i=1}^v T_{ум.i} \right)^{-1}, \quad (2.7)$$

де v – кількість операцій

$\eta_{з.л.}$ – коефіцієнт завантаження потокової лінії ($\eta_{з.л.}=0,6$).

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

$$Q_{\partial} = (12 \cdot 952 \cdot 0.6) \cdot 37.41^{-1} = 183.2 \approx 184 \text{деталей}$$

Так як $Q_{\partial} > N_{\partial}$, то використовувати поточкову форму недоцільно.

Отже, використовуємо групову форму організації виробництва.

Попередньо визначаємо розмір партії деталей за формулою:

$$n_1 = \frac{N_a}{D_1}, \quad (2.8)$$

де $a=3$ – періодичність запуску в днях;

$$n_1 = \frac{35000 \cdot 3}{254} = 413.4 \approx 414$$

Враховуючи двозмінний режим роботи в кожен зміну випускається по 200 деталей.

2.2 Вибір та розрахункове обґрунтування технологічних баз

Від правильного вибору технологічних баз значною мірою залежать наступні фактори:

— фактична точність виконання розмірів;

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- правильність взаємного розташування поверхонь;
- ступінь складності пристроїв різальних та вимірних інструментів;
- загальна продуктивність оброблення заготовки.

Основні положення, що стосуються класифікації та теорії базування, ґрунтуються на рекомендаціях ДСТУ 21495-09. Вихідними даними для вибору баз слугують: робоче креслення деталі, технічні умови на виготовлення, вид заготовки та стан її поверхонь, бажаний ступінь механізації та автоматизації процесу механічного оброблення.

Кожна заготовка має 6 степенів вільності при переміщенні по осях ОХ, ОУ, ОZ і 3 степені вільності при обертанні відносно цих осей, тому положення заготовки визначається 6 координатами і 6 опорними точками для розташування 6 опорних точок вимагається наявність у деталі трьох поверхонь, які будуть називатися базовими поверхнями, або базами. Бази розрізняють конструкторські технологічні вимірні.

Технологічною базою є площина, яка використовується для визначення положення заготовки при її виготовленні. Згідно ДСТУ 21495-09 бази розділяємо на установочні направляючі і опорні.

Як установчу базу приймаємо нижню поверхню А, яка має найбільші габаритні розміри відповідає всім вимогам по площинності та шорсткості для досягнення необхідної геометричної точності взаємозв'язаних поверхонь. Направляючими базами доцільно використовувати бокові площини, які є найдовші при найменшій ширині і мають розмір 210×25. Опорними базами будемо приймати торцеві поверхні розміром 105×25, які є найменшими в нашій конструктивній деталі. Допоміжною базою деталі є отвір Ø40, так як цей отвір призначений для розміщення в ньому шпиндельного вузла.

Отже, схема базування на чистові бази деталі буде наступною (рисунк 2.1):

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

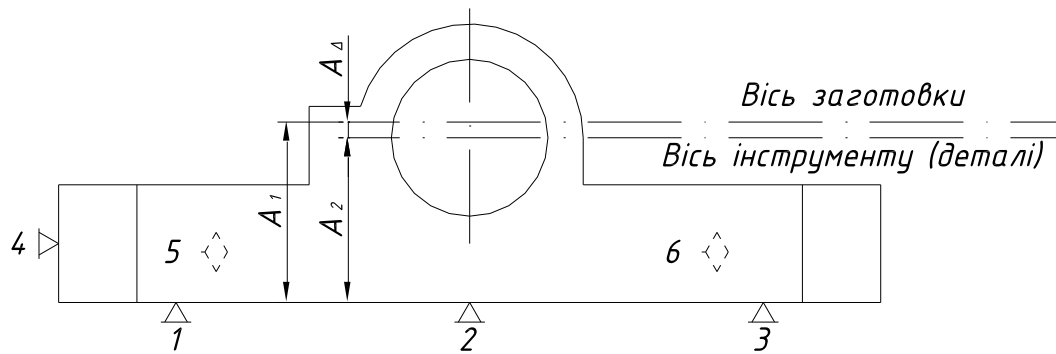


Рисунок 2.1 – Схема чистового базування

Основними завданнями при виборі чорнових баз є забезпечення мінімальної похибки розміру замикаючої ланки A_{Δ} .

Розглянемо три можливі варіанти базування обробки чистових баз (рисунок 2.2).

Знайдемо похибки розміру замикаючої ланки A_{Δ} при кожному варіанті базування:

$$\begin{aligned} A_{\Delta} &= A_1 - A_2 \\ \omega A_{\Delta} &= \omega A_1 + \omega A_2, \\ \omega A_1 &= \omega B_1 + \omega A_2 = \omega B_1 + \omega B_2 + \omega A_2 \end{aligned} \quad (2.9)$$

де $\omega A_2 = 60 + 10 = 70 \text{ мкм}$ - похибка настроювання інструменту;

$\omega B_1 = 100 \text{ мкм}$ - допуск заготовки;

$\omega \Gamma_2 = \omega B_2 = \omega B_2 = 0,025$ - допуск на зміщення отвору;

$$\omega B_1 = 1100 \text{ мкм}; \quad \omega \Gamma_1 = 64 \text{ мкм}$$

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

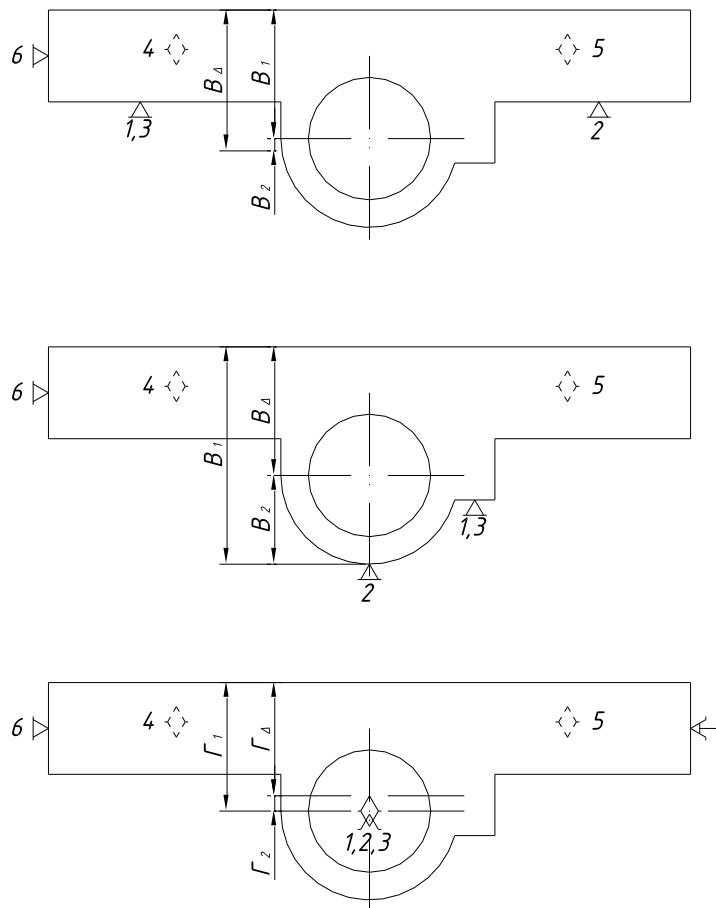


Рисунок 2.2 – Схема варіантів чорнових баз:

1. $\omega A = 0,35 \text{ мм}$; 2. $\omega A = 1,35 \text{ мм}$; 3. $\omega A = 0,45 \text{ мм}$

З розрахунків видно, що найменша похибка розміру замикаючої ланки A_{Δ} буде при першому варіанті базування складання вузла будемо розглядати, як 2 етапи технологічного процесу, загальне складання вузла і окремих підвузлів. Для цього будується схема загального складання по якій визначається послідовність з'єднання деталей. Точність яку необхідно забезпечити при складання має суттєвий вплив на розробку технологічного процесу і на випробування. Базовою деталлю в нашому вузлі приймаємо корпус УГ250.31.00.011 в якому отвір $\varnothing 40H7$ є базою для установки гільзи і шпинделя з підшипниковими з'єднаннями. Розмірний ланцюг для посадки гільзи в отвір буде проаналізований по наступній схемі.

1. Визначають елементи складальних одиниць (деталі), які входять в заданий розмірний ланцюг (рисунок 2.3).

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

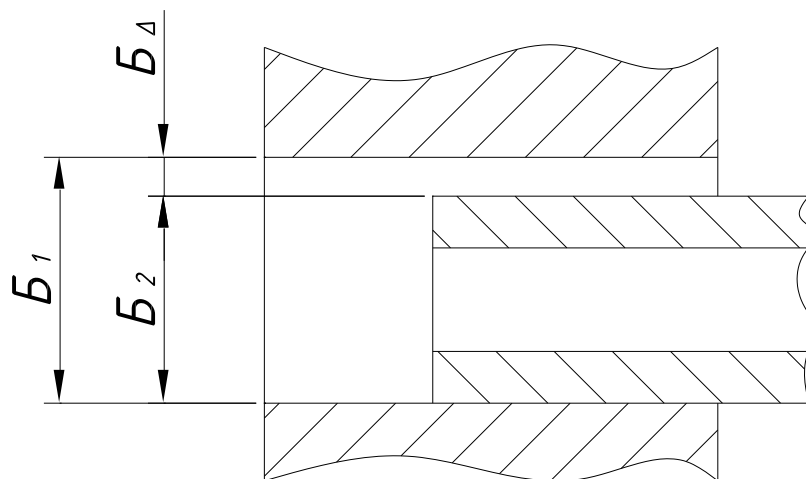


Рисунок 2.3 – Розмірний ланцюг з'єднання гільзи і отвору:

B_1 – розмір отвору; B_2 – розмір гільзи; B_Δ – вихідна або замикаюча ланка

2. Виявляють замикаючу або вихідну ланку ланцюга. Номінальний розмір замикаючої ланки повинен бути рівний алгебраїчній сумі номінальних розмірів ланок ланцюга.

Рівняння розмірного ланцюга складальної одиниці має вид:

$$\bar{A}_\square = \bar{A}_1 - (\bar{A}_2 + \bar{A}_3), \quad (2.22)$$

У загальному виді це рівняння можна представити наступним чином:

$$A_\square = \sum_{i=1}^n \bar{A}_i - \sum_{i=n+1}^{m-1} \bar{A}_i, \quad (2.10)$$

3. Встановлюють величину і допуск замикаючої ланки розмірного ланцюга, виходячи з призначення і експлуатаційних особливостей складальної одиниці або виробу.

4. Розподіляють допуск T_Δ замикаючої ланки серед ланок ланцюга, тобто визначають допуск всіх ланок. При цьому вважають, що всі ланки однаково впливають на допуск залишкової ланки і їх допуски можуть бути рівними. Середній допуск для кожної ланки ланцюга

$$T_{cp} = T_{A_\square} / (m-1), \quad (2.11)$$

5. Вибирають метод рішення розмірного ланцюга, тобто спосіб складання.

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

6. Встановлюють відхилення ланок ланцюга.

$$B_1=40,025\text{мм}$$

$$B_2=39,984\text{мм}$$

$$\Delta B=B_1-B_2=40,025-39,984=0,041\text{мм} - \text{максимальний зазор.}$$

Отже, величина допуску замикаючої ланки дорівнює 0,041мм. Допуск розбиваємо на 3 підгрупи і забезпечуємо можливість повної взаємозаміни деталей у заданих підгрупах при визначеній посадці $40 \frac{H7(+0.025)}{h7(-0.016)}$.

2.3. Визначення допусків, припусків і операційних розмірів. Проектування заготовки

У масовому виробництві користуються розрахунково-аналітичним методом розрахунків припусків на кожному технологічному переході.

Для досягнення необхідної точності заданих поверхонь вибираємо припуски та механічну обробку. Величина між операційних припусків залежить від необхідної точності на виконуваний розмір, точності заготовки, економічної точності прийнятого методу обробки та конфігурації деталі. Величину допуску узгоджуємо з величиною відповідному йому припуску на всі операціях, переходи визначаємо припуски статистичним методом по нормативах для двох різнохарактерних операцій, розраховуємо припуск аналітичним способом по емпіричних формулах, враховуючи симетричність та несиметричність розташування припусків. Величина припуску повинна бути достатньою для того, щоб були ліквідовані різноманітні дефекти заготовки (нерівності, відхилення від заданого розміру і форми, дефектний шар). Найменший припуск на обробку, достатній при найменшому розмірі заготовки для зовнішніх поверхонь і при найбільшому граничному розмірі заготовки для внутрішніх поверхонь.

Мінімальне значення припуску $Z_{\min}$ на механічну обробку визначають за формулами:

— для односторонньої обробки:

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$z_{i\min} = R_{zi-1} + F_{i-1} + \bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_{yi}, \quad (2.12)$$

— для двосторонньої обробки:

$$2z_{i\min} = 2(R_{zi-1} + F_{i-1} + \bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_{yi}), \quad (2.13)$$

де R_{zi-1} – висота нерівностей профілю поверхонь на попередньому переході, мм;

F_{i-1} – глибина дефективного поверхневого шару на попередньому переході, мм;

ρ_{i-1} – сумарні відхилення форми, взаємного розташування поверхні на попередньому переході, мм;

ε_{yi} – похибка установлення заготовки на виконуваному переході, мм.

Сумарне значення ρ_{i-1} визначається як векторна сума просторових відхилень:

$$\bar{\rho}_{i-1} = \bar{\rho}_1 + \bar{\rho}_2, \quad (2.14)$$

У тих випадках, коли не можна передбачити напрямлення вектора в просторі в цілях отримання найбільш вірогідного значення ρ_{i-1} , його значення сумують правилом квадратного кореня:

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}, \quad (2.15)$$

Аналогічно визначають сумарне значення просторових відхилень, похибок установки від похибок закріплення і базування деталі ($\bar{\varepsilon}_y = \bar{\varepsilon}_3 + \bar{\varepsilon}_6$).

Щоб забезпечити постійність величини міжопераційних припусків на кожному переході, розмір оброблюваної поверхні повинен знаходитися у визначених межах, які характеризують міжопераційні.

Допуск на припуск δ_z визначається як різниця найбільшого і найменшого граничних значень припуску на даний перехід (операцію)

$$\delta_z = z_{i\max} - z_{i\min} = \delta_{i-1} - \delta_i, \quad (2.16)$$

де δ_{i-1} – допуск розміру заготовки на попередній операції;

δ_i – допуск розміру заготовки на даній операції.

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Вихідними даними для розрахунку припусків є прийнятий спосіб одержання заготовки, прийнятий технологічний процес обробки, методу установки та закріплення деталі на кожну операцію, прийняті пристрої та ріжучі інструменти значення припусків на механічну обробку, розміри заготовки та їх відхилення знаходимо табличним методом [8] і заносимо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Припуски і розміри заготовки

Розмір деталі, мм	Допуск, мм	Припуск, мм	Розмір заготовки, мм	
			Min	Max
210	1,1	2,0	213,45	214,55
105	1,0	2,0	108,5	109,5
Ø40	0,7	1,5	36,65	37,35
25	0,7	1,2	25,85	26,55

Знайдемо припуски аналітичним методом на отвір Ø40H7.

Величину значень R_{zi-1} і T_{i-1} вибираємо по таблицям 48. т.1. [2].

$R_{zi-1}=300\text{мкм}$; $T_{i-1}=300\text{мкм}$ – для чорнового зенкування.

Величину короблення $\rho_{\text{кор}}$ знаходимо по формулі:

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta k \cdot l, \quad (2.17)$$

де $l=105\text{мм}$ – довжина оброблюваного отвору;

$\Delta k=0,7\ldots 3\text{мкм/мм}$ (для плит) – питома величина короблення. Приймаємо $\Delta k=1\text{мм}$;

$$\rho_{\text{кор}} = 1 \cdot 105 = 105\text{мкм}$$

$\varepsilon_y=30$ – похибка установки і закріплення заготовки в пристрої.

Враховуючи, що обробку отвору будемо проводити з однієї установки, похибку короблення і установки обраховуємо тільки на першому технологічному переході.

Припуск на зенкування чорнове буде дорівнювати:

$$2z_{\text{min заг.}} = 2(300 + 300 + 105 + 30) = 735 \cdot 2\text{мкм} = 1470\text{мкм}$$

Максимальне значення припуску визначається по формулі:

$$2z_{i\text{max}} = 2z_{i\text{min}} + \delta_i - \delta_{i-1}, \quad (2.18)$$

де δ_i – допуск на розмір на виконуваному переході;

δ_{i-1} – допуск на розмір на попередньому переході.

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для першого технологічного переходу при обробці чорнової заготовки і при витримуванні розміру від чорнової баз допуск береться рівним:

$$\delta = \frac{\delta_{\text{заг}} - \delta_{\text{обр}}}{2}, \quad (2.19)$$

де $\delta_{\text{заг}}$ – допуск заготовки;

$\delta_{\text{обр.}}$ – допуск на розмір оброблюваної поверхні.

$\delta_{\text{заг}}=1000\text{мкм}$ – при відливанні в кокіль.

Після зенкування чорнового отримуємо 11 квалітет точності допуск на який рівний 160мкм.

$$2z_{\text{max}1} = 2 \cdot 735 + \frac{1000 - 169}{2} = 1890\text{мкм}$$

При чистовому зенкеруванні:

$$R_{Zi-1} = 50\text{мкм}; \quad T_{i-1} = 50\text{мкм}; \quad \delta_{i-1} = 80\text{мкм.} - 9 \text{ квалітет.}$$

$$2z_{\text{max}2} = 2 \cdot (50 + 50) + 160 - 80 = 280\text{мкм}$$

При чорновому розверстуванні:

$$R_{Zi-1} = 25\text{мкм}; \quad T_{i-1} = 25\text{мкм}; \quad \delta_{i-1} = 39\text{мкм.} - 8 \text{ квалітет.}$$

$$2z_{\text{max}3} = 2 \cdot (25 + 25) + 80 - 39 = 141\text{мкм}$$

При чистовому розверстуванні:

$$R_{Zi-1} = 20\text{мкм}; \quad T_{i-1} = 0\text{мкм}; \quad \delta_{i-1} = 25\text{мкм.} - 7 \text{ квалітет.}$$

$$2z_{\text{max}2} = 2 \cdot 20 + 39 - 25 = 54\text{мкм}$$

Сумарний припуск визначаємо по зведеній таблиці припусків 2.8.

Таблиця 2.8 Розрахунок припусків і розмірів заготовки

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Технологічні переходи	Елементи припуску, мкм				Розрах. припусків, мкм	Розр. розмір, мм	Допуск, мкм	Граничний розмір, мкм		Граничні значення припусків	
	R_z	T	ρ	ε_y				d_{min}	d_{max}	$2z_{min}$	$2z_{max}$
Заготовка	300	300	105	30			1000	37,2	38,2	1810	2365
Зенкерування чорнове	50	50	-	-	735-2	39,5	160	39,5	39,66	1470	1890
Зенкерування чистове	25	25	-	-	100-2	39,8	80	39,8	39,88	200	280
Розверстування чорнове	20	0	-	-	50-2	39,95	39	39,95	39,989	100	141
Розверстування чистове	10	0	-	-	20-2	40	25	40	40,025	40	54
Заготовка	200	300	189	120			1000	28,879	26,879	942	1759
Фрезерування	50	-	11,34	-	809	20,07	300	25,07	25,37	872	1509
Шліфування	10	-	-	-	68,5	25	120	25	25,12	70	250

Аналогічно привели розрахунки для визначення припусків на пов.31 в розмір 25мм і занесли результати розрахунки в таблиці 2.8. На основі цієї таблиці розробляємо креслення заготовки та схему розташування припусків

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ					Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата						

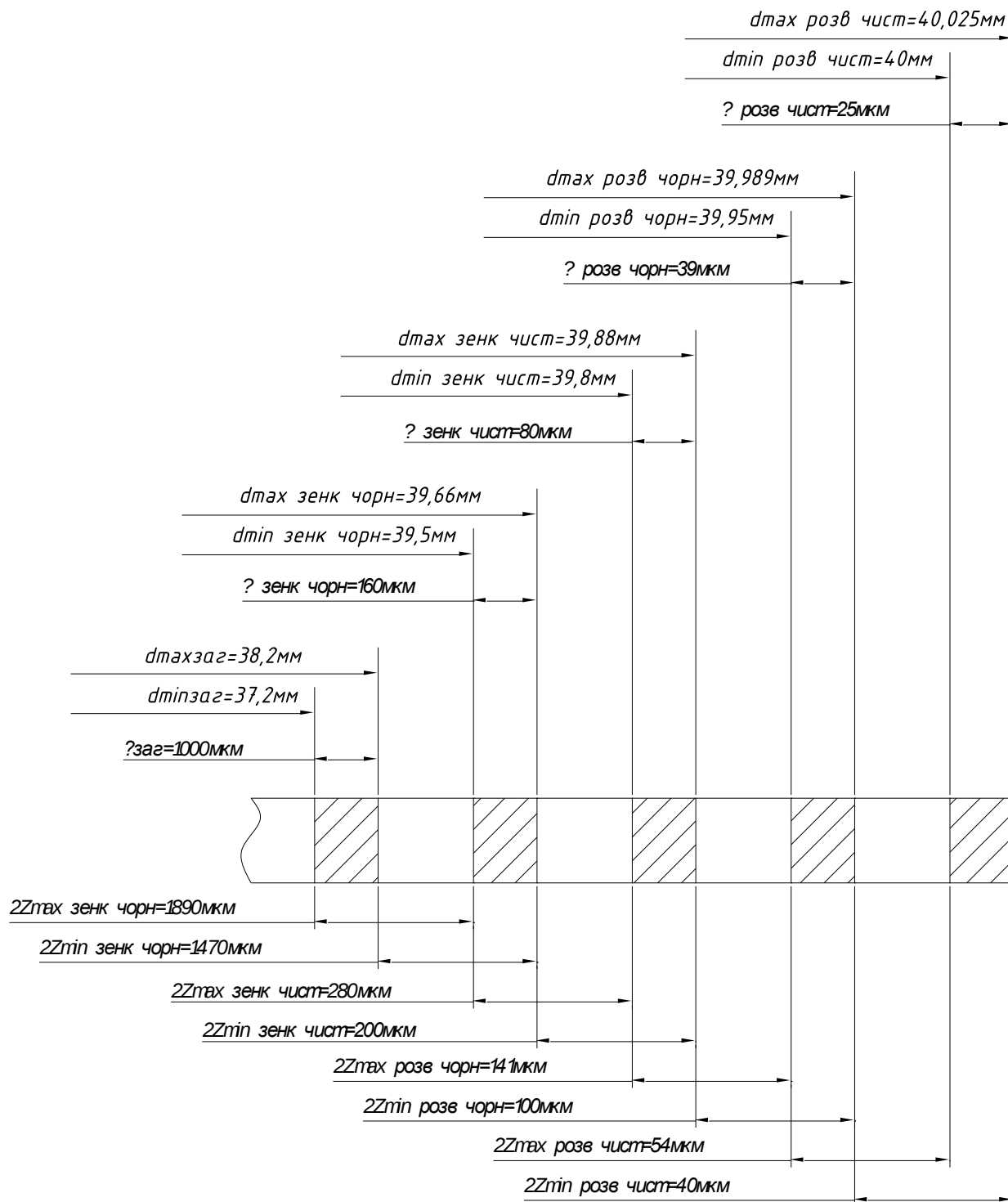


Рис.2.4 – Схема розташування припусків на отвір Ø40H7

2.4. Розмірний аналіз технологічного процесу

Розмірний аналіз є одним із обов'язкових етапів конструкторської підготовки виробництва, оскільки якість і трудомісткість виробів в значній мірі визначається якістю розмірної обробки. Даний аналіз дозволяє виявити

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

взаємозв'язок деталей і складальних одиниць, які входять в конструкцію машини і визначити методи досягнення необхідної точності, проаналізувати правильність простановки розмірів і допусків на кресленнях та внести зміни у відповідності з вибраними методами і засобами забезпечення потрібної точності різних параметрів, підвищити технологічність деталі та конструкції у цілому тощо.

Розмірний аналіз проводимо для лінійних розмірів деталі використовуючи наступні формули. Якщо шуканий розмір зменшуюча ланка:

$$S_{x \max} = \sum S_{j \min} - \sum S_{g \max} - Z_{\min}$$

Якщо - збільшуюча ланка, то

$$S_{x \min} = Z_{\min} - \sum S_{j \min} + \sum S_{g \max}$$

де $S_{x \max}$ - найбільше значення шуканого розміру;

$S_{x \min}$ - найменше значення шуканого розміру;

$S_{j \min}$ - мінімальні значення збільшуючих ланок;

$S_{g \max}$ - максимальні значення зменшуючих ланок.

Вихідні дані для розрахунку:

Конструкторські розміри

$$A_1 = 210 \pm 0.575$$

$$A_2 = 40H7(^{+0.025})$$

$$A_3 = 25 \pm 0.26$$

Мінімальні припуски:

$$Z_{2 \min} = Z_{10 \min} = 2$$

$$Z_{6 \min} = 1.8$$

$$Z_{7 \min} = 1.0$$

$$Z_{8 \min} = 0.5$$

$$Z_{9 \min} = 0.1$$

$$Z_{13 \min} = 2$$

$$Z_{14 \min} = 0.5$$

$$Z_{15 \min} = 0.05$$

Розрахунок розмірного аналізу зведемо у таблицю 2.9.

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

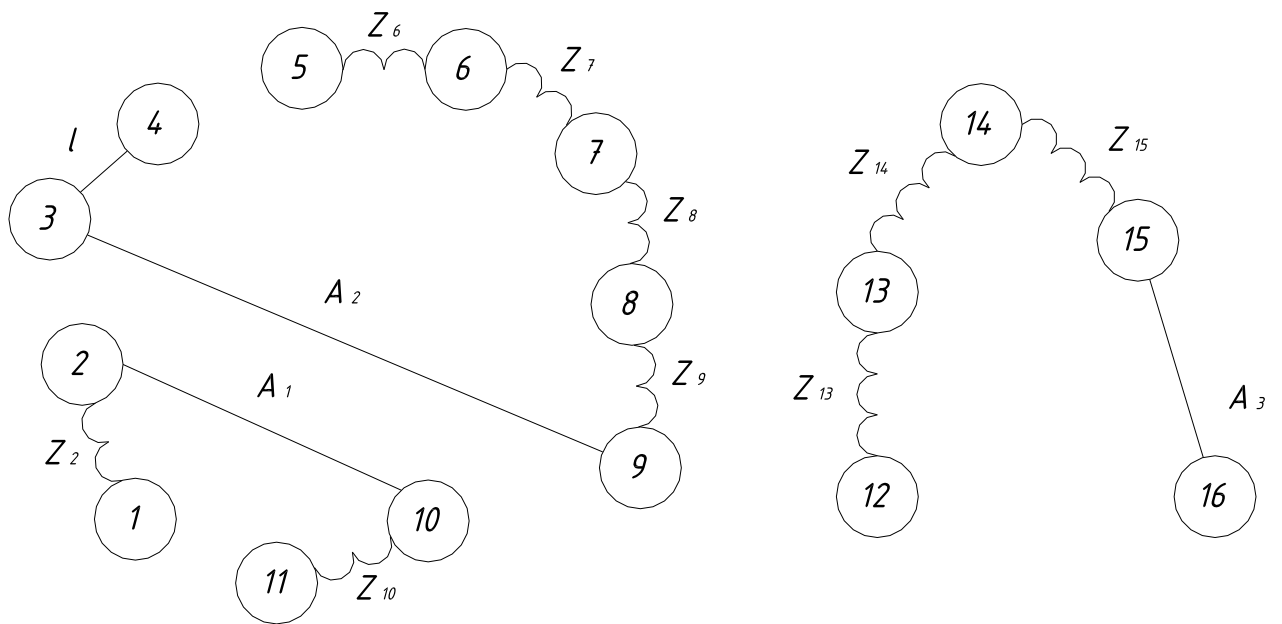


Рисунок 2.5 – Конструкторський граф

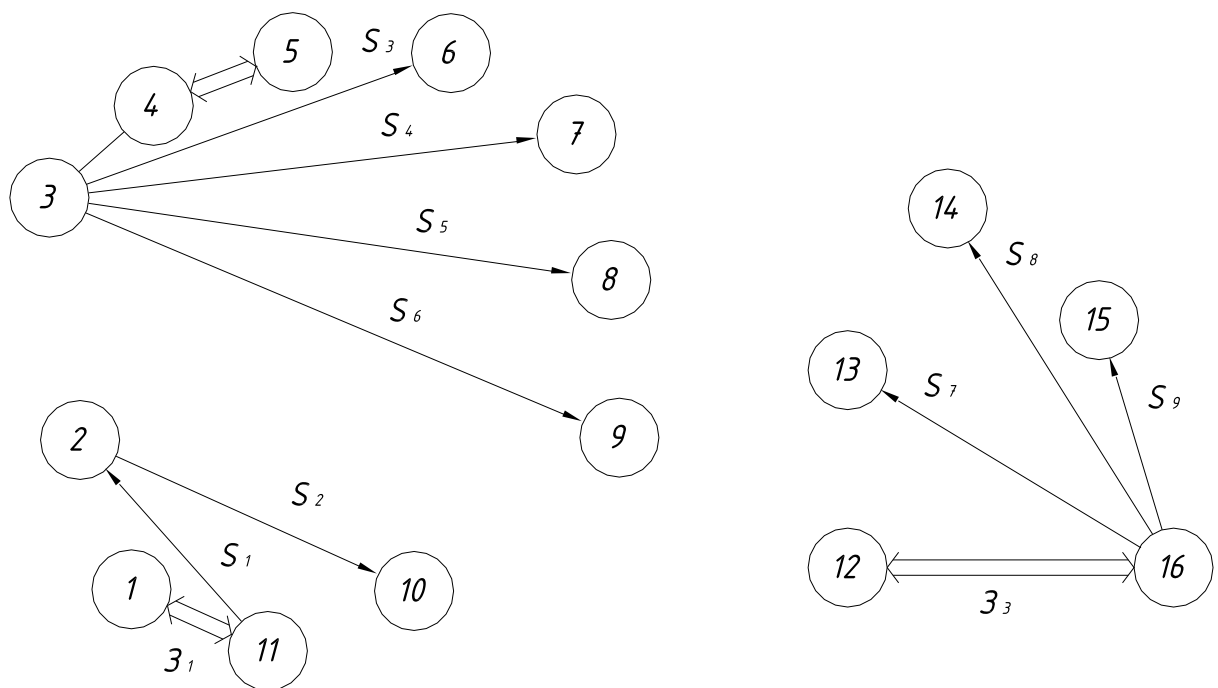


Рисунок 2.6- Технологічний граф

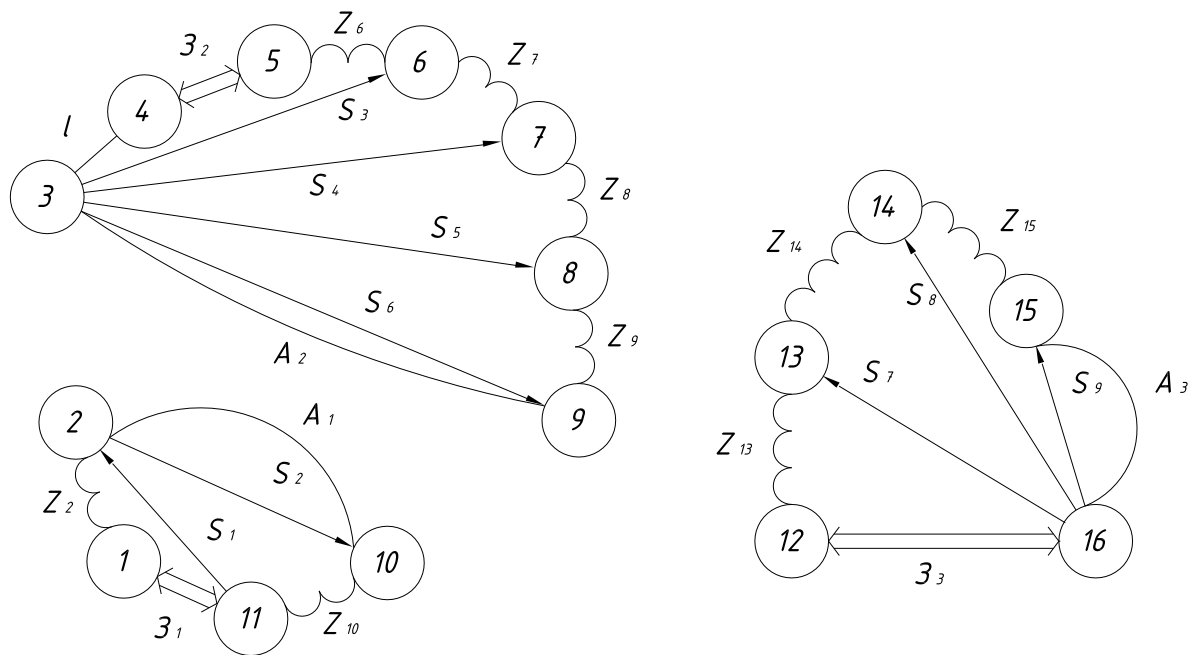


Рисунок 2.7 – Суміщений граф

2.5. Розрахунок режимів різання, вибір обладнання та оснащення

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

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

Визначаємо режими різання на операцію фрезерування нижньої площини. Фрезерування проводимо на вертикально-фрезерному верстаті. Ріжучий інструмент приймаємо торцеву фрезу з вставними призматичними зубцями, оснащену пластинками із твердого сплаву ІЗК8. Діаметр торцевої фрези вибирають в залежності від ширини оброблюваної поверхні. Орієнтовно $D=1,4$ В; звідси $D=1,4 \times 105=147$ мм. Приймаємо стандартну фрезу діаметром $D=160$ мм, 2214-0159, ДСТУ9473-00 з вставними ножами, оснащеними пластинами з твердого сплаву $Z=12$. Подачу S вибираємо з таблиці 65 [2].

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Швидкість різання розраховуємо по формулі:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_u \cdot K_M \cdot K_\phi}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot Z^n \cdot B^z}, \quad (2.20)$$

де C_v приведене в табл.62 [2] $C_v=176,5$; $T=225$;

x, m, q, n, y, z – показники степеня визначені в таблиці 63 [2] T - період стійкості інструменту.

$x=0,2$; $m=0,35$; $y=0,56$; $z=0,15$; $q=0,25$; $n=0$

k_ϕ – коефіцієнт, який враховує вплив марки оброблюваного матеріалу на швидкість фрезерування, визначається в таблиці 66 [2]. $K_\phi=1,18$

Швидкість фрезерування буде рівна:

$$V = \frac{176,5 \cdot 160^{0,25} \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1,18}{225^{0,35} \cdot 3^{0,2} \cdot 0,1^{0,56} \cdot 12^0 \cdot 40^{0,15}} = 131,09 \text{ мм/хв}^{-1}$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 131,09}{3,14 \cdot 160} = 260,9 \text{ хв}^{-1}$$

Сила різання розраховується по формулі

$$P_z = 10C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot Z \cdot B^z / D^q \cdot n^w, \quad (2.21)$$

де C_p і x, y, z, q приведені в таблиці 58 [2]

$C_p=70$; $x=1,14$; $y=0,7$; $z=0,9$; $q=1,14$; $w=0$.

Величина коефіцієнта C_p міняється зі зміною величини переднього кута γ і швидкості різання V , що збільшується множенням коефіцієнта C_p на поправочні коефіцієнти k_1 і k_2 .

$k_1=1,1$; $k_2=0,98$ таблиця 69[2]

$$P_z = 10 \cdot 70 \cdot 1,1 \cdot 0,96 \cdot 3^{1,14} \cdot 0,1^{0,7} \cdot 12 \cdot 95^{0,9} / 160^{1,14} \cdot 260,9^0 = 2465,6 \text{ Н.}$$

Визначаємо потужність фрезерування

$$N_p = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020} = \frac{2465,6 \cdot 131,09}{60 \cdot 1020} = 5,29 \text{ кВт}$$

Тоді потужність електродвигуна рівна

$$N_{eg} = \frac{N_p}{\eta} = \frac{5,29}{0,75} = 7,05 \text{ кВт}$$

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

По потужності електродвигуна вибираємо верстат моделі 6P13, потужність електродвигуна $N_{eg}=7,5\text{КВт}$.

Згідно паспортних даних коректують режими різання:

$$n=250\text{хв}^{-1}; V=150\text{м/хв.}; S=0,1.$$

Визначаємо основний технологічний час обробки поверхні:

$$T_o = \frac{(L + y + l)_i}{S_z \cdot Z \cdot n}, \quad (2.22)$$

де L – довжина обробки деталі, мм; $L=450\text{мм}$.

Приймаємо одночасну обробку двох деталей.

$$y = \sqrt{B \cdot (D - B)} = \sqrt{105 \cdot (160 - 105)} = 75,99\text{мм} \approx 76\text{мм} \quad \text{— довжина врізання}$$

інструменту;

$L=3\text{мм}$ – перебіг інструменту

$$T_o = \frac{450 + 76 + 3}{0,1 \cdot 12 \cdot 250} = 1,74 \quad \text{хв}$$

Визначимо режими різання при шліфуванні площини. Операція виконується на плоскошліфувальному верстаті мод.3Б722. Розмір робочої поверхні $B=105\text{мм}$; $L=210\text{мм}$; $h=25\text{мм}$; шорсткість обробки $R_a=1,25\text{мкм}$; припуск на шліфування $0,2\text{мм}$; ма деталі С420. на магнітному столі верстату встановлено в пристрої по дві заготовки, тому довжина шліфування буде рівна $L=210 \times 2 = 420\text{мм}$. Вибираємо шліфувальний круг прямого профілю розміром $\varnothing 450 \times 63 \times 205$. Матеріал круга – карбід кремнію чорний 54С, зернистість круга 40, структура середня №7. Зв'язка керамічна к1. Матировка круга: Круг ПП42С4ОПСМ227К1А – 35м/с ДСТУ 2424-00. Швидкість руху деталі в повздовжньому переміщенні приймаємо $V_g=10\text{м/хв.}$, глибина шліфування $St=0,01\text{мм}$, подача круга $S_B=0,2 \times 63 = 12,6\text{мм}$ на подвійний хід. Визначаємо потужність необхідну для різання:

$$N_{piz} = 1,77(V_g \cdot S_B \cdot S_{tx})^{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}, \quad (2.23)$$

де S_B – поперечна подача круга, мм/хід;

S_{tx} – глибина шліфування;

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

k_1, k_2, k_3 – поправочні коефіцієнти на потужність по довіднику нормувальника;

$$k_1=1; k_2=1,1; k_3=F_3/(B_3L_3)=420\cdot105/(420\cdot105)=1$$

де B_3 – ширина заготовки

F_3 – сумарна площа шліфування

L_3 – довжина шліфування

$$N_{\text{різ}}=1,77(10\cdot12,6\cdot0,01)^{0,07}\cdot1\cdot1,1\cdot1=2,33\text{кВт}$$

Провіряємо доста точність потужності двигуна шліфувального шпинделя. Верстат 3Б722 має вихідну потужність з врахуванням коефіцієнта корисної дії $\eta=0,8$.

$$N_{\text{шп}}=N_{\text{дв}}\cdot\eta=10\cdot0,8=8\text{кВт}$$

$$N_{\text{різ}} < N_{\text{шп}}(2,33 < 8), \text{ тобто обробка можлива.}$$

Вибираємо режим при свердлінні отвору $\varnothing 6,6$. Вибираємо свердло, встановлюємо його геометричні елементи. Приймаємо свердло спіральне з швидкорізальної сталі з циліндричним хвостовиком середньої серії за ДСТУ10902-77 з параметрами: $d=6,6\text{мм}$; $l=101\text{мм}$; довжина робочої частини свердла $L=63\text{мм}$.

Встановлюємо глибину різання по формулі:

$$T=0,5d=0,5\cdot6,6=3,3\text{мм}$$

По глибині різання назначаємо максимально допустиму подачу

$$S=0,15\text{мм/об [2] том.2.}$$

Стійкість свердла $T=35\text{хв}$

Швидкість різання визначаємо при умові свердління сірого чавуну СЧ20 з врахуванням стійкості ріжучого інструменту і відношення глибини різання до діаметра інструменту по таблиці ст.118. Вибираємо швидкість різання 19м/хв .

Вибрану швидкість різання множимо на поправочні коефіцієнти:

$$V=V_{\text{табл}} k_1 k_2 k_3 \quad (2.36)$$

де k_1 – коефіцієнт який залежить від обробляємого матеріалу;

k_2 – від стійкості інструменту;

k_3 – від відношення довжини різання до діаметру $k_1=0,9$; $k_2=1,3$; $k_3=1$.

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$V=19\cdot0,9\cdot1,3\cdot1=22,23\text{м/хв.}$$

Знаходимо частоту обертання шпинделя

$$n = \frac{1000V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 22,23}{3,14 \cdot 6,6} = 1073 \text{ хв}^{-1}$$

Встановлюємо силу різання:

$$M_{кр}=10\cdot C_m\cdot d^q\cdot S^y\cdot K_p \quad (2.24)$$

$$P_o=10\cdot C_p\cdot d^q\cdot S^y\cdot K_p \quad (2.25)$$

де $K_p=1$ – коефіцієнт, що враховує фактичні умови обробки.

Для крутного моменту:

$$C_m=0,021; \quad q=2; \quad y=0,8$$

Для сили різання:

$$C_p=42,7; \quad q=1; \quad y=0,8$$

$$\text{Тоді } M_{кр}=10\times0,021\times6,6^2\times0,15^{0,8}\times1=2,84 \text{ (Н}\cdot\text{м)}$$

$$P_o=10\times42,7\times6,6^1\times0,15^{0,8}\times1=873 \text{ (Н)}$$

Визначаємо ефективну потужність по формулі:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{2,84 \cdot 1073}{9750} = 0,28 \text{ кВт}$$

Потужність верстату з врахуванням коефіцієнту корисної дії

$$N_{\hat{a}} = \frac{N_e}{0,75} = \frac{0,28}{0,75} = 0,38 \text{ кВт}$$

Вибираємо верстат моделі 2Н135 з потужністю двигуна 4кВт.

Встановлюємо реальні значення подачі та частоти обертання по паспорту верстату $S_g=0,3\text{мм/об}, \quad n_g=1250\text{об/хв.}$

Визначаємо дійсну швидкість різання та потужність, порівнюємо з потужністю головного приводу.

					КРБ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Кінематичний розрахунок

Розрахунок граничних режимів різання

- Вибираємо мінімальний і максимальний діаметр фрези виходячи з розміру стола [1, с.36].

$$d_{\min} = 0.8d_0 = 0.8 \cdot 50 = 40 \text{ мм};$$

$$d_{\max} = 2.5 \cdot R_{\text{цф}} = 1.25 \cdot 120 = 150 \text{ мм};$$

Призначаємо максимальну і мінімальну глибини різання:

$$t_{\max} = 20 \text{ мм};$$

$$t_{\min} = 4 \text{ мм};$$

Згідно довідника [4, с.282] максимальна і мінімальна подачі:

$$S_{\max} = 0.18;$$

$$S_{\min} = 0.09;$$

Тоді визначаємо граничні швидкості різання при відповідних подачах і коефіцієнтах:

$$v_{\max} = \frac{740 \cdot 150^{0.2}}{120^{0.2} \cdot 4^{0.4} \cdot 0.18^{0.4} \cdot 35^0 \cdot 15^0} \cdot 1 = 243 \text{ м / хв};$$

$$v_{\min} = \frac{53 \cdot 40^{0.25}}{120^{0.2} \cdot 20^{0.3} \cdot 0.4^{0.2} \cdot 35^{0.2} \cdot 15^{0.1}} \cdot 1 = 12.3 \text{ м / хв};$$

- Визначення граничних чисел обертів шпинделя і обґрунтування структурної формули приводу.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА			
Розроб.		Мулик Р.П.						
Перевір.		Сеник А.А.						
Реценз.								
Н. Контр.		Кобельник						
Затверд.		Крупа В.В.			ТНТУ, гр.МВ-41			

Верхню і нижню межу чисел обертів шпинделя розраховують за формулами:

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot v_{\max}}{\pi \cdot d_{\min}} \text{ об/хв},$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot v_{\min}}{\pi \cdot d_{\max}} \text{ об/хв},$$

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot 243}{3.14 \cdot 40} = 2211 \text{ об/хв},$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 12,3}{3.14 \cdot 150} = 26,11 \text{ об/хв},$$

Діапазон регулювання:

$$R = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{2200}{26} = 84.$$

Для точного регулювання частот обертання і подач в металорізальних верстатах застосовують електродвигуни постійного струму у поєднанні з коробками швидкостей. При цьому повинна виконуватись умова:

$$R_{\Pi} = R_e^N \cdot R_M;$$

де R_e^N - діапазон регулюючого двигуна;

R_M - діапазон регулювання коробки швидкостей, тобто коробку швидкостей можна розглядати як переборну групу, яка розширює діапазон регулювання приводу.

$$R_e^N = \frac{n_{\text{об.н}}}{n_{\text{об.мак}}} = \frac{2500}{750} = 3,3;$$

$$R_M = \frac{R_{\Pi}}{R_e^N} = \frac{84}{3,3} = 25$$

Вибираємо значення ряду геометричної прогресії “φ”, вибір якого буде диктуватися необхідною точністю регулювання швидкостей, ступінню універсальності верстату і його типом.

Приймаємо φ=1,26.

Визначаємо число ступеней коробки швидкостей:

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$z_M = \frac{\lg 84}{\lg 3.3} = 3.4 \approx 4.$$

В приводі виходить перекриття швидкостей, так як $z_M = 3.4$ заокруглено в більшу сторону до $z_M = 4$.

Число ступеней двигуна:

$$P_\phi = \frac{\lg R_e^N}{\lg \phi} + 1 = \frac{\lg 3.3}{\lg 1.26} + 1 = 6.$$

Складаємо структурну формулу, яка записується у вигляді добутку:

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

де $P_1, P_2, P_3 \dots$ - число, яке вказує на кількість передач в кожній незалежній групі;

$x_1, x_2, x_3 \dots$ - характеристики відповідних незалежних груп.

Для забезпечення мінімальних габаритів коробок швидкостей необхідно, щоб виконувались умови:

$$1) P_1 > P_2 > P_3; \quad 2) x_1 < x_2 < x_3;$$

- Побудова структурних сіток і графіків чисел обертів.

Будуємо структурну сітку. Виконуємо побудову графіка чисел обертів.

Записуємо оптимальний варіант структурної формули:

$$z_{\text{ом}}^{\text{II}} = P_\phi \cdot R_{\text{cm1}}(x_1) \cdot R_{\text{cm2}}(x_2) = 6(1) \cdot 2(5) \cdot 2(10).$$

Будуємо структурне поле і наносимо на нього характеристики груп і числа незалежних груп.

Поводимо аналіз кожної групової передачі, тобто визначаємо кількість клітинок по графіку повинен пересікти промінь понижуючої передачі кожної групи.

Нахил променів на графіку чисел обертів відповідає конкретним значенням передаточних відношень, які повинні відповідати умові $\frac{1}{4} \leq i \leq 2$.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для виконання цієї умови необхідно на четвертій групі поставити проміжний вал.

Отримані передаточні відношення визначаються в подальшому через числа зубців окремих складових передач.

Перша група:

$$i_1 = \frac{1}{1.26^0} = 1..$$

Друга група:

$$i_2 = \frac{1}{1.26^{5.5}} = 0.28$$

$$i_{2'} = \frac{1}{1.26^{0.5}} = 0.89$$

Третя група:

$$i_3 = \frac{1}{1.26^5} = 0.315;$$

$$i_{3'} = \frac{1}{1.26^0} = 1.$$

Четверта група:

$$i_4 = \frac{1}{1.26^5} = 0.315;$$

$$i_{4'} = \frac{1}{1.26^0} = 1.$$

Таким чином промінь першої групи не перетне жодної клітинки, промінь другої клітинки 5,5 клітинок, третьої групи 5 клітинок і четвертої групи також 5 клітинок.

Визначення передаточних відношень і чисел зубів коліс зубчастих механізмів.

Числа зубців механізмів визначаються декількома методами: табличним, пошуком найменшого спільного кратного і методом підбору по найменшим або найбільшим передаточним відношенням окремих груп (лімітуючому).

Скористаємось табличним методом [5, с.122]:

$$i_2 = \frac{z_1}{z_2} = 0.28, \quad z_1 = 20, \quad \sum z = 91, \quad z_2 = 71.$$

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_{2'} = \frac{z_3}{z_4} = 0.89,$$

$$\sum z = 91, \quad z_3 = 43, \quad z_4 = 48.$$

$$i_3 = \frac{z_5}{z_6} = 0.315,$$

$$z_5 = 20, \quad \sum z = 84, \quad z_6 = 64.$$

$$i_{3'} = \frac{z_7}{z_8} = 1,$$

$$\sum z = 84, \quad z_7 = 42, \quad z_8 = 42.$$

$$i_4 = \frac{z_8}{z_{11}} = 1,$$

$$z_8 = 42, \quad \sum z = 84, \quad z_{11} = 42.$$

$$i_{4'} = \frac{z_9}{z_{10}} = 0.315,$$

$$\sum z = 84, \quad z_9 = 20, \quad z_{10} = 64.$$

Результати заносимо в таблицю.

i	Перша група	Друга група		Третя група		Четверта група	
	$i_1 = 1$	$i_2 = 0.28$	$i_{2'} = 0.89$	$i_3 = 0.315$	$i_{3'} = 1$	$i_4 = 1$	$i_{4'} = 0.315$
$\frac{z_i}{z_{i+1}}$	-	$\frac{20}{71}$	$\frac{43}{48}$	$\frac{20}{64}$	$\frac{42}{42}$	$\frac{42}{42}$	$\frac{20}{64}$
$\sum z$	-	91		84		84	

3.2. Вибір структури приводу та його компоновка.

Визначаємо розрахункові обертові моменти:

$$T_{об.} = 9550 \cdot \frac{N_{дв.} \cdot \eta}{n_{розр.}}, \text{ де}$$

$N_{дв.} = 15$ кВт – номінальна потужність двигуна;

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

η - ККД механізму від електродвигуна до розглядуваного вала.

$n_{розр.}$ - розрахункова частота обертання вала (об/хв).

$$\eta = \eta_{зп}^3 \cdot \eta_{п.коч} = 0,99^3 \cdot 0,997^3 = 0,961$$

$$T_{об.1} = 9550 \cdot \frac{15 \cdot 0,961}{750} = 183,5 H \cdot м;$$

$$T_{об.2} = 9550 \cdot \frac{15 \cdot 0,961}{200} = 688,3 H \cdot м;$$

$$T_{об.3} = 9550 \cdot \frac{15 \cdot 0,961}{60} = 2294,4 H \cdot м;$$

$$T_{об.4} = 9550 \cdot \frac{15 \cdot 0,961}{109} = 1263 H \cdot м.$$

3.3. Силовий розрахунок приводу.

Передшпиндельна група складається з двох пар передач з числами зубів $z_9 = 20$, $z_{10} = 64$ і $z_8 = 42$, $z_{11} = 42$.

Передаточні числа відповідно рівні $\frac{64}{20} = 3,2$; $\frac{42}{42} = 1$.

Розрахувати необхідно передачу з більшим передаточним числом $i = 3,2$.

Визначаємо модуль передач з умови міцності на згин [2, с.4]:

$$m_u = 12,63 \sqrt{\frac{T_{об.} \cdot K_u}{y \cdot z_k \cdot \psi_m \cdot [\sigma]_u}}, мм$$

Значення $y = 0,285$ [2, с.5, табл.2] для $z_k = 64$.

$\psi_m = \frac{b}{m} = 6$ [2, с.6] – коефіцієнт відносної ширини колеса.

Коефіцієнт перегрузки $K_u = K_H \cdot K_{о.и.} \cdot K_{мр.и.}$ [2, с.6], де

$K_H = 1$ [2, с.5, табл.2] – коефіцієнт перегрузки приймаючи рівномірний характер руху.

Для 6 ступені точності і орієнтовної швидкості 5 м/с $K_{о.и.} = 1,1$ [2, с.7, табл.4].

Для жорсткого валу при $\frac{\psi_m}{z} = \frac{6}{64} < 0,2$ $K_{мр.и.} = 1$ [2, с.8, табл.5].

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знаходимо $K_u = 1 \cdot 1.1 \cdot 1 = 1.1$.

$[\sigma]_u$ - допустиме напруження на згин знаходимо, задавшись матеріалом і термообробкою коліс. Вибираємо для шестерні і колеса сталь 40Х з гартуванням ТВЧ до твердості HRC:

Для шестерні HRC 55...58, для колеса HRC 50...55.

$$[\sigma]_u = \sigma_{u.d.} \cdot K_{шл.} \cdot K_{u.реж.}, \text{ де}$$

$\sigma_{u.d.}, \sigma_{к.д.}$ - тривалі границі витривалості зубів [2, с.9, табл.6].

$$\sigma_{u.d.} = 240 \text{ МПа}, \sigma_{к.д.} = 900 \text{ МПа}.$$

При чистовому режимі шліфування $K_{шл.} = 1.05$ [2, с.10, табл.7].

$K_{u.реж.}, K_{к.реж.}$ - коефіцієнти нестационарного режиму навантаження, враховують те, що передачі універсальних верстатів не завжди передають повну потужність, що дозволяє підвищити допустимі напруження порівняно з тривалими границями витривалості.

$$K_{u.реж.} = 1.4 \text{ [2, с.10, табл.8].}$$

Звідси $[\sigma]_u = 240 \cdot 1.05 \cdot 1.4 = 350 \text{ МПа}$.

$$\text{Тоді} \quad m_u = 12,6 \sqrt[3]{\frac{1263 \cdot 1,1}{0,285 \cdot 64 \cdot 6 \cdot 350}} = 4,17 \text{ мм}.$$

Міжосьова відстань з умови поверхневої міцності:

$$A = 10(u+1) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{332}{u \cdot [\sigma]_{пов.}}\right)^2 \cdot \frac{T_{об.}}{\psi_A}} \text{ мм, де}$$

$[\sigma]_{пов.} = \sigma_{к.д.} \cdot K_{к.реж.}$ - допустиме напруження на контактну міцність.

$$[\sigma]_{к.д.} = 900 \text{ МПа, [2, с.9, табл.6].}$$

$$K_{к.реж.} = K_Q \cdot \sqrt[6]{\frac{K_N \cdot N_0 \cdot P}{60 \cdot T_p \cdot n_p}}; \text{ де}$$

$N_0 = 10^8$ - розрахункове (базове) число циклів навантажень при випробування матеріалу шестерні на витривалість [2, с.9, табл.6];

$P = 2$ - кількість передач в групі де знаходиться розраховувана передача;

$n_{розр} = 109$ - розрахункова частота обертання шестерні в об/хв.;

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

T_p - задана довговічність передачі в годинах, звичайно $T_p = 10^4$ год.

$K_Q i K_N$ - коефіцієнт збільшення $\sigma_{\kappa, \delta} i N_0$, що залежать від степені універсальності верстату і місцеположення передачі в приводі; для верстатів загального призначення приймаються по таблиці 8.

$$K_Q = 1.2, K_N = 1.7.$$

$\psi_A = 0.15$ - коефіцієнт відносної ширини колеса [2, с.6].

$$K_{\kappa, \text{рез.}} = 1.2 \cdot \sqrt[6]{\frac{1.7 \cdot 10^8 \cdot 2}{60 \cdot 10^4 \cdot 109}} = 1.58$$

$$[\sigma]_{\text{пов.}} = 900 \cdot 1.58 = 1421.5 \text{ МПа.}$$

$$A = 10(3.2 + 1) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{332}{3.2 \cdot 1421.5}\right)^2 \cdot \frac{1263}{0.15}} = 149 \text{ мм}$$

Визначаємо величину міжосьової відстані, після призначення $m = 6$ мм.

$$A = \frac{m \cdot (z_{10} + z_9)}{2} = \frac{6 \cdot (64 + 20)}{2} = 252 \text{ мм.}$$

Оскільки одержана величина “А” більша “ $A_{\text{розр.}}$ ”, то вибране значення модуля забезпечує працездатність передачі по згину і контактній міцності.

Визначення основних геометричних параметрів зачеплення

Визначимо ділильні діаметри шестерні і колеса:

ділильні діаметри шестерні і колеса:

$$d_{10} = m_n \cdot z_{10} = 6 \cdot 64 = 384 \text{ мм;}$$

$$d_9 = m_n \cdot z_9 = 6 \cdot 20 = 120 \text{ мм,}$$

Діаметри вершин витків зубів шестерні і колеса:

$$d_{a10} = d_{10} + 2 \cdot m_n = 384 + 2 \cdot 6 = 396 \text{ мм}$$

$$d_{a9} = d_9 + 2 \cdot m_n = 120 + 2 \cdot 6 = 136 \text{ мм}$$

Діаметри впадин зубів:

$$d_{f10} = d_{10} - 2.5 \cdot m = 384 - 6 \cdot 2.5 = 369 \text{ мм}$$

$$d_{f9} = d_9 - 2.5 \cdot m_n = 120 - 2.5 \cdot 6 = 105 \text{ мм}$$

Ширина колеса:

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$b_{10} = \phi_{ba} \cdot a_w = 0,2 \cdot 252 = 50_{\text{мм}}$$

ширина шестерні:

$$b_9 = b_{10} + 5 = 50 + 2 = 52_{\text{мм}}$$

Кутова швидкість колеса:

$$w_{10} = \frac{\pi \cdot n_{\text{розр.}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 109}{30} = 11,4_{\text{рад/с}}$$

Колова швидкість колеса і степінь точності передачі:

$$V_{10} = w_{10} \cdot d_{10} / 2 \cdot 1000 = 11,4 \cdot 384 / 2 \cdot 1000 = 2,18_{\text{м/с.}}$$

Розрахунок сил, що діють в зачепленні.

Сили, що діють в зачепленні прямозубої циліндричної передачі розкладають на три складові [3,с.59,рис.4.3]:

колову силу

$$F_t = \frac{2 \cdot T_{\text{об.4}}}{d_{10}} = \frac{2 \cdot 1263 \cdot 10^3}{384} = 6578_{\text{Н;}}$$

радіальну

$$F_r = F_t \cdot \text{tg} \alpha = 6578 \cdot 0,364 = 2394_{\text{Н;}}$$

осьову

$$F_a = F_t \cdot \text{tg} \beta = 2394 \cdot 0 = 0_{\text{Н.}}$$

2) Розрахунок другої зубчастої передачі в передшпіндельній групі.

Вихідні дані:

$$z_8 = 42, \quad z_{11} = 42, \quad n_{\text{розр.}} = 200_{\text{об/хв}}, \quad T_{\text{об.4'}} = 9550 \cdot \frac{15 \cdot 0,961}{200} = 688,3_{\text{Н} \cdot \text{м;}}$$

Передаточне співвідношення $\frac{42}{42} = 1.$

Модуль для другої передачі передшпіндельної групи з технологічних міркувань приймаємо таким же, при цьому міцність цієї передачі буде автоматично забезпечена, так як обертовий момент, який передається нею, менший. Аналогічно проводиться розрахунок груп передач, які з'єднують інші вали коробки швидкостей, визначаючи розрахунковий момент по мінімальному

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

числу обертів веденого валу. Вибираємо для шестерні і колеса сталь 40Х з гартуванням ТВЧ до твердості HRC:

Для шестерні HRC 55...58, для колеса HRC 50...55.

Визначення основних геометричних параметрів зачеплення

Визначимо ділильні діаметри шестерні і колеса:

ділильні діаметри шестерні і колеса:

$$d_{11} = m_n \cdot z_{11} = 6 \cdot 42 = 252 \text{ мм};$$

$$d_8 = m_n \cdot z_8 = 6 \cdot 42 = 252 \text{ мм},$$

Діаметри вершин витків зубів шестерні і колеса:

$$d_{a11} = d_{11} + 2 \cdot m_n = 252 + 2 \cdot 6 = 264 \text{ мм}$$

$$d_{a8} = d_8 + 2 \cdot m_n = 252 + 2 \cdot 6 = 264 \text{ мм}$$

Діаметри впадин зубів:

$$d_{f11} = d_{11} - 2,5 \cdot m = 252 - 6 \cdot 2,5 = 237 \text{ мм}$$

$$d_{f8} = d_8 - 2,5 \cdot m_n = 252 - 2,5 \cdot 6 = 237 \text{ мм}$$

Ширина колеса:

$$b_{11} = \phi_{ba} \cdot a_w = 0,2 \cdot 252 = 50 \text{ мм}$$

ширина шестерні:

$$b_8 = \phi_{ba} \cdot a_w = 0,2 \cdot 252 = 50 \text{ мм}$$

Кутова швидкість колеса:

$$w_{11} = \frac{\pi \cdot n_{розр.}}{30} = \frac{3,14 \cdot 200}{30} = 21 \text{ рад/с}$$

Колова швидкість колеса:

$$V_{11} = w_{11} \cdot d_{11} / 2 \cdot 1000 = 21 \cdot 252 / 2 \cdot 1000 = 2,6 \text{ м/с}.$$

Розрахунок сил, що діють в зачепленні.

Сили, що діють в зачепленні прямозубої циліндричної передачі розкладають на три складові [3,с.59,рис.4.3]:

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

колову силу

$$F_t = \frac{2 \cdot T_{об.4'}}{d_{10}} = \frac{2 \cdot 688 \cdot 10^3}{252} = 5460 \text{ Н};$$

радіальну

$$F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha = 5460 \cdot 0,364 = 1988 \text{ Н};$$

осьову

$$F_a = F_t \cdot \operatorname{tg} \beta = 1988 \cdot 0 = 0 \text{ Н}.$$

Третя група складається з двох пар передач з числами зубів $z_6 = 64$, $z_5 = 20$ і $z_8 = 42$, $z_7 = 42$.

Передаточні числа відповідно рівні $\frac{64}{20} = 3,2$; $\frac{42}{42} = 1$.

Розрахувати необхідно передачу з більшим передаточним числом $i = 3,2$.

Визначаємо модуль передачі з умови міцності на згин [2, с.4]:

$$m_u = 12,63 \sqrt{\frac{T_{об.} \cdot K_u}{y \cdot z_k \cdot \psi_m \cdot [\sigma]_u}}, \text{ мм}$$

Значення $y = 0,285$ [2, с.5, табл.2] для $z_k = 64$.

$\psi_m = \frac{b}{m} = 6$ [2, с.6] – коефіцієнт відносної ширини колеса.

Коефіцієнт перегрузки $K_u = K_H \cdot K_{д.и.} \cdot K_{мр.и.}$ [2, с.6], де

$K_H = 1$ [2, с.5, табл.2] – коефіцієнт перегрузки приймаючи рівномірний характер руху.

Для 6 ступені точності і орієнтовної швидкості 5 м/с $K_{д.и.} = 1,1$ [2, с.7, табл.4].

Для жорсткого валу при $\frac{\psi_m}{z} = \frac{6}{64} < 0,2$ $K_{мр.и.} = 1$ [2, с.8, табл.5].

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

$[\sigma]_u$ - допустиме напруження на згин знаходимо, задавшись матеріалом і термообробкою коліс. Вибираємо для шестерні і колеса сталь 40Х з гартуванням ТВЧ до твердості HRC:

Для шестерні HRC 55...58, для колеса HRC 50...55.

$[\sigma]_u = \sigma_{у.д.} \cdot K_{ил.} \cdot K_{у.реж.}$, де

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\sigma_{u.d.} i \sigma_{к.д.}$ - тривалі границі витривалості зубів [2, с.9, табл.6].

$$\sigma_{u.d.} = 240 \text{ МПа} , \sigma_{к.д.} = 900 \text{ МПа} .$$

При чистовому режимі шліфування $K_{шл.} = 1.05$ [2, с.10, табл.7].

$K_{u.реж.}$, $K_{к.реж.}$ - коефіцієнти нестационарного режиму навантаження, враховують те, що передачі універсальних верстатів не завжди передають повну потужність, що дозволяє підвищити допустимі напруження порівняно з тривалими границями витривалості.

$$K_{u.реж.} = 1.4 \text{ [2, с.10, табл.8].}$$

$$\text{Звідси } [\sigma]_u = 240 \cdot 1.05 \cdot 1.4 = 350 \text{ МПа} .$$

$$\text{Тоді} \quad m_u = 12,6 \sqrt[3]{\frac{2294 \cdot 1,1}{0,285 \cdot 64 \cdot 6 \cdot 350}} = 4.38 \text{ мм} .$$

Міжосьова відстань з умови поверхневої міцності:

$$A = 10(u+1) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{332}{u \cdot [\sigma]_{пов.}}\right)^2 \cdot \frac{T_{об.}}{\psi_A}} \text{ мм, де}$$

$[\sigma]_{пов.} = \sigma_{к.д.} \cdot K_{к.реж.}$ - допустиме напруження на контактну міцність.

$$[\sigma]_{к.д.} = 900 \text{ МПа, [2, с.9, табл.6]. } K_{к.реж.} = K_Q \cdot \sqrt[6]{\frac{K_N \cdot N_0 \cdot P}{60 \cdot T_p \cdot n_p}}; \text{ де}$$

$N_0 = 10^8$ - розрахункове (базове) число циклів навантажень при випробування матеріалу шестерні на витривалість [2, с.9, табл.6];

$P = 2$ - кількість передач в групі де знаходиться розраховувана передача;

$n_{розр.} = 60$ - розрахункова частота обертання шестерні в об/хв.;

T_p - задана довговічність передач в годинах, звичайно $T_p = 10^4 \text{ год.}$

$K_Q i K_N$ - коефіцієнт збільшення $\sigma_{к.д.} i N_0$, що залежать від степені універсальності верстату і місцеположення передачі в приводі; для верстатів загального призначення приймаються по таблиці 8.

$$K_Q = 1.2 , K_N = 1.7 .$$

$\psi_A = 0.15$ - коефіцієнт відносної ширини колеса [2, с.6].

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{к.реж.} = 1,2 \cdot \sqrt[6]{\frac{1,7 \cdot 10^8 \cdot 2}{60 \cdot 10^4 \cdot 60}} = 1,74$$

$$[\sigma]_{нов.} = 900 \cdot 1,74 = 1570 \text{ МПа.}$$

$$A = 10(3,2 + 1) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{332}{3,2 \cdot 1570}\right)^2 \cdot \frac{2294}{0,15}} = 170,4 \text{ мм}$$

Визначаємо величину міжосьової відстані, після прийняття $m = 6 \text{ мм}$.

$$A = \frac{m \cdot (z_6 + z_5)}{2} = \frac{6 \cdot (64 + 20)}{2} = 252 \text{ мм.}$$

Оскільки одержана величина “А” більша “А_{розр.}”, то вибране значення модуля забезпечує працездатність передачі по згинув і контактній міцності.

Визначення основних геометричних параметрів зачеплення

Визначимо ділильні діаметри шестерні і колеса:

ділильні діаметри шестерні і колеса:

$$d_6 = m_n \cdot z_6 = 6 \cdot 64 = 384 \text{ мм;}$$

$$d_5 = m_n \cdot z_5 = 6 \cdot 20 = 120 \text{ мм,}$$

Діаметри вершин витків зубів шестерні і колеса:

$$d_{a6} = d_6 + 2 \cdot m_n = 384 + 2 \cdot 6 = 396 \text{ мм}$$

$$d_{a5} = d_5 + 2 \cdot m_n = 120 + 2 \cdot 6 = 136 \text{ мм}$$

Діаметри впадин зубів:

$$d_{f6} = d_6 - 2,5 \cdot m = 384 - 6 \cdot 2,5 = 369 \text{ мм}$$

$$d_{f5} = d_5 - 2,5 \cdot m_n = 120 - 2,5 \cdot 6 = 105 \text{ мм}$$

Ширина колеса:

$$b_6 = \phi_{ba} \cdot a_w = 0,2 \cdot 252 = 50 \text{ мм}$$

ширина шестерні:

$$b_5 = b_6 + 2 = 50 + 2 = 52 \text{ мм}$$

Кутова швидкість колеса:

$$\omega_6 = \frac{\pi \cdot n_{розр.}}{30} = \frac{3,14 \cdot 60}{30} = 6,28 \text{ рад/с}$$

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Колова швидкість колеса і степінь точності передачі:

$$V_6 = w_6 \cdot d_6 / 2 \cdot 1000 = 6.28 \cdot 384 / 2 \cdot 1000 = 1.2 \text{ м/с.}$$

Розрахунок сил, що діють в зачепленні.

Сили, що діють в зачепленні прямозубої циліндричної передачі розкладають на три складові [3,с.59,рис.4.3]:

колову силу

$$F_t = \frac{2 \cdot T_{об.3}}{d_6} = \frac{2 \cdot 2294 \cdot 10^3}{384} = 11948 \text{ Н;}$$

радіальну

$$F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha = 11948 \cdot 0,364 = 4349 \text{ Н;}$$

осьову

$$F_a = F_t \cdot \operatorname{tg} \beta = 11948 \cdot 0 = 0 \text{ Н.}$$

2) Розрахунок другої зубчастої передачі в групі.

Вихідні дані:

$$z_7 = 42, \quad z_8 = 42, \quad n_{розр.} = 200 \text{ об/хв}, \quad T_{об.3'} = 9550 \cdot \frac{15 \cdot 0,961}{200} = 688,3 \text{ Н} \cdot \text{м;}$$

$$\text{Передаточне відношення} \quad \frac{42}{42} = 1.$$

Модуль для другої передачі групи з технологічних міркувань приймаємо таким же, при цьому міцність цієї передачі буде автоматично забезпечена, так як обертовий момент, який передається нею, менший. Вибираємо для шестерні і колеса сталь 40Х з гартуванням ТВЧ до твердості HRC:

Для шестерні HRC 55...58, для колеса HRC 50...55.

Визначення основних геометричних параметрів зачеплення

Визначимо ділильні діаметри шестерні і колеса:

ділильні діаметри шестерні і колеса:

$$d_7 = m_n \cdot z_7 = 6 \cdot 42 = 252 \text{ мм;}$$

$$d_8 = m_n \cdot z_8 = 6 \cdot 42 = 252 \text{ мм,}$$

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діаметри вершин витків зубів шестерні і колеса:

$$d_{a7} = d_7 + 2 \cdot m_n = 252 + 2 \cdot 6 = 264_{\text{мм}}$$

$$d_{a8} = d_8 + 2 \cdot m_n = 252 + 2 \cdot 6 = 264_{\text{мм}}$$

Діаметри впадин зубів:

$$d_{f7} = d_7 - 2,5 \cdot m = 252 - 6 \cdot 2,5 = 237_{\text{мм}}$$

$$d_{f8} = d_8 - 2,5 \cdot m_n = 252 - 2,5 \cdot 6 = 237_{\text{мм}}$$

Ширина колеса:

$$b_7 = \phi_{ba} \cdot a_w = 0,2 \cdot 252 = 50_{\text{мм}}$$

ширина шестерні:

$$b_8 = \phi_{ba} \cdot a_w = 0,2 \cdot 1252 = 50_{\text{мм}}$$

Кутова швидкість колеса:

$$w_7 = \frac{\pi \cdot n_{\text{розр.}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 200}{30} = 21_{\text{рад/с}}$$

Колова швидкість колеса:

$$V_7 = w_7 \cdot d_7 / 2 \cdot 1000 = 21 \cdot 252 / 2 \cdot 1000 = 2,64_{\text{м/с.}}$$

Розрахунок сил, що діють в зачепленні.

Сили, що діють в зачепленні прямозубої циліндричної передачі розкладають на три складові [3,с.59,рис.4.3]:

колову силу

$$F_t = \frac{2 \cdot T_{\text{од.4'}}}{d_7} = \frac{2 \cdot 688 \cdot 10^3}{252} = 5460_{\text{Н;}}$$

радіальну

$$F_r = F_t \cdot \text{tg} \alpha = 5460 \cdot 0,364 = 1988_{\text{Н;}}$$

осьову

$$F_a = F_t \cdot \text{tg} \beta = 5460 \cdot 0 = 0_{\text{Н.}}$$

Друга група складається з двох пар передач з числами зубів $z_1 = 20$, $z_2 = 71$, і

$$z_3 = 42, \quad z_4 = 48.$$

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Передаточні числа відповідно рівні $\frac{71}{20} = 3.55$; $\frac{48}{42} = 1.14$.

Розрахувати необхідно передачу з більшим передаточним числом $i = 3.55$.

Визначаємо модуль передачі з умови міцності на згин[2, с.4]:

$$m_u = 12,6 \sqrt[3]{\frac{T_{об.} \cdot K_u}{y \cdot z_k \cdot \psi_m \cdot [\sigma]_u}}, мм$$

Значення $y=0,285$ [2, с.5, табл.2] для $z_k = 64$.

$\psi_m = \frac{b}{m} = 6$ [2, с.6] – коефіцієнт відносної ширини колеса.

Коефіцієнт перегрузки $K_u = K_H \cdot K_{д.и.} \cdot K_{мр.и.}$ [2, с.6], де

$K_H = 1$ [2, с.5, табл.2] – коефіцієнт перегрузки приймаючи рівномірний характер руху.

Для 6 ступені точності і орієнтовної швидкості 5 м/с $K_{д.и.} = 1.1$ [2, с.7, табл.4].

Для жорсткого валу при $\frac{\psi_m}{z} = \frac{6}{71} < 0.2$ $K_{мр.и.} = 1$ [2, с.8, табл.5].

Знаходимо $K_u = 1 \cdot 1.1 \cdot 1 = 1.1$.

$[\sigma]_u$ - допустиме напруження на згин знаходимо, задавшись матеріалом і термообробкою коліс. Вибираємо для шестерні і колеса сталь 40Х з гартуванням ТВЧ до твердості HRC:

Для шестерні HRC 55...58, для колеса HRC 50...55.

$[\sigma]_u = \sigma_{и.д.} \cdot K_{шл.} \cdot K_{и.реж.}$, де

$\sigma_{и.д.}$ і $\sigma_{к.д.}$ - тривалі границі витривалості зубів [2, с.9, табл.6].

$\sigma_{и.д.} = 240 МПа$, $\sigma_{к.д.} = 900 МПа$.

При чистовому режимі шліфування $K_{шл.} = 1.05$ [2, с.10, табл.7].

$K_{и.реж.}$, $K_{к.реж.}$ - коефіцієнти нестационарного режиму навантаження, враховують те, що передачі універсальних верстатів не завжди передають повну потужність, що дозволяє підвищити допустимі напруження порівняно з тривалими границями витривалості.

$K_{и.реж.} = 1.3$ [2, с.10, табл.8].

Звідси $[\sigma]_u = 240 \cdot 1.05 \cdot 1.3 = 328 МПа$.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді
$$m_u = 12,6 \sqrt[3]{\frac{688 \cdot 1,1}{0,285 \cdot 71 \cdot 6 \cdot 328}} = 3,36 \text{ мм}.$$

Міжосьова відстань з умови поверхневої міцності:

$$A = 10(u+1) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{332}{u \cdot [\sigma]_{\text{пов.}}}\right)^2 \cdot \frac{T_{\text{об.}}}{\psi_A}} \text{ мм, де}$$

$[\sigma]_{\text{пов.}} = \sigma_{\text{к.д.}} \cdot K_{\text{к.реж.}}$ - допустиме напруження на контактну міцність.

$$[\sigma]_{\text{к.д.}} = 900 \text{ МПа, [2, с.9, табл.6].}$$

$$K_{\text{к.реж.}} = K_Q \cdot \sqrt[6]{\frac{K_N \cdot N_0 \cdot P}{60 \cdot T_P \cdot n_P}}; \text{ де}$$

$N_0 = 10^8$ - розрахункове (базове) число циклів навантажень при випробування матеріалу шестерні на витривалість [2, с.9, табл.6];

$P = 2$ - кількість передач в групі де знаходиться розраховувана передача;

$n_{\text{розр.}} = 200$ - розрахункова частота обертання шестерні в об/хв.;

T_P - задана довговічність передачі в годинах, звичайно $T_P = 10^4 \text{ год.}$

K_Q і K_N - коефіцієнт збільшення $\sigma_{\text{к.д.}} i N_0$, що залежать від степені універсальності верстату і місцеположення передачі в приводі; для верстатів загального призначення приймаються по таблиці 8.

$$K_Q = 1,15, K_N = 1,5.$$

$\psi_A = 0,15$ - коефіцієнт відносної ширини колеса [2, с.6].

$$K_{\text{к.реж.}} = 1,2 \cdot \sqrt[6]{\frac{1,5 \cdot 10^8 \cdot 2}{60 \cdot 10^4 \cdot 200}} = 1,34$$

$$[\sigma]_{\text{пов.}} = 900 \cdot 1,34 = 1206 \text{ МПа.}$$

$$A = 10(3,55 + 1) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{332}{3,55 \cdot 1206}\right)^2 \cdot \frac{688}{0,15}} = 132 \text{ мм}$$

Визначаємо величину міжосьової відстані, після прийняття $m = 5 \text{ мм.}$

$$A = \frac{m \cdot (z_6 + z_5)}{2} = \frac{5 \cdot (70 + 20)}{2} = 225 \text{ мм.}$$

Оскільки одержана величина “А” більша “А_{розр.}”, то вибране значення модуля забезпечує працездатність передачі по згину і контактній міцності.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення основних геометричних параметрів зачеплення

Визначимо ділильні діаметри шестерні і колеса:

ділильні діаметри шестерні і колеса:

$$d_2 = m_n \cdot z_2 = 5 \cdot 70 = 350 \text{ мм};$$

$$d_1 = m_n \cdot z_1 = 5 \cdot 20 = 100 \text{ мм},$$

Діаметри вершин витків зубів шестерні і колеса:

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m_n = 350 + 2 \cdot 5 = 360 \text{ мм}$$

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m_n = 100 + 2 \cdot 5 = 110 \text{ мм}$$

Діаметри впадин зубів:

$$d_{f2} = d_2 - 2,5 \cdot m_n = 350 - 5 \cdot 2,5 = 337,5 \text{ мм}$$

$$d_{f1} = d_1 - 2,5 \cdot m_n = 100 - 2,5 \cdot 5 = 97,5 \text{ мм}$$

Ширина колеса:

$$b_2 = \phi_{ba} \cdot a_w = 0,2 \cdot 225 = 45 \text{ мм}$$

ширина шестерні:

$$b_1 = b_2 + 2 = 45 + 2 = 47 \text{ мм}$$

Кутова швидкість колеса:

$$w_2 = \frac{\pi \cdot n_{\text{розр.}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 200}{30} = 21 \text{ рад/с}$$

Колова швидкість колеса і степінь точності передачі:

$$V_2 = w_2 \cdot d_2 / 2 \cdot 1000 = 21 \cdot 350 / 2 \cdot 1000 = 3,67 \text{ м/с}.$$

Розрахунок сил, що діють в зачепленні.

Сили, що діють в зачепленні прямозубої циліндричної передачі розкладають на три складові [3, с.59, рис.4.3]:

колову силу

$$F_t = \frac{2 \cdot T_{\text{об.3}}}{d_2} = \frac{2 \cdot 688 \cdot 10^3}{350} = 3931 \text{ Н};$$

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

радіальну

$$F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha = 3931 \cdot 0,364 = 1431 \text{ Н};$$

осьову

$$F_a = F_t \cdot \operatorname{tg} \beta = 3931 \cdot 0 = 0 \text{ Н}.$$

2) Розрахунок другої зубчастої передачі в групі.

Вихідні дані:

$$z_3 = 42, \quad z_4 = 48, \quad n_{\text{розр.}} = 650 \text{ об/хв}, \quad T_{\text{об.з'}} = 9550 \cdot \frac{15 \cdot 0,961}{650} = 212 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\text{Передаточне співвідношення} \quad \frac{48}{42} = 1,14.$$

Модуль для другої передачі групи з технологічних міркувань приймаємо таким же, при цьому міцність цієї передачі буде автоматично забезпечена, так як обертовий момент, який передається нею, менший. Вибираємо для шестерні і колеса сталь 40Х з гартуванням ТВЧ до твердості HRC:

Для шестерні HRC 55...58, для колеса HRC 50...55.

Визначення основних геометричних параметрів зачеплення

Визначимо ділильні діаметри шестерні і колеса:

ділильні діаметри шестерні і колеса:

$$d_3 = m_n \cdot z_3 = 5 \cdot 42 = 210 \text{ мм};$$

$$d_4 = m_n \cdot z_4 = 5 \cdot 48 = 240 \text{ мм},$$

Діаметри вершин витків зубів шестерні і колеса:

$$d_{a3} = d_3 + 2 \cdot m_n = 210 + 2 \cdot 5 = 220 \text{ мм}$$

$$d_{a4} = d_4 + 2 \cdot m_n = 240 + 2 \cdot 5 = 250 \text{ мм}$$

Діаметри впадин зубів:

$$d_{f3} = d_3 - 2,5 \cdot m = 210 - 5 \cdot 2,5 = 198,5 \text{ мм}$$

$$d_{f4} = d_4 - 2,5 \cdot m_n = 240 - 2,5 \cdot 5 = 227,5 \text{ мм}$$

Ширина колеса:

$$b_4 = \phi_{ba} \cdot a_w = 0,2 \cdot 225 = 45 \text{ мм}$$

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ширина шестерні:

$$b_3 = b_4 + 2 = 45 + 2 = 47 \text{ мм}$$

Кутова швидкість колеса:

$$w_4 = \frac{\pi \cdot n_{\text{розр.}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 650}{30} = 68 \text{ рад/с}$$

Колова швидкість колеса:

$$V_4 = w_4 \cdot d_4 / 2 \cdot 1000 = 68 \cdot 240 / 2 \cdot 1000 = 8.16 \text{ м/с.}$$

Розрахунок сил, що діють в зачепленні.

Сили, що діють в зачепленні прямозубої циліндричної передачі розкладають на три складові [3,с.59,рис.4.3]:

колову силу

$$F_t = \frac{2 \cdot T_{\text{об.1'}}}{d_{10}} = \frac{2 \cdot 212 \cdot 10^3}{240} = 1766 \text{ Н;}$$

радіальну

$$F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha = 1766 \cdot 0,364 = 643 \text{ Н;}$$

осьову

$$F_a = F_t \cdot \operatorname{tg} \beta = 1766 \cdot 0 = 0 \text{ Н.}$$

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4. Висновок.

Розроблена кінематична схема з достатнім набором ступенів коробки швидкостей і проміжним валом забезпечує плавне та точне регулювання частоти обертання шпинделя.

Обрані структура й передаточні співвідношення оптимальний для забезпечення необхідного діапазону швидкостей без втрат точності.

Силовий розрахунок підтвердив працездатність зубчастих передач — обрані модулі й геометричні параметри забезпечують вимоги міцності на згин і контактну витривалість.

Таким чином, у конструкційній частині забезпечено надійну, точну та технологічну конструкцію приводу головного руху, повністю готову до переходу в технологічний розділ.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Згідно ДСТУ 12.0.003-12 небезпечним виробничим фактором, називають фактор, дія якого на працівника призводить до травми чи до неочікуваного погіршення здоров'я.

Небезпечний виробничий фактор призводить до травм, а шкідливий виробничий фактор призводить до професійного захворювання. При вірній організації робочого місця дія небезпечного виробничого фактора зводиться до мінімуму. Робоче місце це зона прикладання праці окремого робітника чи групи робітників, в якій розташовані матеріально-технічні засоби виробництва.

Організація робочого місця – комплекс організаційних заходів, що забезпечують раціональний трудовий процес та ефективне використання засобів та предметів праці. Для вірної організації робочого місця необхідно забезпечити:

1. Вірне планування робочого місця та раціональне оснащення його відповідним сучасним обладнанням та технологічною оснасткою.
2. Оптимальне просторове положення матеріальних засобів виробництва.
3. Раціональне кольорове фарбування обладнання.
4. Нормоване освітлення робочого місця.

При плануванні робочого місця необхідно передбачити:

- 1) Можливість виконання раціональних рухів, що необхідні для виконання трудового процесу;
- 2) Найбільш економне використання виробничої площі та скорочення шляхів переміщення робітника під час транспортування деталі;

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ				
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата					
Розроб.		Мулик Р.П.			Безпека життєдіяльності та основи охорони праці		Літ	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Окіпний І.Б.							7
Рецензент							ТНТУ, гр. МВ-41		
Н. контр.		Кобельник В.Р.							
Зав. каф.		Крупа В.В.							

3) Раціональне розташування обладнання та оснастки відповідно до послідовності технологічного процесу.

4) Загальні фізіологічні та антропометричні данні людини(зріст, розмах рук та інше).

Основною задачею проектування організації робочого місця є утворення такої конструкції організованого оснащення, при якому відсутні зайві і нераціональні рухи і проблеми, максимально скорочують відстані переміщення робітника. Правильна організація робочого місця передбачає достатнє оснащення його оснащенням і тарою, інструментом і пристосуваннями, які необхідні для забезпечення технологічного процесу, засобами контролю, підйомно-транспортним обладнанням, яке забезпечує мінімальні затрати праці і часу верстатника. Правильна організація робочого місця також повинна забезпечити повну безпеку праці, раціональне освітлення, нормальну температуру, вологість, чистоту повітря.

Розроблений план робочого місця для спеціального фрезерно-центрувального верстата-автомата показано на рисунку 4.1. На підлозі цеху розміщений верстат 1, зліва від нього розміщений магазин з заготовками 3, а також інструментальна тумбочка 4, яка призначена для зберігання ріжучого, вимірювального і допоміжного інструменту, Справа від верстата розміщена тара для готових деталей 2.

Створення сприятливих умов праці, які виключають швидке втомлення зору, виникають підвищенню продуктивності праці, можливе лише освітлювальною установкою, яка має відповідати певним умовам згідно СНиП П-А.9-71 і СНиП П-А.8-72. Освітленість на робочому місці має відповідати зоровим умовам праці згідно гігієнічних норм. Рекомендована освітленість в механічних цехах при роботі на верстатах зведено в табл. 4.1.

Для обмеження засліплюючої дії відбитого світла яскравість допускається значеннями від 500 кД/м² (для поверхні $8 > 0,2 \text{ м}^2$) і до 2500 кД/м² (для $3 < 0,01 \text{ м}^2$).

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця .4.1 - Норми освітлення

Лампи розжарювання				Газорозрядні лампи			
Освітленість, ЛК			Коеф. запасу К	Освітленість, ЛК			Коеф. запасу К
Комбіноване освітлення		Загальне освітлення		Комбіноване освітлення		Загальне освітлення	
Загальне і місцеве	Загальне				Загальне і місцеве		Загальне
1500	150	-	1,3	2000	200	-	1,5

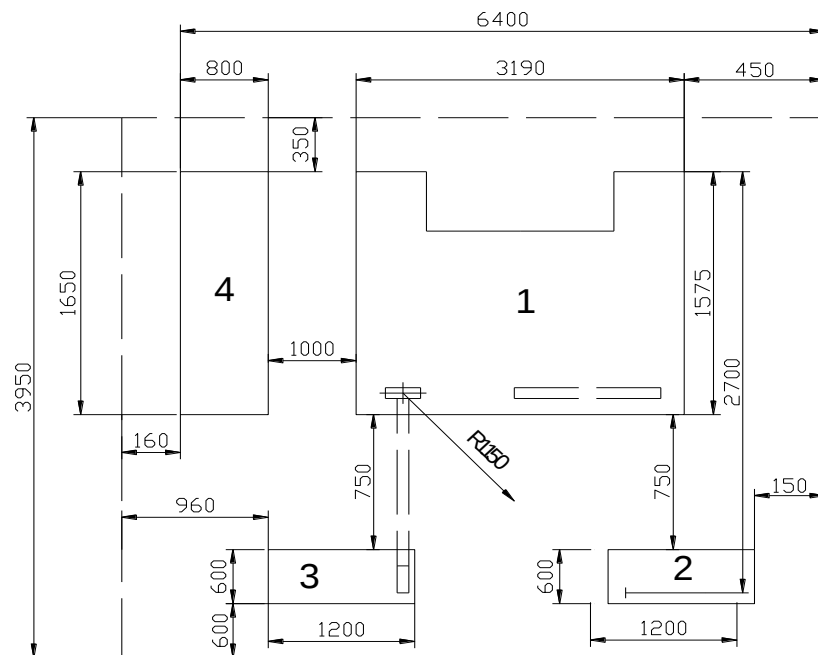


Рис. 4.1. Робоче місце.

1. Верстат.
2. Тара для готових деталей.
3. Магазин з заготовками.
4. Інструментальна тумбочка.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ		Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата			

Найбільшу небезпеку виникнення променевого тепла представляє розплавлений або нагрітий до високих температур метал. Передача тепла може проходити шляхом конвекції, теплопровідності і випромінювання. Перенос тепла відбувається: при конвекції – рухливою середою (потокami повітря, пару або рідини); при теплопровідності – передачею тепла в твердих тілах; при випромінюванні – інтенсивними інфрачервоними променями, котрі безпосередньо повітря не нагрівають, але при поглинанні їх твердими тілами променева енергія переходить в теплову. Нагріті тверді тіла стають джерелами тепла і шляхом конвекції нагрівають повітря в приміщенні.

Дія променевого тепла не завершується змінами, які відбуваються на опромінюваній ділянці шкіри, – на опромінювання реагує весь організм. В організмі виникають біохімічні зміни, настають порушення в серцево-судинній і нервовій системах. При довгочасній дії інфрачервоних променів виникає катаракта очей.

Променева енергія, як і безпосередній контакт з розплавленим або нагрітим металом, може викликати теплові опіки, які по степеню ураження розділяються на три види.

Санітарними нормами передбачено технологічні процеси і промислове обладнання приймати таким, щоб виділення в повітря приміщень, атмосферу і в стічні води були відсутніми або мінімальними шкідливих або неприємно пахучих речовин, тепла і вологи, а також пилу.

Здійснення необхідних міроприємств належить проводити замінюючи шкідливі речовини в промисловості нешкідливими або менш шкідливими; сухі способи переробки пилових матеріалів – мокрими; полум'яний нагрів – електричним; тверде і рідке паливо – газоподібним, а також використовуючи герметизацію і максимальне ущільнення стиків і з'єднань в технологічному обладнанні і трубопроводах – для упередження виділення шкідливостей в процесі виробництва; теплоізоляцію нагрітих поверхонь обладнання,

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

повітропроводів і трубопроводів; укриття погрузочних ємностей механічного транспорту; використовуючи гідропневмотранспортування при транспортуванні пилових матеріалів.

Одним з основних міроприємств по оптимізації параметрів мікроклімату і складу повітря в промислових приміщеннях є забезпечення належного повітрообміну.

Для того щоб створити в промислових приміщеннях нормальні метеорологічні умови, видалити з них шкідливі гази і пари, пил необхідно правильно спроектувати і правильним способом експлуатувати вентиляційну систему (ДСТУ 12.4.021-12).

Робота вентиляційної системи в комплексі з вибором технологічних процесів по ДСТУ 12.3.002-12 і промислового обладнання, відповідаючим вимогам ДСТУ 12.2.003-10, повинна забезпечувати на постійних робочих місцях, в робочій і обслуговуваній зонах приміщення метеорологічні умови і чистоту повітряного середовища, відповідаючим діючим санітарним нормам.

Разом з тим вентиляція повинна забезпечувати умови, що відповідають вимогам технологічного процесу, збереження обладнання і конструкцій будівлі. Встановлення вентиляції в виробничих і допоміжних приміщеннях промислових підприємств є обов'язковим.

Вентиляція по способу переміщення повітря поділяється на природну і механічну. Можливе їх суміщення – змішана вентиляція.

Природна вентиляція поділяється на *аерацію* і *прівітрювання*.

По характеру обхвату приміщення розрізняють загальнообмінну і місцеву вентиляцію; можливе також поєднання цих двох видів вентиляції.

По часу дії – постійно діючу і аварійну. Система вентиляції повинна забезпечувати нормальний склад повітря в виробничих приміщеннях і бути раціональною при якомога менших затратах на її встановлення і експлуатацію.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Правильно підібрана система вентиляції повинна очищувати приміщення від пилу, газу і парі, які виділяються при виробничих процесах. Тому необхідно визначити місця можливих виділення вказаних шкідливостей і обладнати їх місцевими витяжками. Слід мати на увазі, що обмежуватися лише засобами місцевої витяжної вентиляції не можна, присутність загальнообмінної вентиляції обов'язково.

Природна вентиляція здійснюється під дією різниці температур і ваги повітря виробничих приміщень, а також вітрового примусу. Застосування природної вентиляції потребує розміщення обладнання перпендикулярно повздовжнім стінам для забезпечення вільного руху повітряних потоків.

Провітрювання приміщень проводять, відкриваючи квартирки і фрамуги в вікнах і світлових фонарях; це періодично діюча природна вентиляція. Повітрообмін в холодний період року допускається не більше однократного в годину. При цьому необхідно слідкувати, щоб не було пониження температури повітря всередині приміщення нижче розрахункової, появи туману і конденсації водяних парів на поверхні стін, покритті, стекол.

Санітарними нормами встановлено, що об'єм промислових приміщень на одного працюючого повинен складати не менше 15 м^3 , а площа приміщень – не менше $4,5 \text{ м}^2$. В промислових приміщеннях з об'ємом до 20 м^3 на одного працюючого при відсутності забруднення повітря промисловими шкідливостями вентиляція повинна забезпечувати подачу зовнішнього повітря в кількості не менше 30 м^3 в годину на кожного працюючого, а в приміщеннях з об'ємом 20 м^3 на одного працюючого – не менше 20 м^3 в годину. В приміщеннях з об'ємом більше 40 м^3 на одного працюючого при наявності вікон і фонарів допускається періодично відкривати створи вікон і фонарів для природної вентиляції. В усіх вказаних випадках при цьому повинні бути забезпечені норми по температурі і вологості повітря в виробничих приміщеннях.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Якщо в виробничому приміщенні виділяються тепло, волога, шкідливі речовини, пари, газы, пил то проводиться розрахунок повітрообміну з ціллю обґрунтування вибору системи вентиляції.

Отже, приймаємо систему вентиляції з допомогою аерації, для цього при проектуванні будівлі слід передбачити два ряди фрамуг. Приток повітря в приміщення приймається в теплий період року на висоті не більше 1,8 м від підлоги, а в холодний не менше 4 м від підлоги, щоб забезпечити кращий повітрообмін, попередити дію холодного повітря на працюючих і виключити можливість простудних захворювань.

Оскільки розряд виконуваних робіт в виробничому приміщенні – Пб з незначним виділенням явного тепла, то прийняті параметри мікроклімату за ДСТУ 12.1.005-12.

1) В теплий період року:

температура повітря (оптимальна)	—	20-22 °С;
температура повітря (допустима)	—	18-20 °С;
відносна вологість (оптимальна)	—	60-40 %;
відносна вологість (допустима)	—	не вище

75%;

швидкість руху повітря (не більше) (оптимальна)	—	0,4 м/с.
швидкість руху повітря (не більше) (допустима)	—	0,3-0,7 м/с.

1) В холодний і перехідний періоди року:

температура повітря (оптимальна)	—	17-20 °С;
температура повітря (допустима)	—	15-21 °С;
відносна вологість (оптимальна)	—	60-40 %;
відносна вологість (допустима)	—	не вище

75%;

швидкість руху повітря (не більше) (оптимальна)	—	0,3 м/с.
швидкість руху повітря (не більше) (допустима)	—	0,4 м/с.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У першому розділі проведено ґрунтовний аналіз завдання, що полягало у конструюванні компонентів приводу головного руху консольного горизонтально-фрезерного верстату та розробці технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус УГ 250.31.00.011”. Охарактеризовано об’єкт виробництва, визначено його основні технічні та експлуатаційні вимоги. Роглянуто сучасні досягнення у сфері технології, обладнання та оснащення, що використовуються при виробництві подібних деталей, що допомогло обрати найбільш ефективні технологічні методи та інструменти.

Другий розділ присвячений розробці оптимального технологічного процесу виготовлення корпусу. Визначено тип і організаційну форму виробництва, проведено аналіз технологічності деталі, що сприяло удосконаленню конструктивних параметрів. Обрано спосіб отримання заготовки з урахуванням мінімізації матеріальних втрат і трудомісткості. Розроблено методи обробки, підібрано технологічні бази, визначено допуски, припуски та операційні розміри. Проведено розрахунок режимів різання та вибір обладнання і оснастки для забезпечення високої якості і продуктивності. Розроблений технологічний процес є збалансованим і відповідає сучасним вимогам виробництва.

У третьому розділі проведено кінематичний і силовий розрахунки приводу головного руху, що дозволило обрати оптимальну структуру і компоновку механізму. Розрахунки навантажень і режимів роботи забезпечили надійність і ефективність роботи вузла в реальних умовах експлуатації. Обрана конструкція відповідає функціональним вимогам і технологічним можливостям, що підтверджує доцільність її подальшого впровадження.

У роботі також висвітлено питанням безпеки життєдіяльності та охорони праці, що є невід’ємною складовою сучасного виробництва. Проаналізовано потенційні небезпеки під час виготовлення та експлуатації деталі і приводу,

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

визначено заходи для їх мінімізації. Враховано вимоги нормативних документів і стандартів з охорони праці, що сприяє створенню безпечних умов праці для персоналу. Впровадження рекомендованих заходів дозволить знизити ризики травматизму і професійних захворювань, підвищити загальний рівень безпеки виробництва.

Робота охоплює всі необхідні аспекти — від аналізу та вибору оптимальних технологій і конструкційних рішень до розробки безпечних умов праці. Це забезпечує комплексний підхід до створення ефективного і надійного приводу головного руху горизонтально-фрезерного верстату, а також технологічного процесу виготовлення його корпусу. Результати дослідження можуть бути використані для подальшого впровадження в виробництво з урахуванням вимог сучасної техніки безпеки.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Harmonic-dispersion analysis of the shape accuracy of the rolling bushings of drive roller and bushing chains / Senyk A., Kovalov V., Klymenko G., Vasylchenko Y., Shapovalov M., Kobelnyk O. // Procedia Structural Integrity. 7th International Conference on In-service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction, DMDP 2023 Ternopil 18 October 2023 до 20 October 2023. 2024. Vol. 59, P. 502-507.
2. The influence of titanium as a desferoidizing element on the stability of production of magnesium cast irons with compacted graphite / A. Senuk, L. Slobodyan, V. Aulina, V. Kropivnya, O. Kuzyka, O. Lyashuk, M. Bosyia, Y. Vovk, A. Kropivna, M. Sokolc // Tribology in Industry. - Kragujevac : University of Kragujevac, 2021. - Vol. 43. - № 4. - P. 654-666.
3. New technology for the manufacturing and use of rolling kingpin bushings in the undercarriage of certain vehicles / Senyk A., Kobelnyk V., Gagaliuk A., Plavutska I., Matviyishyn A., Larochkin A., Dubyniak T. // Procedia Structural Integrity. 7th International Conference on In-service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction, DMDP 2023 Ternopil 18 October 2023 до 20 October 2023. 2024. Vol. 59, P. 508-515.
4. P. Kryvyy, P. Kryvinsky, V. Bodnar, I. Sotnyk, A. Senuk. "Theoretical and Experimental Substantiation of Angle Orientation of Rolling Bushings of Roller and Bushing Chains". Paper no. MSEC 2007-31211 International Manufacturing Science and Engineering conference. October 15-18, 2007, Atlanta, Georgia, USA, pp. 623-627.
5. Modeling of a lathe bed using the method of topological optimization / Andriy Nahalyuk, Volodymyr Krupa // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2023. — Vol 111. — No 3. — P. 67–75.
6. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Вплив орієнтації згортних втулок на підвищення точності контактних кроків привідних роликів і втулкових ланцюгів / А. А. Сенік, В. Б. Котильницький // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» – Тернопіль, 6-7 грудня 2023 року, с. 117.

8. Гагалюк А.В., Паливода Ю.Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування : навчальний посібник Тернопіль: Осадца Ю. В., 2025. – 308 с.

9. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Стойко І. І., Марчук Н. М., Сіправська М. Д. Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика. Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. Вип. 40. Луцьк, 2018. С. 21-31.

10. До питання точності форми згортних втулок за параметром відхилення від круглості / Кривий П.Д., Дзюра В.О., Тимошенко Н.М., Сенік А.А. // Збірник тез доповідей 8-мої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування»: 28 – 29 вересня 2017 р.: тези доп. – Херсонська державна морська академія, 2017. – С. 434 – 435.

11. 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.

12. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.

13. Кривий П. Д. Дослідження макроеометрії поперечних перерізів циліндричних поверхонь на прикладі шкворневих втулок / П. Д. Кривий, А. А. Сенік, В. О. Дзюра, В. Р. Кобельник // Збірник тез доповідей 7-мої

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування»: 22– 23 вересня 2016 р.: тези доп. – Херсонська державна морська академія, 2016. – С. 188 – 189.

14. Кривий П. Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення підвищеної якості згортних втулок : монографія / Кривий П. Д., Сенік А. А. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 232 с.

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

16. Кузнєцов Ю. М., Новосьолов Ю. К., Луців. І. В. Теорія технічних систем: підручник. Севастополь : СевНТУ, 2011. 246 с.

17. Кузнєцов Ю. М., Склярів Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнєцов, Р. А. Склярів; під ред. Ю. М. Кузнєцова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.

18. Крупа В.В. Теорія технічних систем: особливості побудови створення та розвитку: навчальний посібник / Володимир Крупа. – Тернопіль : Осадца Ю.В., 2023. – 308 с.

19. Нова технологія виготовлення згортних втулок приводних роликів ланцюгів на основі імовірнісного підходу / П.Д. Кривий, А.А. Сенік, Н.М. Тимошенко, О.І. Яловий // Матеріали Всеукраїнської науковопрактичної конференції «Обладнання і технології сучасного машинобудування»: 11–12 травня 2017 р. : тези доп. – Тернопіль: ТНТУ, 2017 р. – С. 92 – 93.

20. Підвищення ефективності ультразвукової фінішної обробки на верстатах з ЧПУ / М.В. Федорцов, В.В. Хорошайло, А.А. Сенік, Б.Б. Яремчук. Важке машинобудування. проблеми та перспективи розвитку : МАТЕРІАЛИ XXII Міжнар. науково-технічної конференції, м. КраматорськТернопіль, 28 трав. 2024 р. 2024. С. 199.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

21. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.

22. Редько Р.Г., Склярів Р.А., Шанайда В.В. Порівняльно-правовий аналіз законодавства в області інтелектуальної власності в країнах ЄС та Україні. Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки». Луцьк, 2023, №75. С. 9 - 14.

23. Сенік А.А. Визначення найімовірнішої довжини заготовки для згортної втулки / Оліховський В. // Міжнародна студентська науковотехнічна конференція „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 27-28 квітня 2023. — Т. : ТНТУ, 2023. — С. 248–249. — (Механічна інженерія).

24. Сенік А. А. Вплив орієнтації згортних втулок на підвищення точності контактних кроків привідних роликів втулкових ланцюгів / А. А. Сенік, В. Б. Котильницький // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 6-7 грудня 2023 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023. — С. 117. — (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні)

25. Сенік А. Експериментальне дослідження впливу радіуса транспортного каналу і способу базування на відхилення від круглості згортних втулок / Атаманчук О., Дмитраш О. // Міжнародна студентська науково-технічна конференція „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 27-28 квітня 2023. — Т.: ТНТУ, 2023. — С. 208–209. — (Механічна інженерія).

26. Сенік А.А. Конструкторсько-технологічне забезпечення підвищення точності форми згортних втулок / Сенік А.А. // Збірник наукових праць «Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем» ДДМА. – Краматорськ, 2017. – Вип. № 41, – С. 46 – 55.

27. Сенік А.А. Нова технологія формування згортної втулки підвищеної точності форми / Сенік А.А. // Збірник тез доповідей 5-тої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті,

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

технології та обладнання для їх обслуговування»: 1–3 жовтня 2014 р.: тези доп. – Херсонська державна морська академія, 2014. – С. 225 – 226.

28. Сенік А. А. Експериментальне дослідження ступеня зміцнення внутрішньої циліндричної поверхні згортних втулок сформованих поверхнево-пластичним деформуванням / А. А. Сенік, І. В. Коваль // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича „Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин“, 23-24 вересня 2021. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2021. — С. 40–41.

29. Сенік А.А. Технологічне забезпечення виготовлення згортних втулок підвищеної точності форми і якості: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / А.А. Сенік. – Тернопіль, 2018. – 21 с.

30. Сенік А.А. Динамічні характеристики шпиндельного вузла з керованим натягом токарного верстата з ЧПК / А.А. Сенік, І.Т. Ярема, В.В. Крищишин // Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (11-12 грудня 2024 р.). – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – С. 197.

31. Сенік А.А. Експериментальне дослідження впливу радіуса транспортного каналу і способу базування на відхилення від круглості згортних втулок після операції згортання / А. Сенік, А. Галета, Д.Гурський // Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (11-12 грудня 2024 р.). – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – С. 198.

32. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник / Крижанівський В. А., Кузнецов Ю. М., Валявський І. А., Скляров Р. А. Кіровоград, 2004. 449 с.

33. Технологія складання внутрішніх ланок приводних роликів і втулкових ланцюгів із забезпеченням кутової орієнтації згортних втулок / Н. С. Інжиєвська, П. Д. Кривий, А. А. Сенік, Н. М. Тимошенко // Збірник тез

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т.: ТНТУ, 2020. — Том 1. — С. 69–70.

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

					<i>КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		