

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Верстатне та інструментальне забезпечення обробки деталей  
”Кришка передня ПЦ 125-25.55”

Виконав: студент IV курсу, групи МВс-41

спеціальності 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Шербань Ю.І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Шанайда В.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Завідувач 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  
Володимир КРУПА  
(підпис) (прізвище та ініціали)  
« » 2024 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)  
за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування  
(шифр і назва спеціальності)  
студенту Щербаню Юрію Ігоровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Верстатне та інструментальне забезпечення обробки дедалі  
”Кришка передня ПЦ 125-25.55”

Керівник роботи Шанайда Володимир Васильович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 17 » квітня 2024 року № 4/7-367 ..

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21 червня 2024 р

3. Вихідні дані до роботи Робоче креслення деталі ”Кришка передня ПЦ 125-25.55  
базовий технологічний процес виготовлення деталі; паспорт верстата токарного  
. Кінематична схема верстата. Комплекс інструментального забезпечення механічної обробки.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)  
Аналітична частина. Аналіз завдання. Характеристика об'єкту виробництва. Огляд літератури  
Технологічний розділ. Розрахунок режимів різання для Т.О.. Верстатне забезпечення Т.О.  
Інструментальне забезпечення Т.О.. Конструкторська частина. Розробка кінематичної схеми  
верстату. Конструювання вузла верстата. САПР в машинобудуванні.  
Конструювання інструменту. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)  
Кінематична схема – 1 арк. Ф. А1  
Складальний кресленник коробки швидкостей – 1 арк. Ф. А1  
Кресленник деталі та заготовки – 1 арк. Ф. А1  
Розрахунково технологічна карта – 1 арк. Ф. А1  
Інструментальне забезпечення – 1 арк. Ф. А1  
3D модель проектного приводу – 1 арк. Ф. А1

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 18 квітня 2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу		
2	Аналітична частина		
3	Технологічний розділ		
4	Конструкторська частина		
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці		
6	Графічна частина		
7	Оформлення пояснювальної записки		

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Щербань Ю.І. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Шанайда В.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## Анотація

Тема кваліфікаційної роботи «Верстатне та інструментальне забезпечення обробки деталі «Кришка передня ПЦ 125-25.55». Мета роботи – виконати модернізацію приводу головного руху токарно – гвинторізного верстату, задля підвищення продуктивності праці та розширення технологічних можливостей. Та розробити прогресивний комплекс інструментального забезпечення для високоефективної обробки внутрішніх поверхонь.

Для досягнення мети виконано наступні завдання:

1. Здійснено аналіз базового технологічного процесу механічної обробки деталі.
2. Модифіковано базовий технологічний процес механічної обробки деталі.
3. Розраховано граничні значення режимів різання у модифікованому технологічному процесі.
4. Проведено кінематичний розрахунок приводу головного руху верстата.
5. Спроектовано конструкцію приводу головного руху, опираючись на обґрунтовану структурну схему.
6. Здійснено автоматизовані розрахунки з використанням засобів САПР.
7. Розроблено комплекс інструментального забезпечення для обробки внутрішніх поверхонь.
8. Розроблено заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

					<i>КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Щербань Ю.І.</i>			<i>Анотація</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Шанайда В.В.</i>					4	73
<i>Реценз.</i>						ТНТУ ім І.Пулюя		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>				МВс-41, м. Тернопіль		
<i>Зав. каф.</i>		<i>Крупа В.В.</i>						

## Зміст

ВСТУП.....	7
1.АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	9
1.1 Аналіз завдання .....	9
1.2 Характеристика об'єкта виробництва та аналіз базового тех. процесу виготовлення.....	9
1.3 Огляд літератури .....	13
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	16
2.1 Структурний аналіз обраного ТП обробки та вибраного обладнання ..	16
2.2 Розрахунок режимів різання для технологічних операцій .....	17
2.3 Верстатне забезпечення технологічного процесу.....	21
2.4 Інструментальне забезпечення технологічної операції.....	21
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	24
3.1 Розробка кінематичної схеми верстата .....	24
3.1.1 Вибір електродвигуна .....	24
3.1.2 Визначення головного діапазону регулювання .....	24
3.1.3 Розробка структурної формули, її оптимізація.....	25
3.1.4 Побудова та опис структурної сітки коробки швидкостей .....	26
3.1.5 Побудова графіка чисел обертів. Визначення передавальних відношень. Визначення кількості зубів коліс.....	27
3.1.6 Визначення оптимальних критичних моментів приводу головного руху.....	30

					<i>КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
Розроб.		Щербань Ю.І.			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
Перевір.		Шанайда В.В.			5	73	
Реценз.					ТНТУ ім І.Пулюя		
Н. Контр.		Кобельник В.В.			МВс-41, м. Тернопіль		
Зав. каф.		Крупа В.В.			<i>Зміст</i>		

3.1.7 Розрахунок модуля передач (для останньої групи) та конструктивних параметрів зубчастих коліс. ....	30
3.1.8 Орієнтовний розрахунок конструктивних параметрів проміжних валів приводу .....	33
3.1.9 Розрахунок та підбір підшипників в якості опор валів приводу.....	34
3.2 Системи автоматизованого проєктування у машинобудуванні .....	39
3.2.1 Перевірочний розрахунок модуля зубчастого колеса за допомогою САПР .....	39
3.2.2 Розробка спеціального інструментального забезпечення.....	43
ВИСНОВОК.....	47
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	54
ДОДАТКИ.....	61

					<i>КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## ВСТУП

Технологія механічної обробки перетворилася з мистецтва на домінуючу науку сучасності. Два десятиліття тому література про механічну обробку та верстати мала переважно описовий та емпіричний характер. Розвиток матеріалів ріжучих інструментів, що завершився впровадженням одно- і багато точкових одноразових пластин, прогрес в технології управління і їх застосування для проектування обробних систем з ЧПК, відкриття нових процесів обробки, таких як ультразвукове різання, електроерозійне різання і електроерозійне оброблення, і, перш за все, величезна кількість нових знань, отриманих в результаті кропітких досліджень в області різання металів, дійсно зробили революцію в науці і практиці механічної обробки.

Процес різання металу є одним із найважливіших структурним елементом для виробництва споживчих товарів усіх видів. Різання металу, або механічна обробка, є життєво важливим процесом у інженерно-технічному проектуванні та виробничих галузях і лежить в основі всіх аспектів CAD/CAM, швидкого прототипування, виготовлення штамів та виготовлення комп'ютерного обладнання, особливо для напівпровідників.

Економічне значення різання металу за допомогою верстатів не можна недооцінювати. Сьогодні в індустріально розвинутих країнах витрати на механічну обробку становлять понад 15% вартості всієї виробленої продукції в цих країнах. По-перше, для таких продуктів, як автомобілі, літаки та побутова техніка, різання металу залишається методом кінцевого виробництва. По-друге, інші традиційні галузі виробництва фактично залежать від різання металу для створення свого виробничого обладнання. По-третє, світова напівпровідникова промисловість залежить від точного різання металу як основного методу виробництва обладнання для виробництва напівпровідників.

					<i>КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Щербань Ю.І.</i>			<b>ВСТУП</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Шанайда В.В.</i>					7	73
<i>Реценз.</i>						ТНТУ ім І.Пулюя МВс-41, м. Тернопіль		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Крупа В.В.</i>						

Верстати займають ключову ланку у сучасному машинобудуванні оскільки вони призначені для виготовлення деталей інших машин, тобто для виробництва засобів виробництва. Саме тому верстатобудування вважається основою машинобудування.

Створення оптимальної конструкції сучасного верстата можливе тільки при автоматизації проектування, оскільки традиційний метод ручного проектування забезпечує лише створення працездатних конструкцій, а не оптимальних чи раціональних. При розробці конструкції верстата конструктору потрібно визначити найкращі конструктивні рішення. Відомо, що при ручному методі розрахунку і конструювання деталей та вузлів верстатів робиться ряд спрощень, не враховуються всі фактори і не розглядаються всі можливі варіанти конструкцій. Використання ЕОМ дозволяє збільшити кількість врахованих факторів і дає можливість досягати оптимальних рішень.

					<i>КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						8
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



# 1.АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз завдання

Тема кваліфікаційної роботи «Верстатне та інструментальне забезпечення обробки деталі «Кришка передня ПЦ 125-25.55»». Мета роботи – виконати модернізацію приводу головного руху токарно – гвинторізного верстату, задля підвищення продуктивності праці та розширення технологічних можливостей. Та розробити прогресивний комплекс інструментального забезпечення для високоефективної обробки внутрішніх поверхонь.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Здійснити аналіз базового технологічного процесу механічної обробки.
2. Модифікувати базовий технологічний процес механічної обробки деталі.
3. Розрахувати граничні значення режимів різання у модифікованому технологічному процесі.
4. Провести кінематичний розрахунок приводу головного руху верстата.
5. Спроекувати конструкцію приводу головного руху, опираючись на обґрунтовану структурну схему.
6. Здійснити автоматизовані розрахунки з використанням засобів САПР.
7. Розробити комплекс інструментального забезпечення для обробки внутрішніх поверхонь.
8. Розробити заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

## 1.2 Характеристика об'єкта виробництва та аналіз базового тех. процесу виготовлення

Деталь «Кришка передня» входить у склад вузла «Пневмоциліндр». У відповідності із класифікатором ЄСКД деталь відноситься до класу 73 – не тіла обертання: корпусні, опорні, ємкісні.

					<i>КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Щербань Ю.І.</i>			<b>АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Шанайда В.В.</i>					9	73
<i>Реценз.</i>						ТНТУ ім І.Пулюя		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>				МВс-41, м. Тернопіль		
<i>Зав. каф.</i>		<i>Крупа В.В.</i>						

До основних поверхонь даної деталі відносяться наступні поверхні: торцеві поверхні  $35h12_{(-0,25)}$ ;  $Rz20$ ;  $Rz40$  – призначені для точного позиціонування деталі у вузлі; отвір  $35H8^{(+0,039)}$ ;  $Ra2,5$  призначений для встановлення Манжети  $18\times35$ ; отвір  $25H7^{(+0,021)}$ ;  $Ra1,25$  базовий отвір, призначений для встановлення деталі втулка; зовнішня циліндрична поверхня  $76,4h8_{(-0,074)}$ ;  $l=10$ ;  $Ra2,5$  – базова поверхня, призначена для встановлення деталі гільза; зовнішня канавка  $b=4H12$ ;  $Ra6,3$ ;  $70,41h14_{(0,19)}$ ;  $Ra12,5$  призначена для встановлення кільця; різевий отвір  $R_c 1/4$ ;  $l=15$  призначений для кріплення пневмосистеми; чотири різевих отвори  $M5-7H$  призначені для кріплення фланця чотирма гвинтами  $M5\times10$ ; отвір  $10^{+0,36}$ ;  $l=23$ ;  $52$  призначений для подачі повітря в робочу зону; чотири отвори  $9H14^{(+0,36)}$ ;  $70\pm0,37$  призначені для з'єднання кришки з корпусом чотирма шпильками  $M8\times95$ .

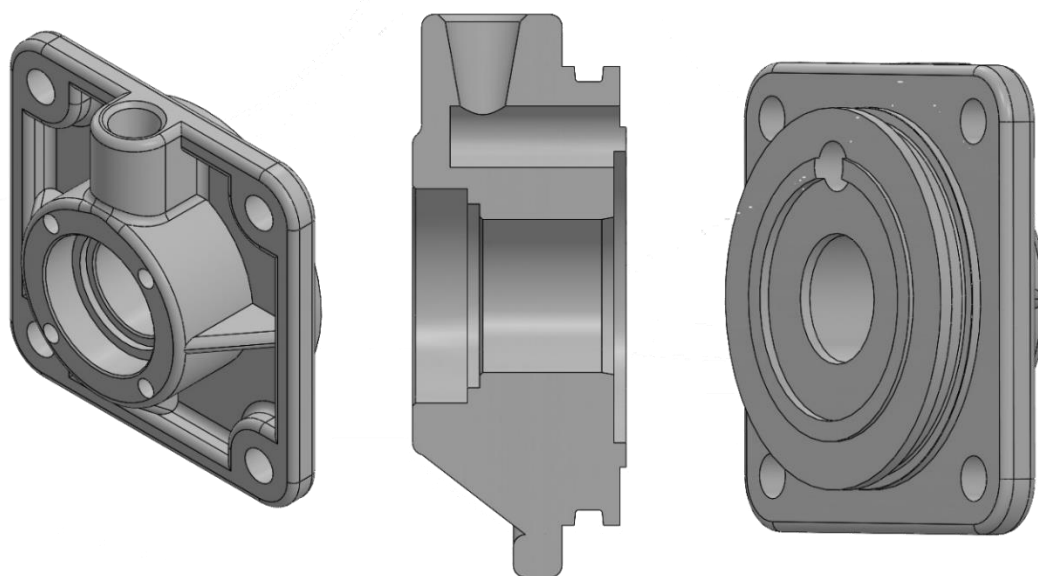


Рис. 1.1 – 3D зображення деталі «Кришка передня»

Аналізуючи існуючий технологічний процес механічної обробки «Кришка передня» можна відзначити таке. Заготовку для деталі «Кришка передня» отримують як вилівок III групи, у формі квадрату шириною сторони 92 мм, з подальшою термообробкою – відпалюванням, для зняття внутрішніх напружень. Такий метод виготовлення заготовок є найпоширенішим та найдешевшим у світі, за масовою частиною отримуваних виливків.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Виходячи із заданого тех. процесу та типу виробництва, отримання заготовки здійснюється литтям в піщані форми при ручній формовці по дерев'яних моделях. Основним недоліком такого лиття є низька точність, великі припуски на обробку, та високі параметри шорсткості. Вартість виготовлення доволі низька, але потребується витрат матеріалу.

Щодо матеріалу то деталь «Кришка передня» виготовляється з сірого чавуну СЧ20 ДСТУ EN 1561:2010 згідно креслення деталі. Сірий чавун 20, або GG20, це графітовий чавун з низьким вмістом фосфору і сірки, відомий своєю високою міцністю при стисканні та деформації, гнучкістю і ковкістю, що робить його ідеальним для виробництва виробів, які піддаються деформації. Крім того, він має добру стійкість до корозії, що робить його популярним у виробництві трубопроводів та інших деталей, які контактують з рідинами Сірий чавун СЧ20 найкраще використовується для виготовлення виливок. Хімічний склад та фізичні властивості матеріалу подано у таблицях 1.2, 1.3 відповідно.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сірого чавуну СЧ20 ДСТУ EN 1561:2010,%

C	Si	Mn	P	S
			не більше	
3,5-3,7	2-2,4	0,5-0,8	0,2	0,15

Таблиця 1.3 – Фізичні властивості сірого чавуну СЧ20 ДСТУ EN 1561:2010

Тимчасовий опір розтягу $\sigma_B$ , МПа	Густина $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Лінійна усадка $\epsilon$ , %	Модуль пружності при розтягу $E \cdot 10^{-2}$ , МПа	Коефіцієнт лінійного розширення	НВ
180	7,0	1,1	700-1100	9·10 <sup>-2</sup> ,	224

Для наглядного розуміння базового технічного процесу виготовлення деталі «Кришка передня», складемо таблицю 1.4 в якій поряд з номерами, назвами і коротким змістом операцій базового технологічного процесу, відзначимо ще й особливості базування заготовки, а також металорізальне обладнання.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Таблиця 1.4 – Короткий опис базового технологічного

№ п/п	Найменування операцій	Вміст операцій	Особливості базування заготовки	Устаткування
1	2	3	4	5
005	Лиття в піщані форми	Отримання заготовки литтям в піщані форми при ручній формовці по дерев'яних моделях		Піщана форма
010	Термічна	Зняття внутрішніх напружень відпалюванням		Піч
015	Токарна	Установ А Попередньо та остаточно підрізати торці заготовки, зовнішні циліндричні поверхні витримуючи всі необхідні розміри. Розточити фаску, зенкерувати та розвернути отвір. Зняти деталь Перевірити розміри.	В патрон по зовнішній квадратній поверхні.	Токарно гвинторізний верстат моделі 16К20
020	Фрезерна з ЧПК	Установ А Попередньо та остаточно фрезерувати торець, розточити зовнішні циліндричні поверхні. Центрувати 8 отворів. Свердли 4 отвори під різь.	По торцю і центральному отвору	Фрезерний вертикально консольний верстат з ЧПК моделі:6Р13Ф3
25	Вертикально свердлильна	Установ А Свердли по кондуктору отвір. Зняти деталь Перевірити розмір.	По центральному отвору і торцю.	Вертикально свердлильний верстат мод. 2Н118
30	Свердлильна з ЧПК	Установ А. Центрувати та свердли отвір. Розвернути отвір під конус 1/16, зенкувати фаску та нарізати різь, витримуючи розміри. Зняти деталь. Перевірити розміри.	По центральному отвору і на торцю на циліндричний палець та по отвору на зрізаний палець	Вертикально свердлильний верстат з ЧПК 2Р135Ф2
035	Контроль	Контролювати основні розміри деталі		Стіл контролера
040	Слюсарна	Зняти задирки		Верстак

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Наявний технологічний процес має широкий спектр можливостей модернізації. Під час виготовлення заготовки деталі, слід використати більш ефективний метод їх отримання. На мою думку, під час обробки деталі вартує застосовувати новітні верстати з ЧПК, що дозволить об'єднати декілька операцій в одну та скоротити основний час обробки деталі.

### 1.3 Огляд літератури

У нашому сьогоденні машинобудування залишається фундаментом економіки будь якої держави. Провідні фахівці проводять дослідження щороку, роблячи нові відкриття. Науковці та професора докладають великих зусиль аби лаконічно скомпонувати отримані дані, для подання їх у світ. Таким чином можемо зазначити що:

На сьогоднішній день процес створення новітньої техніки безпосередньо пов'язаний з процедурами автоматизованого проектування машин [1-5], розробкою нового верстатно-інструментального устаткування, а також захистом прав інтелектуальної власності на розроблені об'єкти [6,7].

Виконання процедури проектних робіт спирається на теоретичні засади, які формують комплексний підхід до розробки нової техніки [8]. Кожен етап таких робіт передбачає широке використання засобів комп'ютерної техніки та графічного моделювання [9]. Особливу увагу приділено впровадженню засобів 3D моделювання та автоматизованих розрахунків [10-12].

Важливим компонентом процесу конструювання є технологічний аналіз самого виробу, а також окремих технологічних прийомів, які можна використати при забезпеченні його геометричних форм [13,14]. Базовим критерієм для виконання конструкторських робіт при проектуванні верстатно-інструментального оснащення є визначення силових параметрів у зоні різання [15]. Ці параметри мають суттєвий вплив на конструкторські рішення при розробці спеціального технологічного оснащення [17-19].

Окремими напрямками йдуть роботи які пов'язані із розробкою верстатного обладнання та інструментального забезпечення процесу механічної обробки.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перш за все заслуговують підходи щодо формування нових принципів функціонування металообробного обладнання [4,20,21]. Велика увага приділена дослідженню динамічних характеристик у приводах головного руху верстата та інших виконавчих вузлах [22-24]. Не менш важливими аспектами у напрямі наукових досліджень є вивчення кінематичних характеристик в елементах приводу [25], дослідження параметрів міцності та жорсткості окремих елементів конструкції МРВ [22,26]. Виконання наукових досліджень та проектних робіт широко пов'язані із використанням математичного апарату та статистичних методів обробки, результатів досліджень за попередні роки [27]. Особлива увага приділена дослідженням точності у під час процесу механічної обробки та точності переміщення виконавчих елементів обладнання [28]. В багатьох випадках для забезпечення технологічних вимог щодо функціонування проектного виробу є доцільним розробка спеціального верстатного устаткування для обробки деталей, які можна віднести до типових конструкцій [29-30]. Всі види проектних робіт спираються на глибокий теоретичний аналіз та використовують математичні моделі, які можуть бути прописані у внутрішніх бібліотеках пакетів 3D моделювання, або є авторськими розробками науковців [31-33].

Поряд із активною модернізацією та вдосконаленням конструкцій металорізальних верстатів значна увага приділена дослідженням процесу різання та конструкціям металорізальних інструментів [34-38]. Визначальним параметром, який суттєво впливає на рівень силових факторів у процесі механічної обробки є геометрія різальної частини металорізального інструмента. Серед технологічних операцій, які найбільш поширені в металообробці, слід виокремити токарну обробку [34], обробку отворів [36, 37, 39] та обробку площин. Певний інтерес викликає розробка спеціального інструментального оснащення для комплексної та багаторізевої обробки поверхонь [40-42].

Будь яка модифікація процесу механічної обробки, яка пов'язана із раціоналізацією технологічного процесу передбачає систематичний контроль за якістю оброблених поверхонь, показниками їх геометричної точності та якості [43-46].

					КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дуже важливо проводити прогнозування геометричної точності та якості оброблюваних поверхонь ще етапі планування технологічного процесу. Такий підхід суттєво здешевлює процес підготовки виробництва. Теоретична база, яка формує подібні організаційні засади використовує алгоритми статистичного аналізу [44, 46], математичні моделі на основі дисперсного аналізу тощо.

Використання новітніх алгоритмів стосовно аналізу процесів різання та модифікації конструкції металорізальних інструментів дозволяє створювати власні розрахункові продукти для вирішення складних задач оптимізації як за реалізацією алгоритмів знаходження геометричних параметрів металорізальних інструментів [50], так і з використанням алгоритмів раціоналізації та оптимізації процесів у зоні різання. Комплексний підхід з використанням передових наукових наробок та нових конструкторських рішень дозволяє створювати високопродуктивні продукти стосовно як металообробного устаткування, так і металорізальних інструментів зокрема.

					<i>КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Структурний аналіз обраного ТП обробки та вибраного обладнання

Аналіз базового ТП механічної обробки показав можливість його вдосконалення за кількома критеріями. По перше, пропонуємо замінити процес підготовки форми під литво з ручного формування на машинне. Такий підхід дозволяє зменшити масу заготовки, а отже і об'єм матеріалу, який буде використано у процесі механічної обробки.

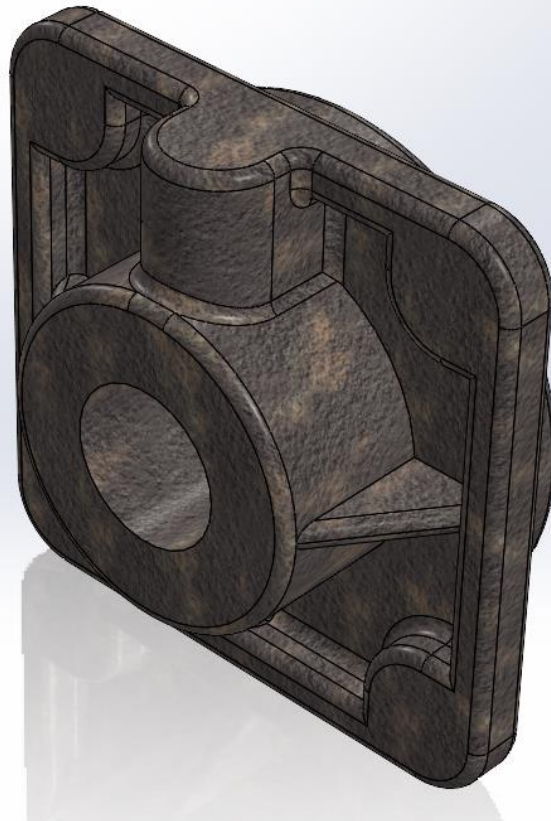


Рис. 2.1 Виливок деталі «Кришка передня ПЦ 125-25.55»

Також заслуговує уваги пропозиція внести зміни до парку верстатного обладнання. Заміна універсальних верстатів на верстати з ЧПК дозволяє забезпечити концентрацію технологічних операцій в межах одного верстата.

					<i>КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</b>		
<i>Розроб.</i>		<i>Щербань Ю.І.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Шанайда В.В.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Крупа В.В.</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
						16	73
					ТНТУ ім І.Пулюя МВс-41, м. Тернопіль		



Окрім того автоматизація окремих процесів дозволяє зменшити часові витрати на допоміжні операції і переходи, підвищити якість механічної обробки, підвищити геометричну точність оброблюваних поверхонь і раціоналізувати технологічний процес в цілому.

У таблицю 2.1 внесено дані щодо запропонованого ТП виготовлення деталі «Кришка передня ПЦ 125-25.55»

Таблиця 2.1 – Технологічне обладнання

№ ТО	Назва операції	Назва і модель верстату
005	Токарна	Токарний верстат мод. CDE6240 модернізований
010	Фрезерна з ЧПК	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК мод. ГФ2171С5
015	Свердлильна з ЧПК	Вертикально- свердлильний верстат з ЧПК мод. ZK-40А
020	Контроль	Стіл контрольний

## 2.2 Розрахунок режимів різання для технологічних операцій

Проведемо повний розрахунок режимів різання для технологічної операції 005 Токарна з ЧПК. Цей тип розрахунку проведемо тільки для вибраного переходу, для всіх інших використовуватимемо табличний метод.

Виконаємо розрахунок аналітичним методом для переходу, на якому повинно виконуватися зенкерування отвору 3, з наступним цекуванням зв. циліндричної ступінчатої поверхні 2, витримуючи розміри  $24,94H9^{(+0,052)}$   $34,7H11^{(+0,16)}$ . Під час виконання обробки буде застосовано комбінований інструмент зенкер-цеківка, які виготовлені із швидкорізальної сталі Р6М5.

1. Визначаємо глибину різання по формулі [15]:

$$t_1 = 0,5(D_1 - d_1) = 0,5(24,8 - 21,4) = 1,7 \text{ мм}$$

де  $D_1$  - діаметр отвору, в який обробляємо;  $d_1$  - діаметр попередньо обробленого отвору;

2. Визначаємо подачу при зенкеруванні [15]:

$$S_1 = 0,49 \text{ мм/об.}$$

					КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно із паспортом верстату обираю  $S^1=0,5$  мм/об

3. Визначаємо швидкість різання [15]:

$$V_1 = \frac{C_V \cdot D^q}{T_1^m \cdot t_1^x \cdot S_1^y} \cdot K_V = \frac{18,8 \cdot 24,8^{0,2}}{40^{0,125} \cdot 1,7^{0,1} \cdot 0,5^{0,4}} \cdot 0,6 = 17 \text{ м/хв}$$

де  $C^V = 18,8$  – поправочний коефіцієнт степенів [15];

$m = 0,125$ ,  $x=0,1$ ,  $y=0,1$ ,  $q=0,2$  – показники степенів [15];

$T_1=40$  хв – період стійкості інструменту [15].

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{IV} = 0,6 \cdot 1,0 = 0,6$$

$K^V$  – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив різних сторонніх факторів, спільний для зенкера та цеківки.

$$K_{MV} = \left(\frac{150}{224}\right)^{1,3} = 0,6 - \text{коефіцієнт на оброблюваний матеріал};$$

$K^{IV} = 1$  – коефіцієнт на матеріал інструменту [15].

4. Визначаємо крутний момент [15]:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D_1^q \cdot t_1^x \cdot S_1^y \cdot K_p \quad (2.1)$$

де  $C_M=0,085$  - поправочний коефіцієнт [15],  $q=-$ ;  $x=0,75$ ,  $y=0,8$  - показники ступеня [15].

$K_p$  —  $K_{mp} \sim$  коефіцієнт, що враховує фактичні умови обробки в даному випадку; залежить тільки від матеріалу оброблюваної заготовки [15].

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{HB}{190}\right)^{0,6} = \left(\frac{224}{190}\right)^{0,6} = 1,10$$

Крутний момент тоді буде рівний:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,085 \cdot 24,8 \cdot 1,7^{0,75} \cdot 0,5^{0,8} \cdot 1,1 = 20 \text{ Нм}$$

5. Розраховую осьову силу [15]:

$$P_0=10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p$$

де  $C_p=23,5$  - поправочний коефіцієнт [15];

$x=1,2$ ;  $y=0,4$  - показники ступеня [15];

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді підставивши дані осьова сила буде рівна:

$$P_0 = 10 * 23.5 * 1.7^{1.2} * 0.5^{0.4} * 1.1 = 334 \text{ Н}$$

6. Визначаємо потужність різання [15]:

$$N_1 = \frac{M_{кр1} \cdot n_1}{9750} = \frac{20 \cdot 250}{9750} = 0,5 \text{ кВт,}$$

$$\text{де } n_1 = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_1} = \frac{1000 \cdot 17}{3,14 \cdot 24,8} = 218 \text{ об/хв}$$

Згідно із верстатом:  $n_1=250$  об/хв

7. Визначаємо основний час за наступною формулою:

$$T_o = \frac{L}{n_s} = \frac{25}{250 * 0,5} = 0.2 \text{ хв}$$

де  $L = l + y + \Delta = 22 + 1 + 2 = 25$  мм

Аналогічно для цеківки:

1. Визначаємо глибину різання по формулі[15]:

$$t_1 = 0,5(D_1 - d_1) = 0,5(34 - 24,7) = 4,65 \text{ мм}$$

Визначаємо подачу при зенкеруванні [15]:

$$S^1 = 1,1 \text{ мм/об.}$$

Згідно із паспортом верстату обираю  $S^1 = 1$  мм/об

2. Визначаємо швидкість різання [15]:

$$V_1 = \frac{C_V \cdot D^q}{T_1^m \cdot t_1^x \cdot S_1^y} \cdot K_V = \frac{18,8 * 34^{0.2}}{50^{0.125} * 4.65^{0.1} * 1^{0.4}} \cdot 0,6 = 12 \text{ мм/хв}$$

де  $C^V=18,8$   $m=0,125$ ,  $x=0,1$ ,  $y=0,4$ ,  $q=0,2$ ,  $T_1=50$  хв

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{IV} = 0,6 \cdot 1,0 = 0,6$$

3. Крутний момент буде рівний:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D_1^q \cdot t_1^x \cdot S_1^y \cdot K_p$$

де  $C_M=0,085$  - поправочний коефіцієнт [15];

$q=-$ ;  $x=0,75$ ,  $y=0,8$  - показники ступеня [15];

$K_p=1.1$  – коефіцієнт, що враховує фактичні умови обробки в даному випадку; залежить тільки від матеріалу оброблюваної заготовки [15].

$$M_{кр} = 10 * 0.085 * 34 * 4.65^{0.75} * 1^{0.8} * 1.1 = 80.5 \text{ Н * м}$$

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Розраховуємо осьову силу [15]:

$$P_0 = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p$$

де  $C_p = 23,5$  - поправочний коефіцієнт,  $x = 1,2$ ;  $y = 0,4$  - показники ступеня;

Тоді осьова сила буде рівна:

$$P_0 = 10 * 23.5 * 4.65^{1.2} * 1^{0.4} * 1.1 = 653 \text{ Н}$$

5. Визначаємо потужність різання [15]:

$$N_1 = \frac{M_{кр1} \cdot n_1}{9750} = \frac{80,5 * 125}{9750} = 1,03 \text{ кВт}$$

$$\text{де } n_1 = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_1} = \frac{1000 \cdot 12}{3,14 \cdot 35} = 112 \text{ об/хв}$$

Згідно із верстатом:  $n_1 = 125$  об/хв

6. Основний час розраховуємо за формулою:

$$T_o = \frac{L}{nS} = \frac{13}{125 * 1} = 0.104 \text{ хв}$$

$$\text{де } L = l + y + \Delta = 9 + 3 + 1 = 13 \text{ мм}$$

Перевіримо чи хвостовик інструменту здатний переносити таке навантаження. Умова нерозкриття стику хвостовика інструменту, момент різання  $M_{кр}$  має бути менший, ніж момент тертя  $M_{тр}$ , що виникає під дією сили  $\theta$ , перпендикулярної до поверхні тертя [38].

Формула обчислення моменту тертя буде виглядати так:

$$M_{тр} = \frac{0,2 * \mu * P_0 * (d_1 + d_2)}{\sin \theta}$$

де,  $\mu = 0,4$  – коефіцієнт тертя [38];

$\theta = 5$  – нормальна сила [38];

$d_1, d_2$ , – найменший та найбільший діаметр конуса.

$$M_{тр} = \frac{0,2 * 0,4 * 653 * (17,780 + 18)}{\sin 1^\circ 26' 56''} = 1.1 \text{ кН}$$

Отже умова виконується:  $M_{кр} < M_{тр} = 100 \text{ Н} < 1100 \text{ Н}$

Для решти переходів режими різання обчислюються табличним методом, результати цих обчислень зводимо у таблицю, див Додаток А.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

## 2.3 Верстатне забезпечення технологічного процесу

Під час розробки та проектування технологічного процесу важливо не лише правильно вибрати обладнання відповідно до виду обробки та його призначення, але й врахувати такі чинники, як продуктивність верстата, наявність певних функцій і можливостей (наприклад, системи ЧПК), а також комплектацію додатковими пристроями.

Крім того, необхідно враховувати наявність ріжучих інструментів на підприємстві, його забезпеченість матеріалами та запчастинами для обслуговування й ремонту обладнання.

Опираючись на вище наведені міркування, відштовхуючись від конструкції деталі «Кришка передня ПЦ 125-25.55», використовуватимемо наступні моделі МРВ:

- 005 Токарна з ЧПК Токарний верстат мод. CDE6240 модернізований;
- 010 Фрезерна з ЧПК Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК мод. ГФ2171С5;
- 015 Свердлильна з ЧПК Вертикально – свердлильний верстат з ЧПК мод. ZK-40А;

## 2.4 Інструментальне забезпечення технологічної операції

Враховуючи специфічні вимоги до оброблюваної деталі, обираємо ріжучий інструмент. При цьому використовуватимемо високоякісний інструмент, який відповідає стандартам якості. Під час вибору інструменту враховуватимемо тип матеріалу деталі, її розміри та геометрію.

Здійснимо підбір інструментального забезпечення для виконання технологічної операції 005 Токарна з ЧПК.

При виконанні даної операції використовується декілька видів різців. Призначаємо їх згідно із каталогом [7], ось деякі із них: токарний різець для контурного точіння TTJNL 2525 M1304 з механічним кріпленням пластинки TNMG 130408 PC, TT8115. Основні характеристики та вигляд різця приведено на рис. 2.3.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

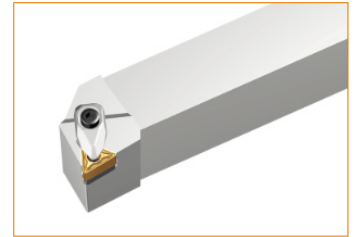
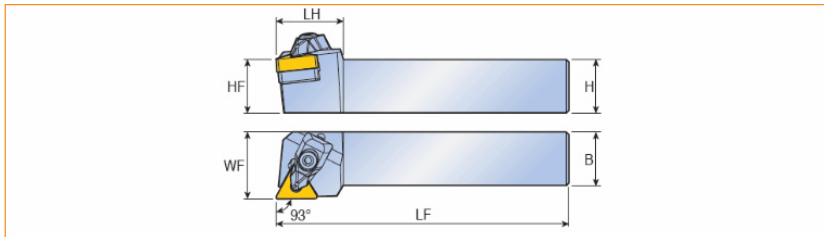


Turning  
Main Application

Related Insert Related Holder

**RHINOTURN**  
ECO TURNING LINE

Family Designation: **TTJNR/L (RHINO)** RHINOTURN T-holders with 93° approach angle for TN.. 1304 inserts



Right-hand shown

Item Designation: **TTJNL 2525 M1304**

HF	H	B	LF	LH	WF	MIID
25.0	25.0	25.0	125.00	25.0	25.00	TNMG 130408 PC

Рис. 2.3 – Зовнішній вигляд різця TTJNL 2525 M1304

Розточний різець для контурного розточування, A25T SDLNR 11 з механічним кріпленням пластинки DNMA 110408, YBC252. У рисунку 2.4 зображено його зовнішній вигляд.

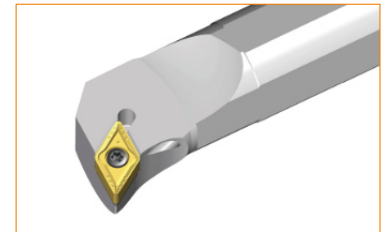
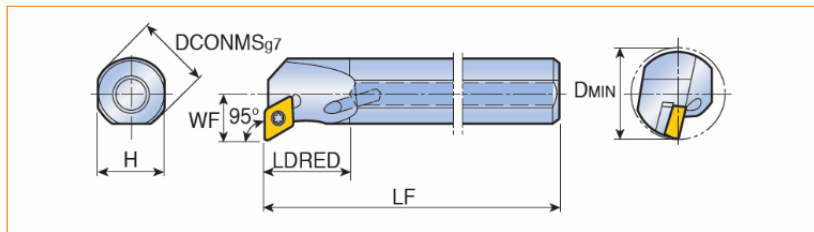


Turning  
Main Application

Related Insert Related Holder

**T-TURN**

Family Designation: **A-SDLNR/L** Screw type boring bars for 55° negative Rhombic inserts with coolant and 95° approach angle



Right-hand shown

Item Designation: **A25T SDLNR 11**

DCONMS	H	LF	LDRED	WF	DMIN	MIID
25.00	23.0	300.00	42.0	17.00	31.00	DNMA 110408

Рис. 2.4 – Зовнішній вигляд різця A25T SDLNR 11

Технологічний процес до операції 005 Токарна з ЧПК передбачає використання токарного канавкового різця RGER 2525-4T16, із механічним кріпленням пластинки.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ

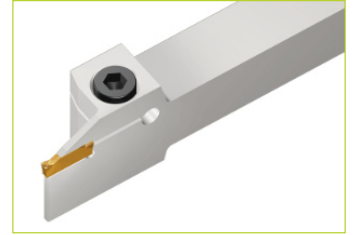
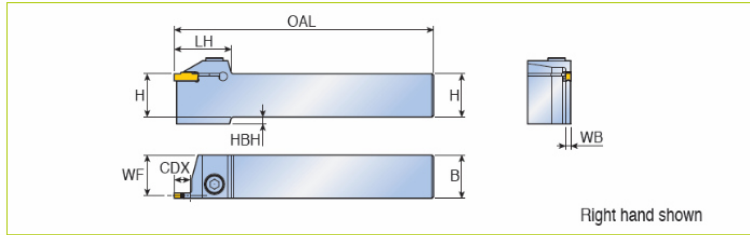
Арк.

22



## RHINO GROOVE

Family Designation: **RGER/L** RHINOGROOVE external holders for parting of small dia. solid bar and shallow grooving



Item Designation: **RGER 2525-4T16**

SSC	H	CW	B	OAL	WF	LH	WB	HBH	CDX	N•m
4	25.0	4.00	25.0	150.00	23.50	35.0	3.00	-	16.00	8.00

Рис. 2.5 – Зовнішній вигляд різця RGER 2525-4T16.

Під час виконання операції 005 Токарна з ЧПК передбачено використання контрольно вимірювального інструменту, а саме цього:

- Штангенциркуль ШЦ-III-160-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
- Кутомір універсальний тип 4-10 DIN 862
- Калібр-скоба гладка регульований 8118-0013 h8 DIN 7164
- Шаблон канавочний спеціальний b=4H12

					<b>КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

### 3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Розробка кінематичної схеми верстата

##### 3.1.1 Вибір електродвигуна

Основною для кінематичного розрахунку приводу верстата є граничні режими різання, що розраховані для заданих видів матеріалів за допомогою пакету MathCAD, див. додаток Б.

Обираємо електродвигун, відштовхуючись від максимальної потужності різання:

$$N = \frac{N_{\text{різ}}}{\eta} \text{ кВт.}$$

де:  $N_{\text{різ}}$  – найбільша потужність під час обробки деталі, додаток Б;  
 $\eta = 0,8$  – ККД приводу головного руху.

Тоді підставивши значення у формулу потужності вона буде рівна:

$$N = \frac{6,54}{0,8} = 8,175 \text{ кВт.}$$

Згідно із [49], приймаємо– трьохфазний асинхронний коротко замкнутий двигун серії АІР132М2, із фактичною частотою обертання 2990 об/хв, потужністю 11 кВт

##### 3.1.2 Визначення головного діапазону регулювання

Діапазон регулювання визначається з граничних режимів різання [47], а саме із мінімальної та максимальної частоти обертання шпинделя, використовуючи наступну формулу:

$$D = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}}$$

					<i>КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Щербань Ю.І.</i>			<b>КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Шанайда В.В.</i>					24	73
<i>Реценз.</i>						ТНТУ ім І.Пулюя МВс-41, м. Тернопіль		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Крупа В.В.</i>						



де,  $n_{max} = 4979$  об/хв –найбільша частота обертання при граничних режимах різання алюмінію АЛ27;

$n_{min} = 117$  об/хв –найменша частота обертання при граничних режимах різання СЧ20;

$$D = \frac{4979}{117} = 42.5$$

Для визначення числа ступенів коробки передач необхідно обрати знаменник геометричної прогресії  $\phi$ . Для токарно – гвинторізних верстатів цей знаменник має діапазон наступних значень.

$$\phi = 1,26 \div 1,41$$

Приймаємо для подальших розрахунків  $\phi = 1,26$

Тоді відповідно із формулою [47]:

$$z = \frac{\lg D}{\lg \phi} + 1$$
$$z = \frac{\lg(42,5)}{\lg 1,26} + 1 = 17,28$$

Заокруглюємо отримане значення числа ступенів до найближчого цілого парного числа,  $z = 18$ .

### 3.1.3 Розробка структурної формули, її оптимізація.

Отримавши число ступенів регулювання складемо структурну формулу яка має вигляд[47]:

$$Z = P_{1(x_1)} * P_{2(x_2)} * P_{3(x_3)}$$

де,  $P_1, P_2, P_3$  – кількість зубчастих передач що є на цьому валі;

$x_1, x_2, x_3$  – характеристики;

Щоб забезпечити мінімальні розміри коробок швидкостей (подач), необхідно виконувати певні умови [47]:

$$P_1 \geq P_2 \geq P_3$$

$$x_1 < x_2 < x_3$$

Згідно цих умов запишемо структурну формулу:

$$Z = 3_{(1)} * 3_{(3)} * 2_{(9)}$$

					НАЗВА ДОКУМЕНТУ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для додаткової інформації розрахуємо число можливих варіантів кінематичної структури за формулою [47]:

$$K = \frac{(m!)}{q!}$$

де:  $m$  – кількість груп в структурі;

$q$  – групи з однаковим числом передач.

$$K = \frac{1 * 2 * 3}{2} = 3$$

### 3.1.4 Побудова та опис структурної сітки коробки швидкостей

Побудуємо структурну сітку відповідно до формули  $Z = 3_{(1)} * 3_{(3)} * 2_{(9)}$

Структурна сітка розглядається в логарифмічному масштабі, де відстань між кожною наступною точкою шкали дорівнює  $\lg \varphi$ . Для створення такої сітки проводяться горизонтальні лінії з інтервалами, що мають такий же розмір  $\lg \varphi$ , у кількості, рівній ступеню  $Z$ , і вертикальні лінії, їхня кількість дорівнює числу незалежних груп плюс одиниця. Кожній групі передач виділяється простір між сусідніми вертикальними лініями відповідно до їхнього конструктивного розташування.

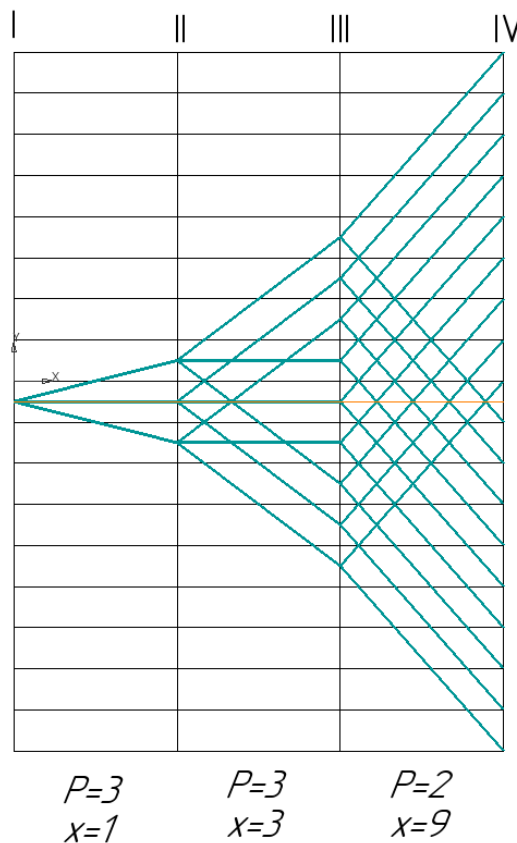


Рис. 3.1 Структурна сітка

### 3.1.5 Побудова графіка чисел обертів. Визначення передавальних відношень. Визначення кількості зубів коліс

Побудова графіка частот обертання показує конкретні значення передаточних відношень всіх передач приводу та швидкість обертання всіх валів.

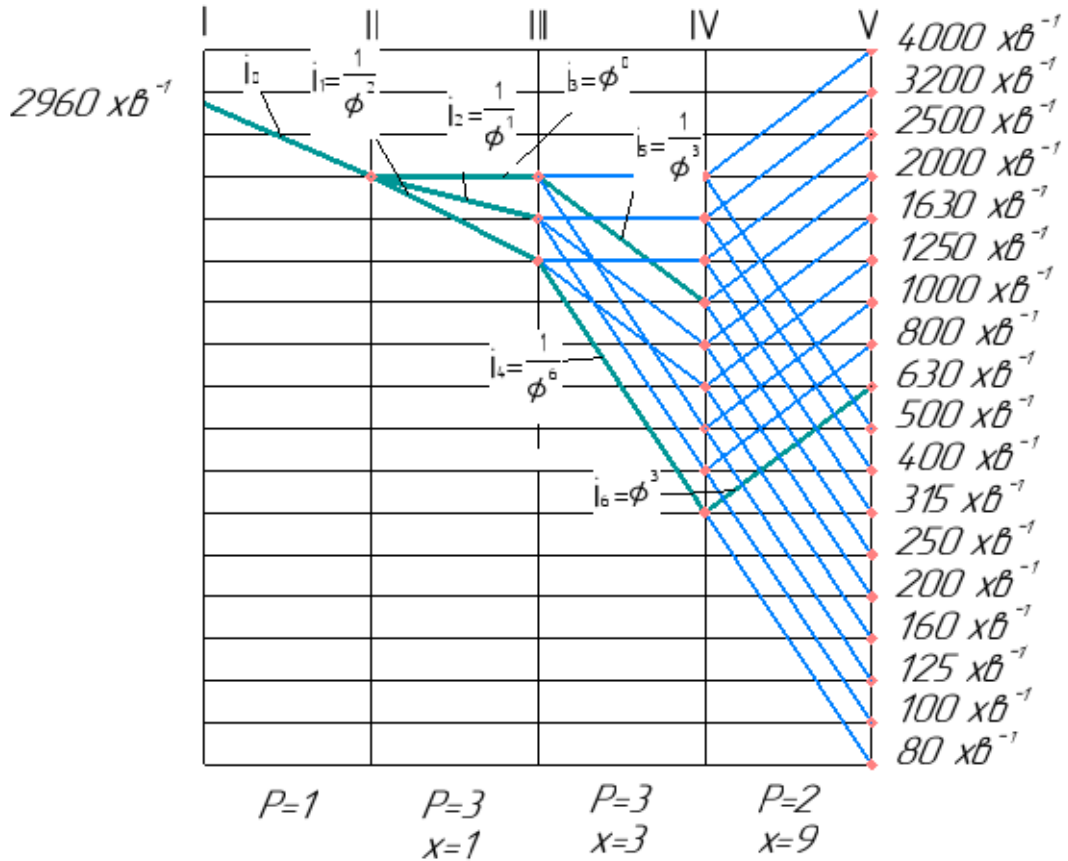


Рис. 3.2 – Графік чисел обертів

Тепер згідно із графіком чисел обертів, можемо отримати передаточні відношення. Кожен промінь являє передавальне відношення певної передачі. Згідно поставленого завдання відношення будуть рівними:

$$i_1 = \frac{1}{\phi^2} = \frac{1}{1,26^2} = 0,629; \quad i_4 = \frac{1}{\phi^6} = \frac{1}{1,26^6} = 0,25;$$

$$i_2 = \frac{1}{\phi^1} = \frac{1}{1,26^1} = 0,793; \quad i_5 = \frac{1}{\phi^3} = \frac{1}{1,26^3} = 0,5;$$

$$i_3 = \phi^0 = 1; \quad i_6 = \phi^3 = 2;$$

$$i_0 = \frac{2000}{3000} = 0,66;$$

З використанням конкретних значень передаточних відношень для кожної незалежної групи можна визначити кількість зубів окремих пар зубчастих коліс, які до них входять. При цьому припускається, що модуль усіх зубчастих коліс у групі однаковий, а міжосьова відстань залишається незмінною. З цієї умови можна скласти наступну систему рівнянь.

$$\begin{cases} Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4 = Z_5 + Z_6 = \sum Z \\ \frac{Z_1}{Z_2} = U_1; \quad \frac{Z_3}{Z_4} = U_2; \quad \frac{Z_5}{Z_6} = U_3. \end{cases}$$

Розрахуємо число зубів для кожної передачі I переборної групи. Приймаючи як початкову кількість зубів  $Z=18$ , розв'язуємо рівнянь та згідно із додатком 2 [47], уточнюємо кількість зубів пари.

I група

$$Z_1 = 24; \quad Z_2 = \frac{24}{U_1} = 38,15$$

$$\sum Z = 24 \left(1 + \frac{1}{U_1}\right) = 62,1$$

$$Z_1 = 24; Z_2 = 38; U_1 = 0.631; \quad \sum Z = 62$$

Знаходжу кількість зубів решти коліс.

$$Z_5 = 24 * \frac{U_2}{U_1} * \left(\frac{1 + U_1}{1 + U_2}\right) = 27,5$$

$$Z_6 = 24 * \frac{1 + U_1}{(1 + U_2) * U_1} = 35,1$$

$$Z_3 = 31; Z_4 = 31; U_3 = 1;$$

$$Z_5 = 27; Z_6 = 35; U_2 = 0.793;$$

II група

$$Z_7 = 18; \quad Z_8 = \frac{18}{U_4} = 72$$

$$\sum Z = 18 \left(1 + \frac{1}{U_4}\right) = 90$$

$$Z_7 = 18; Z_8 = 72; U_4 = 0.25; \quad \sum Z = 90$$

					КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_{11} = 18 * \frac{U_5}{U_4} * \left( \frac{1 + U_4}{1 + U_5} \right) = 30$$

$$Z_{12} = 18 * \frac{1 + U_4}{(1 + U_5) * U_4} = 60$$

$$Z_9 = 45; Z_{10} = 45; U_3 = 1;$$

$$Z_{11} = 30; Z_{12} = 60; U_2 = 0.5;$$

III група

$$Z_{13} = 60; Z_{14} = 30; U_7 = 2; \sum Z = 90$$

$$Z_{15} = 18; Z_{16} = 72; U_3 = 0,25;$$

Оформлюю всі дані про кількість зубів у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 Дані розрахунку кількості зубів та передаточних відношень

U	I-а група			II-а група			III-а група	
	1/1,26 <sup>2</sup>	1	1/1,26 <sup>1</sup>	1/1,26 <sup>6</sup>	1	1/1,26 <sup>3</sup>	1,26 <sup>3</sup>	1/1,26 <sup>6</sup>
$\frac{z_i}{z_{i+1}}$	24/38	31/31	27/35	18/72	45/45	30/60	60/30	18/72
$\sum z$	62			90			90	

Виходячи з отриманих даних, створюємо найкращу кінематичну схему приводу головного руху.:

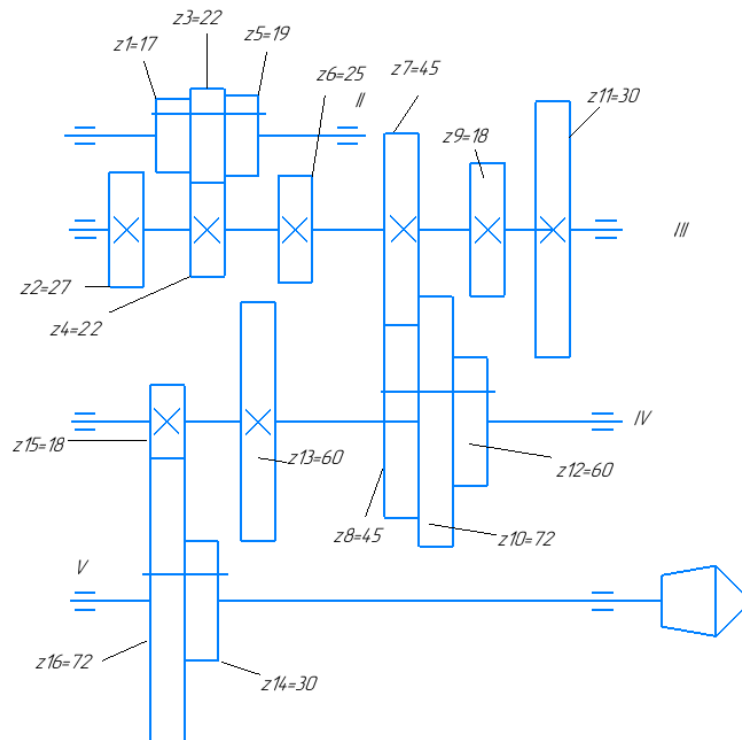


Рис. 3.3 – Ескіз кінематичної схеми приводу головного руху

### 3.1.6 Визначення оптимальних критичних моментів приводу головного руху

Приступимо до визначення оптимальних критичних моментів. Розрахунковий обертовий момент на будь-якому валу визначають так [48]:

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

де,  $N_{дв} = 11$  кВт – потужність двигуна згідно із паспортом;

$\eta$  - ККД механізму від електродвигуна до розглядуваного валу;

$n_{розр}$  – розрахункова частота обертання валу (об/хв);

#### I вал

Момент передається на перший вал від електродвигуна через пасову передачу, причому вал підтримується парою підшипників. Таким чином, ККД приводу:

$$\eta_2 = \eta_{пш} \eta_{пс} = 0,99 \cdot 0,98 = 0,97$$

$\eta_{пш}$  – ККД однієї пари підшипників;

Відповідно до графіка чисел обертів визначаємо розрахункову частоту обертання цього валу.  $n=2000$  об/хв.

$$T_2 = 9550 \frac{11 \cdot 0,97}{2000} = 51 \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

Решту розрахунків проводимо на прикладі минулого, та зводимо все у таблицю 3.2

Таблиця 3.2 – Максимальні крутні моменти на валах коробки швидкостей

Вал	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
$T_{об}, \text{ Нм}$	51	80	320	1195

### 3.1.7 Розрахунок модуля передач (для останньої групи) та конструктивних параметрів зубчастих коліс.

Основними параметрами при розрахунку зубчастої пари це є її модуль  $m$ , міжосьова відстань,  $a_w$ , та кількість зубів  $z_1, z_2$ . Із вище перелічених розрахунків нам вже відома кількість зубів кожного зубчастого колеса.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тож перейдемо до розрахунку міжосьової відстані та модуля останньої групи зубчастих коліс.

Міжосьову відстань знаходять опираючись на контактну міцність зубів, проведемо розрахунки для пари  $z_{15}, z_{16}$  18/72, яка передає максимальний крутний момент  $T = 1195 \text{ Н*м}$ . Як матеріал для зубчастих коліс обираємо сталь 40Х з покращенням. Механічні властивості відобразимо в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Механічні властивості сталі 40Х

Марка сталі	Границя міцності $\sigma_B$ , МПа	Границя текучості $\sigma_T$ , МПа	Середня твердість НВ
40Х	930	690	300

Міжосьова відстань визначається за формулою:

$$a_w = K_a(u + 1) \sqrt[3]{\frac{T \cdot K_{H\beta}}{\psi_a \cdot u^2 [\sigma_H]^2}}$$

де,  $K_a=49,5$  – коефіцієнт розрахунку [48];

$u$  – передаточне відношення,  $u = 4$ ;

$T$  – момент на веденому валу,  $T = 1195 \text{ Нм}$ ;

$K_{H\beta}$  – коефіцієнт, що враховує вид навантаження,  $K_{H\beta} = 1$  [48];

$\psi_a$  – коефіцієнт ширини вінця,  $\psi_a=0,25$ , [48];

$[\sigma_H]$  – допустиме контактне напруження, яке визначається за формулою:

$$[\sigma_H] = \frac{[\sigma_{H1}] \cdot K_{HL}}{[S_H]}$$

де,  $K_{HL} = 1$  – коефіцієнт довговічності, [48];

$[S_H] = 1,1$  – коефіцієнт що враховує безпеку, [48];

$[\sigma_{H1}]$  – границя контактної міцності при базовому числі циклів, обчислюється за формулою:

$$[\sigma_{H1}] = 2HB + 70$$

де,  $HB = 300$  – середня твердість матеріалу коліс, [48];

$$[\sigma_{H1}] = 2 \cdot 300 + 70 = 670$$

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустиме напруження тоді буде рівне:

$$[\sigma_H] = \frac{670 * 1}{1,1} = 610$$

Міжосьова відстань при відомих даних для останньої пари коліс буде рівна:

$$a_w = 49,5 * (4 + 1) \sqrt[3]{\frac{1195 * 10^3}{0,35 * 4^2 * 610^2} * 1} = 199 \text{ мм}$$

Приймаємо міжосьову відстань  $a_w = 200$  мм

Згідно із [48] модуль зубчастих коліс визначаємо за формулою:

$$m = \frac{2 * a_w}{\sum Z}$$
$$m = \frac{2 * 200}{90} = 4,4$$

Так як найближче нормальне значення модуля це 4 або 5, приймаємо модуль другого ряду для останньої пари зубчастих коліс  $m = 4,5$

Уточнюємо міжосьову відстань:

$$a_{w\phi} = \frac{m * \sum Z}{2}$$
$$a_{w\phi} = \frac{4,5 * 90}{2} = 202,5 \text{ мм}$$

Аналогічно визначимо міжосьову відстань між валами I та II

$$a_w = 49,5 * (4 + 1) \sqrt[3]{\frac{51 * 10^3}{0,35 * 4^2 * 610^2} * 1} = 107,62 \text{ мм}$$

Приймаємо міжосьову відстань  $a_w = 107$  мм

$$m = \frac{2 * 107}{62} = 3,3$$

Приймаємо модуль для зубчастих коліс  $m = 3,5$

Уточнюємо міжосьову відстань:

$$a_{w\phi} = \frac{3,5 * 62}{2} = 108,5 \text{ мм}$$

					КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Визначимо міжосьову відстань між валами II та III

$$a_w = 49,5 * (4 + 1) \sqrt[3]{\frac{310 * 10^3}{0.35 * 4^2 * 610^2}} * 1 = 171.7 \text{ мм}$$

Приймаємо міжосьову відстань  $a_w = 175 \text{ мм}$

$$m = \frac{2 * 175}{44} = 3.8$$

Приймаємо модуль для зубчастих коліс  $m = 4$

Уточнюємо міжосьову відстань:

$$a_{w\phi} = \frac{4 * 90}{2} = 180 \text{ мм}$$

Розрахуємо основні конструктивні параметри зубчастих коліс останньої групи, та занесемо їх в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Конструктивні параметри зубчастих коліс

	Z13 - 60	Z14 - 30	Z15 - 18	Z16 - 72
Модуль	4,5	4,5	4,5	4,5
Ділильний діаметр D	270	135	81	324
Діаметр вершин зубів Da	279	144	90	333
Діаметр впадин зубів Df	258.75	123.75	69,75	312.75
Ширина зубчастого вінця	30			

### 3.1.8 Орієнтовний розрахунок конструктивних параметрів проміжних валів приводу

Розрахунок конструктивних параметрів валів проведемо за наступною формулою[48]:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T \cdot 10^3}{\pi \cdot [\tau_k]}} \quad (3.1)$$

де: T – крутний момент на відповідному валу;

$[\tau_k]$  – допустиме напруження на кручення.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо для валів матеріал сталь 40Х, для якої  $[\tau_k]=15\dots30\text{МПа}$ , [48]..

Діаметр першого валу:

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{16 * 51 * 10^3}{3,14 * 30}} \geq 20 \text{ мм}$$

Приймаємо мінімальний діаметр першого валу  $d_1 = 20$  мм, решта діаметрів приймається конструктивно.

Діаметр другого валу:

$$d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{16 * 80 * 10^3}{3,14 * 30}} \geq 34,78 \text{ мм}$$

Приймаємо мінімальний діаметр другого валу  $d_2 = 40$  мм, решта діаметрів приймається конструктивно.

Діаметр третього валу:

$$d_3 \geq \sqrt[3]{\frac{16 * 320 * 10^3}{3,14 * 30}} \geq 38,2 \text{ мм}$$

Приймаємо мінімальний діаметр третього валу  $d_3 = 40$  мм, решта діаметрів приймається конструктивно.

Діаметр четвертого валу:

$$d_4 \geq \sqrt[3]{\frac{16 * 1195 * 10^3}{3,14 * 30}} \geq 58,7 \text{ мм}$$

Приймаємо мінімальний діаметр першого валу  $d_4 = 60$  мм, решта діаметрів приймається конструктивно.

### 3.1.9 Розрахунок та підбір підшипників в якості опор валів приводу

Здійснимо підбір підшипників для всіх валів коробки швидкостей. Для проміжних валів обираю кулькові радіальні однорідні підшипники легкої та середньої серії. Для валів I та II призначаю підшипники 6204 та 6205 відповідно з стандартами ISO. Для валу III обираю 6308 підшипник середньої серії. Для шпиндельного валу призначаю кульковий радіально – упорний підшипник моделі 7312М, та дворядний роликовий радіально – сферичний моделі 22312.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Усі габаритні розміри підшипників та деякі технічні характеристики вношу у таблицю 3.5

Таблиця 3.5 – Габаритні розміри та характеристики підшипників

	Внутрішній діаметр d	Зовнішній діаметр D	Ширина B	Вантажопідйомність, Н	
				Статична C <sub>0</sub>	Динамічна C
Кульковий радіальний 6204	20	47	14	6200	12700
Кульковий радіальний 6308	40	90	23	22400	41000
Кульковий радіальний 6308	40	90	23	22400	41000
Кульковий радіально-упорний 7312M	60	130	31	65300	100 000
Роликовий радіально-сферичний 22312	60	130	46	128 000	196 000

Проведу повний розрахунок для III валу.

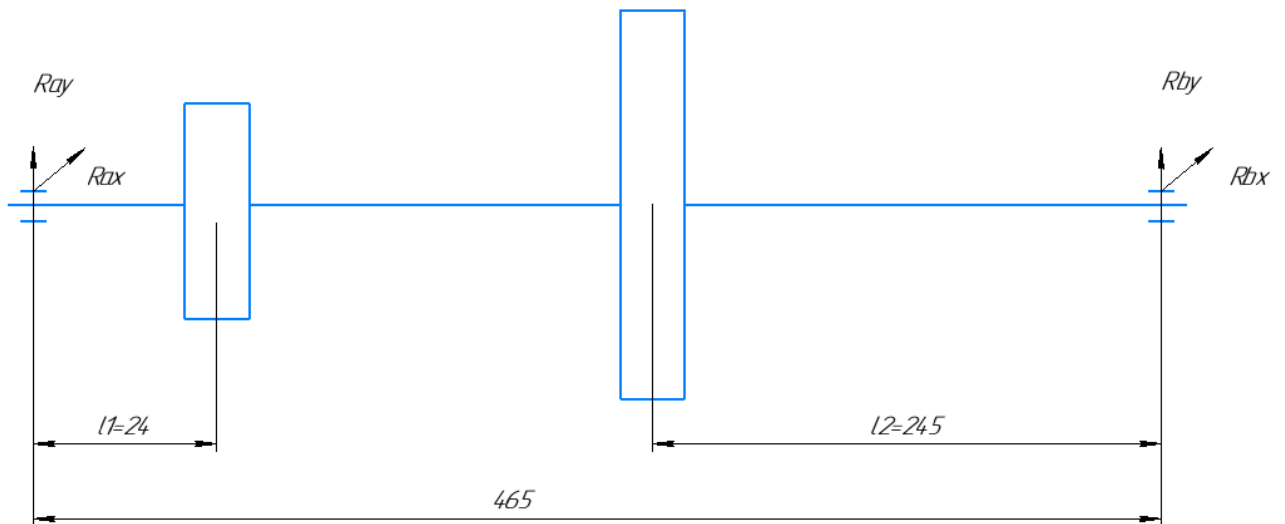


Рис. 3.4 – Схема розташування коліс на валу

Крутний момент передається через 1 та 2 колесо, тому визначаємо окремо сили зачеплення для коліс 1 та 2.

					КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

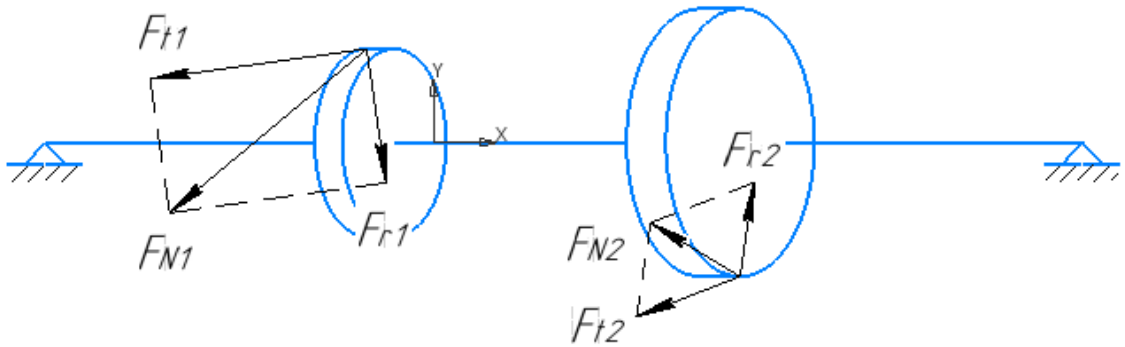


Рис. 3.5 – Схема дії сил на зубчастих колесах

Осьову силу знаходжу за наступною формулою:

$$F_{t1} = \frac{2T * 10^3}{d}$$

де,  $T = 80 \text{ Н}$  – момент який передається через зубчасту пару;

$d = 133 \text{ мм}$  – дільний діаметр зубчастого колеса;

$$F_{t1} = \frac{2 * 80 * 10^3}{133} = 1203 \text{ Н}$$

Радіальні сили знаходять за формулою:

$$F_{r1} = F_{t1} * \text{tg}(\alpha)$$

де,  $\alpha = 20^\circ$  – кут зачеплення.

$$F_{r1} = 1203 * \text{tg}(20^\circ) = 433 \text{ Н}$$

$$F_{t2} = \frac{2 * 80 * 10^3}{180} = 889 \text{ Н}$$

$$F_{r2} = 889 * \text{tg}(20^\circ) = 320 \text{ Н}$$

Визначимо реакції в опорах:

а) у вертикальній площині:

$$\begin{cases} \sum M_a = 0 \\ \sum M_b = 0 \end{cases}$$

$$R_{by} = \frac{-F_{t1}(l_2 + l_3) + F_{t2} * l_1}{l_1 + l_2 + l_3}$$

$$R_{bb} = \frac{-1203(24 + 196) + 889 * 24}{465} = -358 \text{ Н}$$

$$R_{ay} = \frac{F_{t1}(l_2 + l_3) + F_{t2} * l_3}{l_1 + l_2 + l_3}$$

$$R_{ab} = \frac{1203 * (196 + 245) + 889 * 245}{465} = 672 \text{ H}$$

Будую епюру згинальних моментів у вертикальній площині xz

Розбиваю ведений вал на три ділянки у площині yz

1 ділянка  $0 \leq x_1 \leq l_1 = 24\text{мм}$

$$M_{зг} = -R_{ab} * x_1$$

$$X=0 \quad M_{зг} = -R_{ab} * x = 0$$

$$X=l_1 \quad M_{зг} = -R_{ab} * x = -672 * 24 = -16\,140 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

2 ділянка  $0 \leq x_2 \leq l_2 = 196\text{мм}$

$$M_{зг} = -R_{ab}(l_1 + x_2) + F_{t1} * x_2$$

$$X=0 \quad M_{зг} = -672(24 + 0) + 1203 * 0 = -16\,140 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$X=l_2 \quad M_{зг} = -672(24 + 196) + 1203 * 196 = 87\,835 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

3 ділянка  $0 \leq x_3 \leq l_2 = 245\text{мм}$

$$M_{зг} = -R_{ab}(l_1 + l_2 + x_3) + F_{t1}(l_2 + x_3) - F_{t2} * x_3$$

X=0

$$M_{зг} = -672(24 + 196 + 0) + 1203 * (196 + 0) - 0 = 87\,835 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

X=l<sub>2</sub>

$$M_{зг} = -672(24 + 196 + 245) + 1203 * (196 + 245) - 889 * 245 = 0 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Сумарна велечина реакцій в точках опори підшипників:

$$R_a = \sqrt{R_{ax}^2 + R_{ay}^2}; \quad R_b = \sqrt{R_{bx}^2 + R_{by}^2}$$

$$R_a = \sqrt{(1455)^2 + (-1803,8)^2} = 2317,48 \text{ H}$$

$$R_b = \sqrt{(1435)^2 + (5304,92)^2} = 5500,83 \text{ H}$$

					КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після визначення усіх моментів у вертикальній площині перейдемо до побудови схеми навантаження вала. Схема навантаження проміжного вала коробки швидкостей зображена на рисунку 3.5.

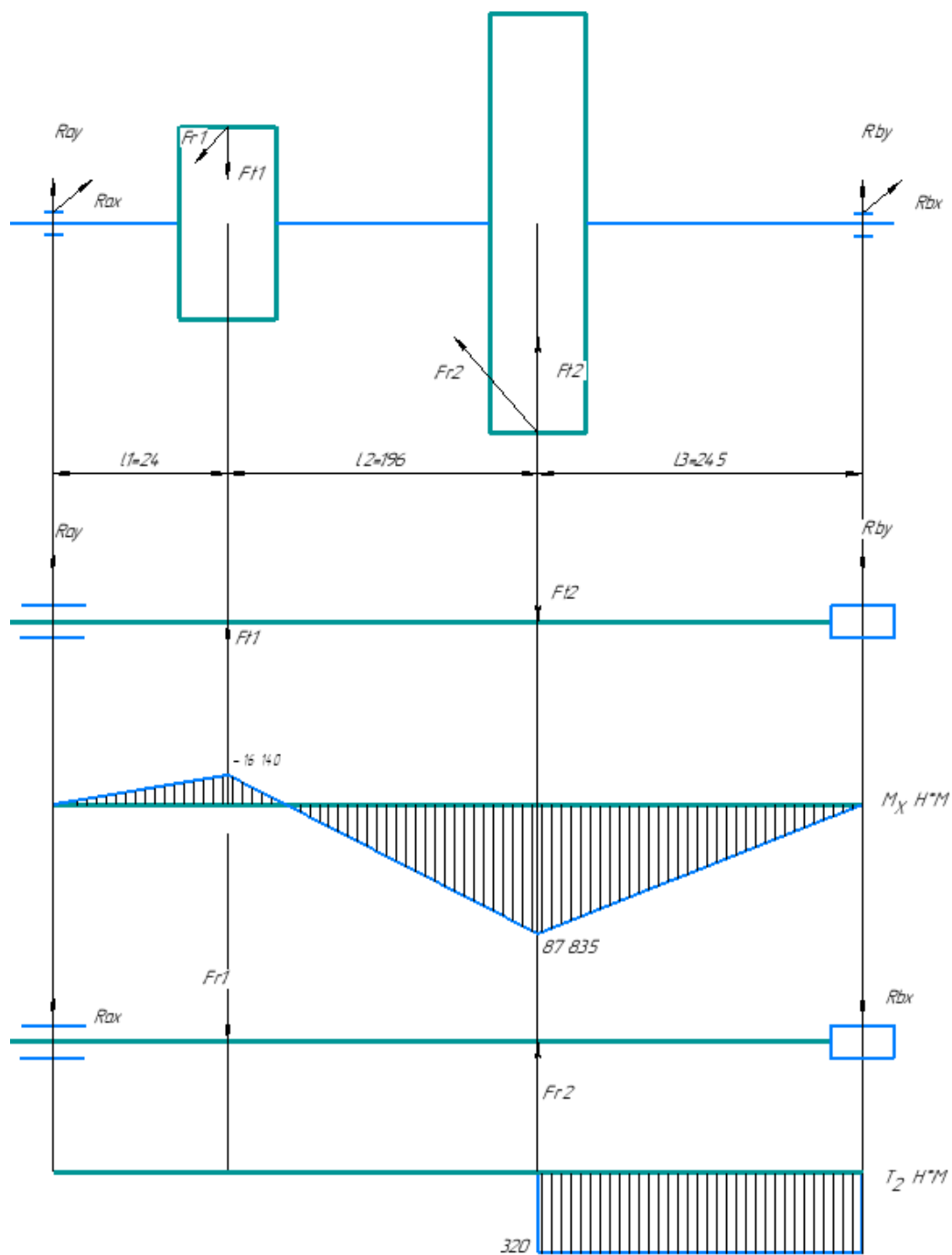


Рис. 3.6 – Схема навантаження вала коробки швидкостей

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ

Арк.

38

## 3.2 Системи автоматизованого проєктування у машинобудуванні

### 3.2.1 Перевірочний розрахунок модуля зубчастого колеса за допомогою САПР

Проведемо перевірочний розрахунок модуля прямозубого зачеплення для проміжної пари зубчастих коліс.

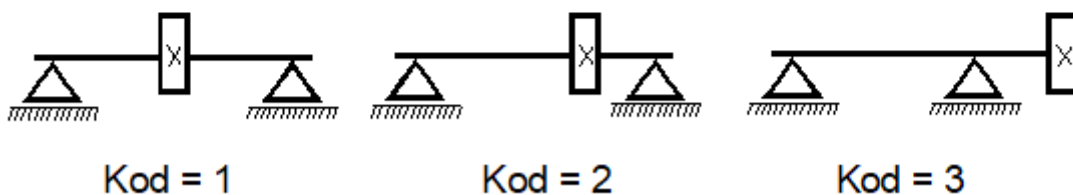
Крутний момент на шестерні	$T1 := 320$	Hm
Допустимі контактні напруги	$\sigma := 610$	MPa
Число зубів шестерні	$z1 := 45$	
Число зубів колеса	$z2 := 45$	
Кількість обертів шестерні	$n := 1250$	Об/хв
Ступінь точності зубчатої передачі рекомендовано (6 ... 8)	$st := 7$	
Коефіцієнт, котрий враховує форму спряжених поверхонь зубів		$zn := 1.76$

Відношення ширини вінця шестерні до початкового діаметра рекомендовано призначати для коробок швидкостей в межах (0,2 ... 0,4)

Вкажіть значення цього коефіцієнта

$$\psi_{bd} := 0.15$$

У залежності від розміщення зубчатої передачі відносно опор розглядають три поіменовані варіанти розміщення зубчастого колеса:



Вкажіть код розміщення передачі  
відносно опор

$\text{kod} := 2$

Коефіцієнт торцевого перекриття

$$\varepsilon\alpha := 1.88 - 3.2 \cdot \left( \frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right)$$

Коефіцієнт, котрий враховує сумарну довжину контактних ліній

$$z\varepsilon := \sqrt{\frac{4 - \varepsilon\alpha}{3}}$$

Визначаємо передаточне число прямозубої передачі ( $u > 1$ )

$$u_r := \frac{z_1}{z_2} \quad u := \text{if} \left( u_r < 1, \frac{1}{u_r}, u_r \right) \quad u_n := u + 1$$

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині  
вінця з умови забезпечення контактної міцності зубів

$$K_{h\beta 1} := 0.915 + 0.0588 \cdot \psi_{bd} + 0.799 \cdot \psi_{bd}^2 - 0.554 \cdot \psi_{bd}^3 + 0.17 \cdot \text{kod}$$

$$K_{h\beta 2} := 0.283 \cdot \psi_{bd} \cdot \text{kod}^2 + 0.0933 \cdot \psi_{bd}^2 \cdot \text{kod} - 0.0474 \cdot \text{kod}^2 - 0.684 \cdot \psi_{bd} \cdot \text{kod}$$

$$K_{h\beta} := K_{h\beta 1} + K_{h\beta 2}$$

Оптимізація коефіцієнту динамічності передачі:

$$K := 1 \quad K_{hv} := K, K + 0.001 \dots K + 1$$

$$dw_1(K_{hv}) := \sqrt[3]{\frac{12270^2 \cdot z_n^2 \cdot z\varepsilon^2 \cdot T_1 \cdot u_n \cdot K_{hv} \cdot K_{h\beta}}{\psi_{bd} \cdot u \cdot \sigma^2}}$$

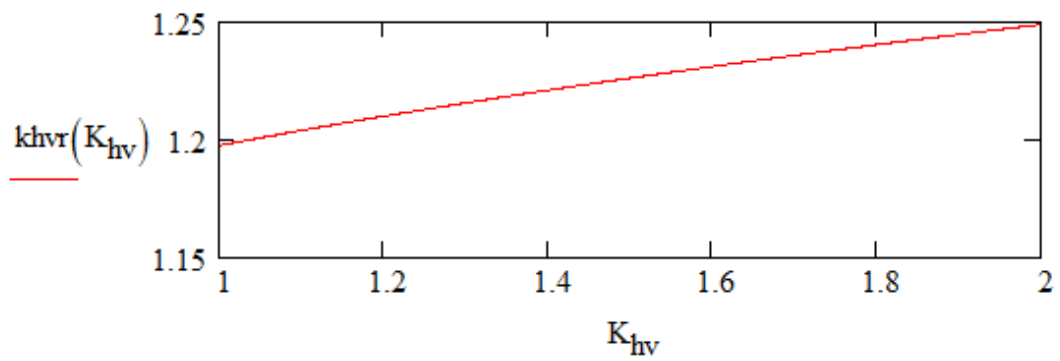
$$mh(K_{hv}) := \frac{dw_1(K_{hv})}{z_1} \quad v(K_{hv}) := \pi \cdot dw_1(K_{hv}) \cdot \frac{n}{60000}$$

$$aw(K_{hv}) := (z_1 + z_2) \cdot \frac{mh(K_{hv})}{2}$$

					КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



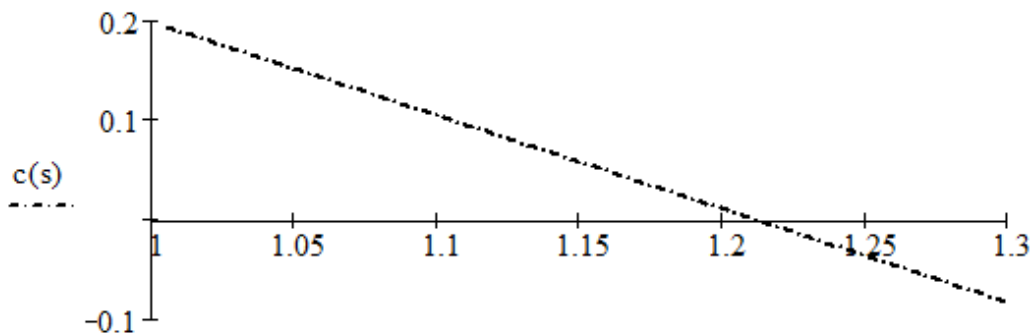
$$\text{khvr}(K_{\text{hv}}) := 0.98 + 0.014 \cdot v(K_{\text{hv}}) + (st - 6) \cdot 0.02 + \frac{(3 \cdot \text{aw}(K_{\text{hv}}))}{(u \cdot 10000)}$$



sp := 1.005      s := sp, (sp + 0.001).. 1.3      a := 1.006, 1.0061.. 1.2

c(s) := khvr(s) - s      z(s) := 0

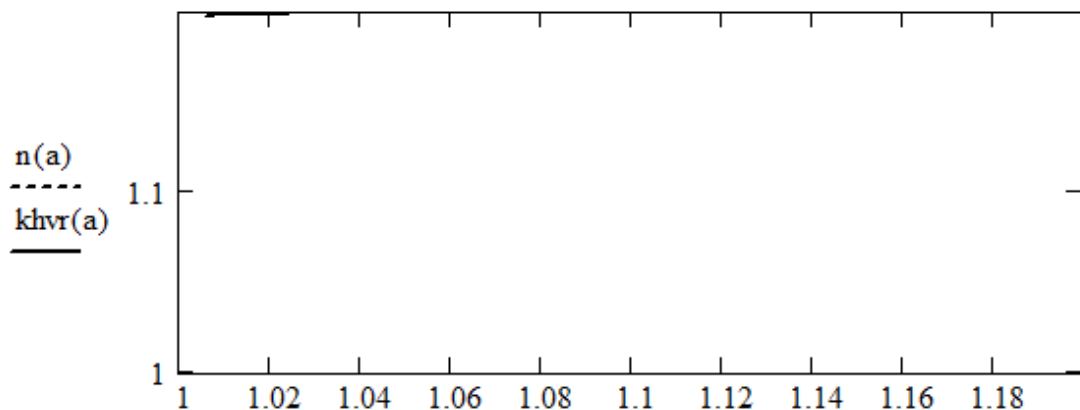
+



s

s := sp      Khv := root(c(s), s)      Khv = 1.211

e(b) := khvr(b) - Khv      e(Khv) =  $-8.27 \times 10^{-4}$       n(a) := if[(|e(a)|) < 0.001, a, 0]



$$e(1.035) = -0.012 \quad e(1.11) = -6.856 \times 10^{-3} \quad e(1.055) = -0.01$$

Діаметр шестерні по умові контактної міцності

$$dw1 := \sqrt[3]{\frac{12270^2 \cdot zn^2 \cdot ze^2 \cdot T1 \cdot un \cdot Khv \cdot Kh\beta}{\psi bd \cdot u \cdot \sigma^2}}$$

Максимально допустимий модуль по контактних напругах

$$mhr := \frac{dw1}{z1} \quad dw1 = 172.944$$

$$mhr = 3.843$$

Коефіцієнт модуля, для прямозубих передач  $km := 14$

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця з умови забезпечення згинної міцності зубів

$$Kf\beta1 := 0.759 + 1.081 \cdot \psi bd - 0.985 \cdot \psi bd^2 + 0.423 \cdot \psi bd^3 + 0.232 \cdot kod$$

$$Kf\beta2 := 0.380 \cdot \psi bd \cdot kod^2 + 0.313 \cdot \psi bd^2 \cdot kod - 0.0549 \cdot kod^2 - 1.022 \cdot \psi bd \cdot kod$$

$$Kf\beta := Kf\beta1 + Kf\beta2$$

Коефіцієнт, що враховує форму зуба шестерні

$$Yf := 3.518 + \frac{6.0}{z1 - 10} - \frac{0.11}{z1 - 16} + (z1 - 60) \cdot 0.00034$$

Допустимі напруги по згину  $\sigma_f := 200$  МПа

Мінімально допустимий модуль по напругах згину

$$mf := km \cdot \sqrt{\frac{T1 \cdot Kf\beta \cdot Yf}{z1^2 \cdot \psi bd \cdot \sigma_f}}$$

РЕЗУЛЬТАТИ:

розрахунковий модуль з умови забезпечення допустимих напруг при згині зуба

$$mf = 2.026 \quad \text{mm}$$

розрахунковий модуль з умови забезпечення контактної міцності зуба

$$mhr = 3.843 \quad \text{mm}$$

					КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$q := 0..4$     $m_q :=$     $qq := 5..7$     $r := 8$     $qqq := r..13$     $j := 0..13$

1
1.25
1.75
2
2.5

$$m_{qq} := m_4 + \frac{qq - 4}{2}$$

$$qr(qqq) := \text{if}[r \neq qqq, (qqq - r) + 1, 1]$$

$$m_{qqq} := m_7 + 2 \cdot qr(qqq) \quad \text{mod}_j := m_j$$

$$mr1(j) := \text{if}(mf < \text{mod}_j, \text{mod}_j, 0) \quad mr2(j) := \text{if}(mhr < \text{mod}_j, \text{mod}_j, 0)$$

$$m(j) := \text{if}(mr1(j) \neq 0, \text{if}(mr2(j) \neq 0, mr2(j), 0), 0)$$

$mr1(j)$

0
0
0
0
2.5
3
3.5
4
6
8
10
12
14
16

$mr2(j)$

0
0
0
0
0
0
0
4
6
8
10
12
14
16

$m(j) =$

0
0
0
0
0
0
0
4
6
8
10
12
14
16

Отже відштовхуючись від перевірного розрахунку модуля зубного зачеплення, ми отримали значення  $m = 3.8$ . Заокруглюючи це число до найближчого цілого  $m = 4$ , що співпадає із значенням модуля при аналітичному розрахунку.

### 3.2.2 Розробка спеціального інструментального забезпечення

У базовому тех процесі під час технологічної операції 005 Токарна використовується ряд різців із механічним кріпленням пластинок, для обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь. Задля покращення ефективності праці та пришвидшення процесу механічної обробки спроектуємо спеціальний інструмент комбінований зенкер – цеківка.

Цей інструмент дозволить зняти значну частину чорнового припуску та одночасно обробити дві поверхні. Представимо проєктування зенкеру для комбінованого інструменту, проєктування проводимо у середовищі SolidWorks.

### 1. Вихідні дані.

Вихідними даними для проєктування зенкеру є крутний момент, що створює інструмент під час обробки поверхні. Згідно із формулою 2.1 крутний момент що створює зенкер  $M_{кр}=20$  Нм. Для визначення мінімального допустимого діаметру хвостовика зенкера підставимо відоме значення моменту у формулу 3.1.

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 20 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 30}} \geq 14 \text{ мм}$$

Отже відштовхуючись що мінімально допустимий діаметр зенкера 14 міліметрів приступаємо до проєктування.

У діалоговому вікні середовища SolidWorks, створюємо новий файл(модель), обираємо площину «Спереду» та виконуємо ескіз зовнішнього контуру зенкере, див рис. 3.7.

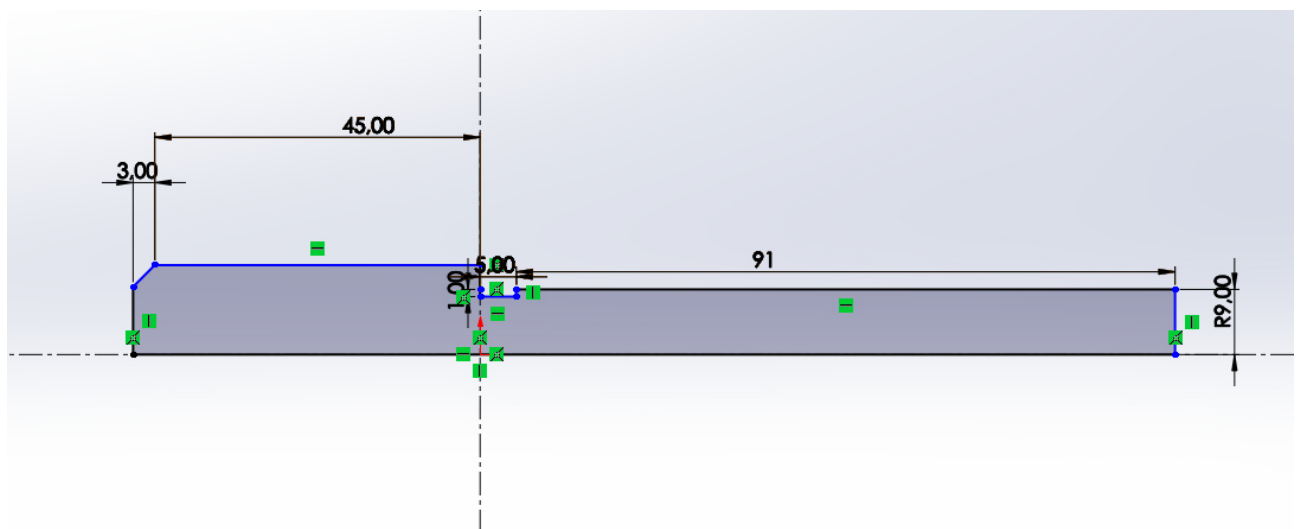


Рис 3.7 – Ескіз зенкеру

Далі за допомогою команди «Видавити обертанням» створюємо повноцінну твердотільну модель зенкера. Після цього зенкера створюємо ескіз у площині «Зліва», та у ній приступаємо до побудови контуру різальної кромки зенкера, див. рис. 3.8.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

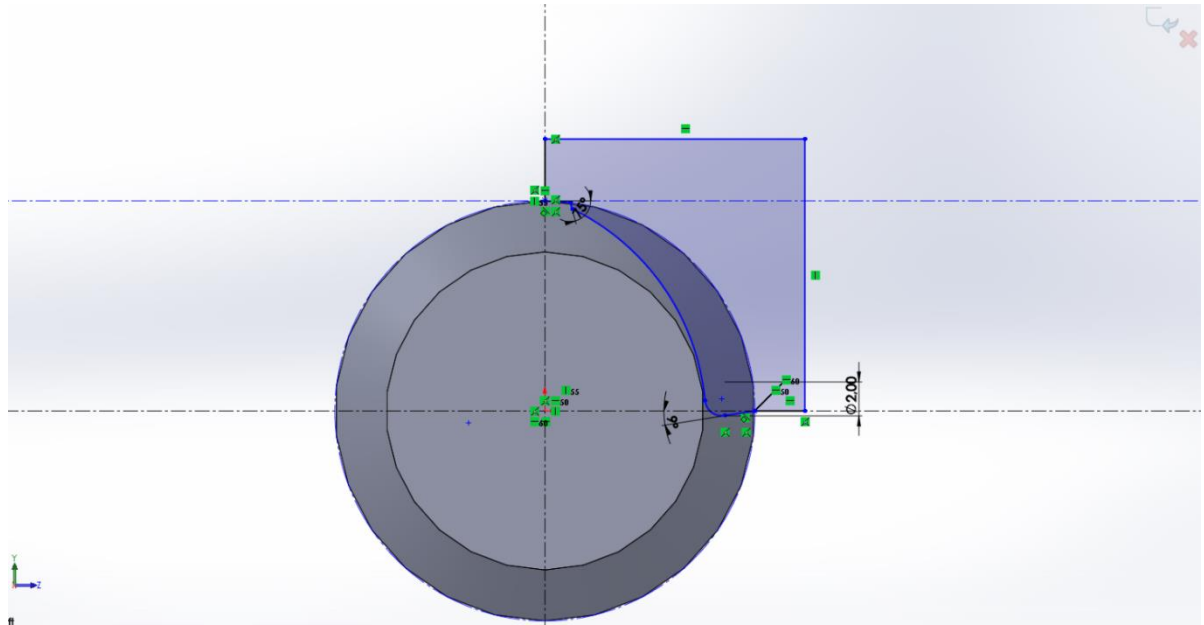


Рисунок 3.8 – Ескіз контуру різальної кромки

У цій же площині створюємо гвинтову лінію, крок якої дорівнює куту підйому гвинтової лінії канавки зенкера. За допомогою команди «Виріз за траєкторією» вирізаємо контур різальної кромки. За допомогою команди круговий масив продублюємо попередню операцію.

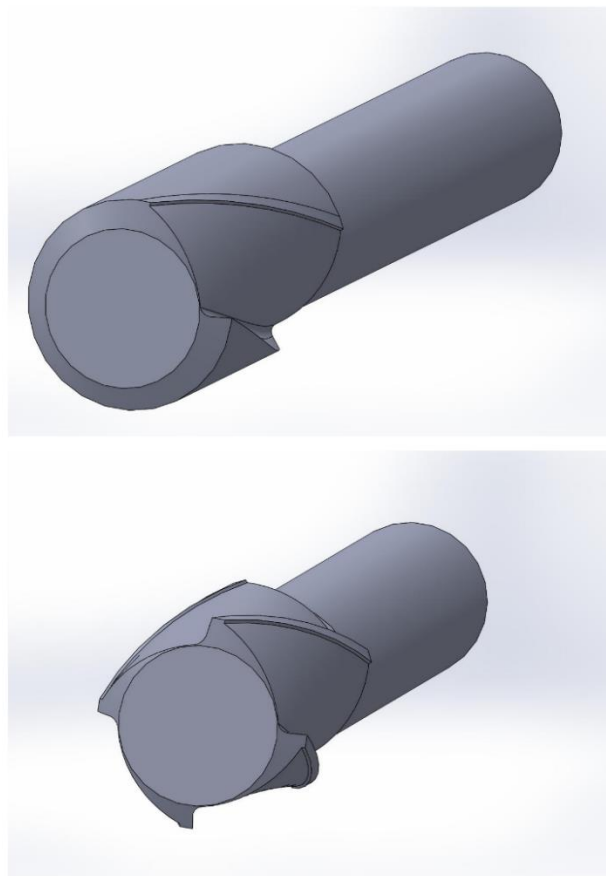


Рисунок 3.9 – Вирізаний контур різальної кромки

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

На фінішному етапі проєктування зенкера потрібно зробити лиску та центральний отвір на торці зенкера.

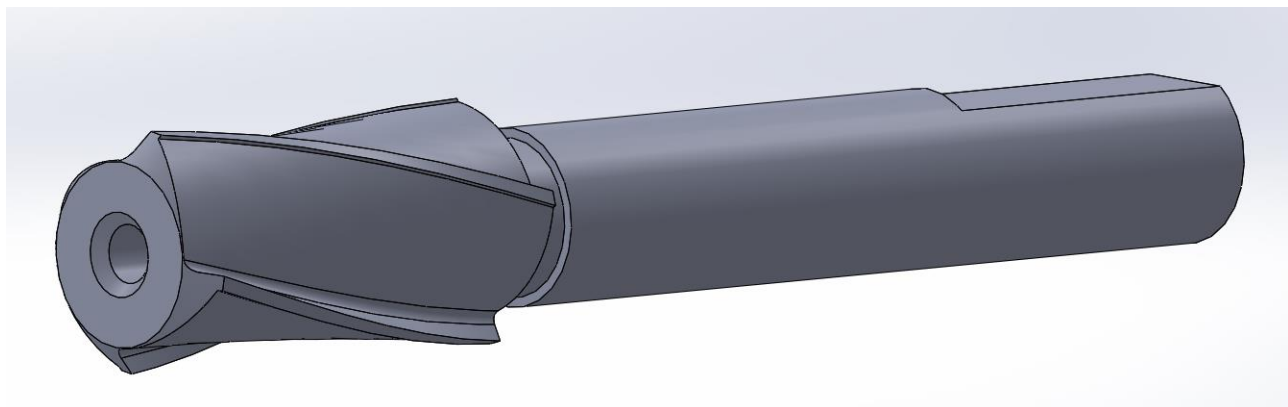


Рисунок 3.10 – 3D модель зенкера.

За аналогією виконуємо моделювання цеківки та оправки, виходячи із сумарного крутного моменту підбираємо конус Морзе, та відповідно моделюємо його. Загальний вигляд спеціального інструменту зображуємо на рисунку 3.11.

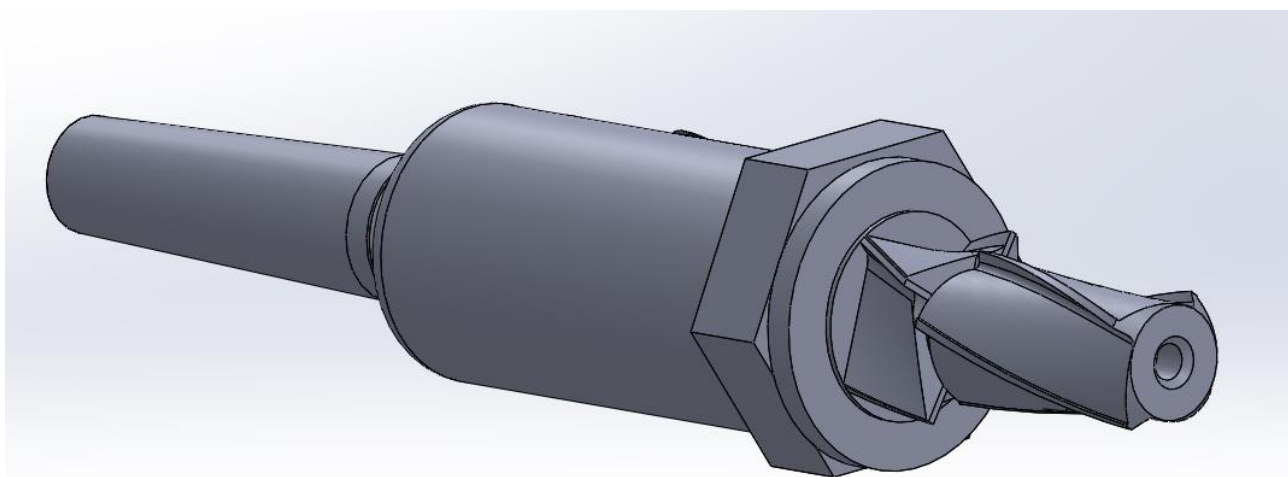


Рисунок 3.11 – Комбінований зенкер – цеківка

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

## 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Розрахунок освітлення

За завданням проводимо розрахунок штучного освітлення. Розміри приміщення: довжина  $a = 5,6$  м, ширина  $b = 3$  м, висота  $H = 3,2$  м. Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття  $\rho_{\text{стелі}} = 70\%$ ,  $\rho_{\text{стін}} = 50\%$ . Висота робочих поверхонь (столів)  $h_p = 0,7$  м. Для освітлення прийнято світильники типу ЛПО01 (з двома лампами), які підвішуються до стелі. Мінімальне освітлення приміщення, в якому виконуються зорові роботи розряду Шв є  $E = 300$  лм.

Оскільки світильники кріпляться до стелі, то їх висота над підлогою майже рівна висоті приміщення  $h_0 = 3,2$  м, що не суперечить вимогам ДБН – 2008.

Визначаємо висоту підвісу світильників над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p \quad (4.1)$$

де  $h_{0,\text{min}} = 2,6 \dots 4$  м коли в світильнику менше 4-х ламп;

$h_p$  - висота робочих поверхонь (столів);  $h_p = 0,7$  м.  $h = 3,2 - 0,7 = 2,5$

Визначаємо індекс приміщення за формулою:

$$i = \frac{a \cdot b}{h(a + b)} \quad (4.2)$$

де:  $a$  і  $b$  – довжина і ширина приміщення, м;  $h$  – висота світильника над робочою поверхнею, м.

$$i = \frac{5,6 \cdot 3}{2,5(5,6 + 3)} = 0,8$$

При  $i = 0,8$ ,  $\rho_{\text{стелі}} = 70\%$ ,  $\rho_{\text{стін}} = 50\%$  для світильником ЛПО01 коефіцієнт використання дорівнює  $\eta = 0,39$ .

					<b>КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ</b>		
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>			
Розроб.		Щербань Ю.І.			<b>БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b>		
Перевір.		Шанайда В.В.					
Реценз.							
Н. Контр.		Кобельник В.Р.					
Зав. каф.		Крупа В.В.					
					<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Акрушів</b>
						47	73
					ТНТУ ім І.Пулюя МВс-41, м. Тернопіль		

Визначаємо необхідну кількість світильників, для забезпечення необхідної нормованої освітленості робочих поверхонь, якщо відомо, що в кожному світильнику встановлено по дві лампи ЛБ-40, а світловий потік однієї такої лампи становить  $\Phi_{л} = 3200$  лм.

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{2\Phi_{л} \cdot \eta} \quad (3.3)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітлення в результаті забруднення та старіння ламп

$$K_3 = 1,5.$$

$Z = 1,1$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення, для люмінесцентних ламп

$$N = \frac{300 \cdot 16,8 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2 \cdot 3200 \cdot 0,39} = 3,3$$

Приймаємо 4 світильники, які для забезпечення рівномірності освітлення розташовуємо в два ряди по 2 штуки в кожному. Оскільки довжина світильника мало що більша за довжину люмінесцентної лампи, встановленої в ньому, то загальна довжина усіх світильників у ряді становитиме:

$$\sum L_{св} = 1,2 \cdot 2 = 2,4$$

Це значення менше довжини приміщення, тому між світильниками будуть розриви 1,06 м. (рис. 4.1)

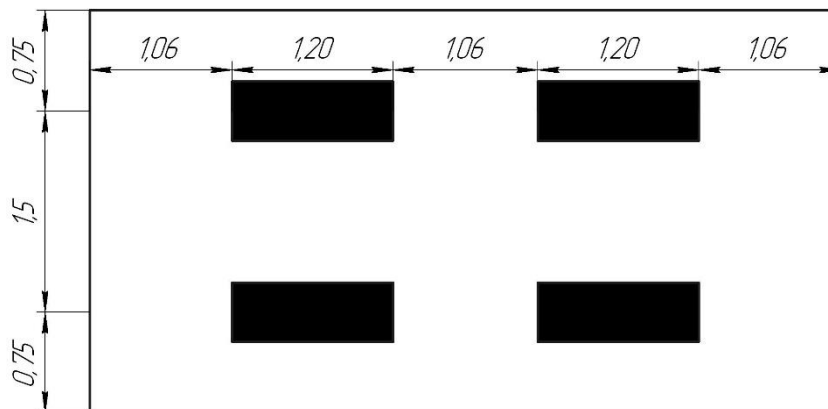


Рис 4.1 Схема розташування світильників ЛПО01 у приміщенні

Визначимо сумарну електричну потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні:

$$\sum P_{св} = P_{л} \cdot N \cdot n \quad (3.4)$$

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



де  $P_{л} = 40$  Вт потужність лампи;

$N$  – загальна кількість світильників;

$n$  – кількість ламп у світильнику/

$$\sum P_{св} = 40 \cdot 4 \cdot 2 = 320 \text{ Вт.}$$

Висновок: розрахунок штучного освітлення для спроектованої ділянки, площею 30 м<sup>2</sup> проведено методом світлового потоку. В результаті розрахунку прийнято 4 світильники ЛПО01 з двома лампами ЛБ-40.. Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених в приміщенні складає 320 В

#### 4.2 Протипожежна безпека на машинобудівному підприємстві

У промислових умовах основними джерелами загоряння є:

1) Іскри, що утворюються при коротких замиканнях, і нагрівання ділянок електромереж та електрообладнання, які виникають при їх перевантаженнях або при появі великих перехідних опорів.

2) Тепло, що виділяється при терті під час ковзання підшипників, дисків, пасових передач, а також при виході газів під високим тиском і великою швидкістю через малі отвори.

3) Іскри, що утворюються при ударах металевих деталей одна об одну чи об абразивний інструмент.

4) Тепло, що виділяється при хімічній взаємодії деяких речовин і матеріалів, наприклад, лужних металів з водою або окиснювачів з горючими речовинами, а також при самозагорянні речовин, наприклад, промасленого спецодягу.

5) Неіскрові заряди статичної електрики.

6) Полум'я, променеве тепло та іскри, що утворюються, наприклад, при плавленні металу і заливанні ливарних форм, при роботі термічних печей і загартовувальних ванн.

7) Іскри, що утворюються при електро- і газозварювальних роботах.

Запобігання виникненню пожежі можна досягти шляхом впровадження відповідних інженерно-технічних заходів при проектуванні і експлуатації технологічного обладнання, енергетичних та санітарно-технічних установок, а також дотримання встановлених правил і вимог пожежної безпеки.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найважливішими пожежно-профілактичними заходами є:

- Правильний вибір електрообладнання і способів його монтажу з урахуванням пожежобезпеки навколишнього середовища, систематичний контроль працездатності захисних апаратів і пристроїв електрообладнання, постійний нагляд за експлуатацією електроустановок і електромереж силами електротехнічного персоналу.

- Попередження перегріву підшипників, деталей і механізмів, що труться, шляхом своєчасного і якісного змащування, контролю за температурою тощо.

- Обладнання ефективної вентиляції, що виключає можливість утворення в приміщенні вибухонебезпечної суміші, і забезпечення нормальної роботи вентиляції в камерах, де здійснюється фарбування і сушіння та інших апаратах.

- Створення умов, що забезпечують пожежну безпеку при роботі з нагрітими до високої температури виробами і розплавленим металом, при зварювальних та інших вогневих роботах.

- Ізолювання вогнедіючих промислових установок і опалювальних приладів від легкозаймистих конструкцій і матеріалів, а також дотримання режиму їх експлуатації.

- Забезпечення надійної герметизації промислового обладнання і трубопроводів з вогненебезпечними продуктами та негайне усунення несправностей при виявленні витоків продуктів в навколишнє середовище.

- Заборона зберігання, транспортування і утримування на робочих місцях вогненебезпечних рідин і розчинів в відкритих ємностях (відрах, відкритих баках тощо).

- Ізоляція речовин, що самозагораються, від інших речовин і матеріалів, виконання правил безпечного їх зберігання та систематичний контроль стану цих речовин.

- Попередження появи іскрових розрядів статичної електрики при обробці матеріалів або використанні рідин, схильних до електризації.

- Своєчасне видалення промаслених обтиральних матеріалів і вогненебезпечних промислових відходів у спеціально відведені для цього місця.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Проведення роз'яснювальних робіт серед робітників і працівників з дотримання правил пожежної безпеки.

При розробці і здійсненні заходів щодо усунення причин виникнення пожеж особливу увагу слід приділяти пожежонебезпечним цехам і ділянкам (лакофарбових покриттів, деревообробки тощо). У цих цехах і на ділянках необхідно широко застосовувати прилади і апарати автоматичного регулювання параметрів, що впливають на зниження пожежної безпеки технологічного процесу виробництва.

Цехи холодної обробки металів – зварювальні, слюсарні, ремонтно-механічні, електромеханічні тощо – великої пожежної небезпеки не становлять, однак виникнення пожеж не виключається. Причинами пожеж можуть бути: горіння проводів і електромоторів внаслідок коротких замикань і перевантажень; спалахи бензину чи керосину, що застосовуються для знежирення (промивки) деталей; горіння підшипників внаслідок поганого змащування; горіння пасів трансмісій через поганий натяг; самозагоряння охолоджуючих рідин на верстатному обладнанні у випадках застосування рідин з низькою температурою самозагоряння; промаслених обтиральних матеріалів, одягу, металевої стружки тощо, які своєчасно не прибрані; несправності приладів опалення чи порушення правил їх експлуатації. Пожежну небезпеку в майстернях холодної обробки металів становлять рідини, що застосовуються для охолодження оброблюваних деталей та інструментів. Це зазвичай горючі і легкозаймісті рідини. Температура загоряння багатьох рідин, що застосовуються для охолодження, невисока (як правило, близько 200°C). Водночас при великих швидкостях різання металу оброблювана деталь і ріжучий інструмент на верстатах сильно нагріваються, тому при зменшенні чи зупинці подачі охолоджуючої рідини може виникнути загоряння. Загоряння також відбудеться, якщо для охолодження застосовують рідини з температурою самозагоряння нижчою, ніж передбачено технологічним процесом.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб виключити можливість загоряння охолоджуючих рідин на верстатах, необхідно стежити за справністю насосів, що подають охолоджуючу рідину; зупиняти роботу верстату при зупинці роботи насосу; при збільшенні швидкості різання на верстатах і збільшенні їх продуктивності пропорційно збільшувати подачу рідини для охолодження; не замінювати рідин, передбачених ДСТУ для даного верстату, іншими з меншою температурою самозагоряння; при виборі рідин для охолодження надавати перевагу рідинам з більшою температурою самозагоряння та спалаху; після закінчення робочого дня очищати верстати і видаляти промаслену стружку; періодично (раз на тиждень) ретельно прибирати всі верстати, особливо автомати.

У слюсарних і ремонтно-механічних майстернях механічну тирсу і стружку потрібно щоденно прибирати. Всі обтиральні матеріали з приставшим до них металевим пилом обов'язково складати в металеві ящики з герметичними кришками і по закінченню робіт виносити їх з приміщення. Дерев'яні підлоги у виробничих цехах повинні бути без пустотними, щільними, без щілин. Щілини сприяють накопиченню під підлогою горючого сміття, промаслених тряпок, що може призвести до самозагоряння і пожежі.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У аналітичній частині я здійснив аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі «Кришка передня ПЦ 125-25.55». Дану деталь згідно із класифікатором ЄСКД можна віднести до 73 класу, а саме не тіла обертання корпусні. Мною був проведений огляд літератури, яку я безпосередньо використовував під час написання кваліфікаційної роботи.

У технологічному розділі здійснив модернізацію базового технологічного процесу, шляхом зміни методу отримання заготовок та використанням більш кращого, новітнього обладнання. Розрахував граничні режими різання, що стануть підґрунтям для подальших розрахунків. Надав характеристику верстатному та інструментальному забезпеченню механічної обробки деталі «Кришка передня ПЦ 125-25.55».

У конструкторській частині я здійснив кінематичний розрахунок приводу головного руху. При визначенні діапазону регулювання дійшов до висновку що оптимальна структурна формула для граничних режимів різання що показані у додатку А це  $Z = Z_{(1)} * Z_{(3)} * Z_{(9)}$ . За цією структурною формулою було розроблено структурну сітку та графік чисел обертів. Згідно із графіком, було знайдено передавальні відношення та пораховані зубчасті колеса. Мною було розраховано та спроектовано конструкцію коробки швидкостей токарно – гвинторізного верстату. Виконано перевірковий розрахунок модуля зубчастого колеса за допомогою САПР MathCAD. Та спроектовано спеціальний інструмент, комбінований зенкер – цеківка, що забезпечить високоефективну обробку внутрішніх поверхонь.

У розділі безпека життєдіяльності та основи охорони праці, проведено розрахунок освітлення для спроектованої ділянки, та надано характеристику виробничої ділянки з точки зору протипожежної безпеки на машинобудівному підприємстві.

					<i>КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Щербань Ю.І.</i>			<b>ВИСНОВКИ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Шанайда В.В.</i>					53	73
<i>Реценз.</i>						<b>ТНТУ ім І.Пулюя МВс-41, м. Тернопіль</b>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Крупа В.В.</i>						

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кобельник В.Р. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів/Кобельник В.Р, Крупа В.В., Тимошенко Н.М. // *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези допов.* – Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.
2. Кобельник В.Р. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118 / В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий // *Процеси механічної обробки в машинобудуванні* : зб. Наук. Праць. Житомир : ЖДТУ, 2010. Вип. 8. С. 99 – 108
3. Скляр Р. А., Возняк А. З. Статистичний аналіз розвитку компоновок багатоцільових верстатів. Матеріали ІХ Всеукраїнської студентської науково - технічної конференції / В 2 т. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 20-21 квітня 2016 р.), 2016. Т. 1. 245 с. – с. 150
4. Скляр Р. А., Шанайда В. В. Розробка критеріальних оцінок для аналізу компоновок верстатів з паралельною кінематикою. Матеріали ІХ наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, 18–19 трав. 2016 р. Тернопіль, 2016. С. 74.
5. Скляр Р. А., Гагалюк А. В. Використання методу нейронних мереж для прогнозування металорізальних верстатів. Матеріали ХХІ наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 16-17 травня 2019 року. Т. : ТНТУ, 2019. – 212 с. (Машинознавство та машинобудування). - С. 34
6. Редько Р.Г., Скляр 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.

					<b>КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розроб.		Щербань Ю.І.			<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
Перевір.		Шанайда В.В.					54	73
Реценз.						ТНТУ ім І.Пулюя		
Н. Контр.		Кобельник В.Р.				МВс-41, м. Тернопіль		
Зав. каф.		Крупа В.В.						

7. Склярів Р.А., Шанайда В.В., Редько Р.Г., Четвержук Т.І. Порівняльно-правовий аналіз законодавства у сфері захисту програмних продуктів у Франції, Німеччині та Україні. Наукові записки. Серія: Право. 2023. Випуск 14. Кропивницький, 2023. С. 27 - 39.

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

9. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. Посіб. М. Тернопіль : Підруч. І посіб., 2023. 240 с.

10. SolidWorks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник / В.Я. Ворощук, Т.М. Вітенько. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с.

11. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник/ С.І. Пустюльга, В.Р. Самостян, Ю.В. Клак – Луцьк: Вежа, 2018. – 172 с.

12. Савіцький Д., Замостний В., Шанайда В. Особливості створення 3D моделей деталей в об'єктах галузевого машинобудування. Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання : Матеріали V Міжнар. Студент. Науково-техн. Конф., м. Тернопіль, 28 квіт. 2022 р. Тернопіль, 2022. С. 79–81.

13. Дячун А. Є., Капаціла Ю. Б., Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин». Тернопіль : ТНТУ, 2016. 75 с.

14. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С. Проектування і виробництво заготовок: підручник. К.: НТУУ «КПІ», 2014. 353 с.

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

16. Склярів Р. А., Гуцалюк І. В. Вимоги до технологічного оснащення яке використовується для затиску призматичних заготовок.: зб. Тез доповідей міжнар. Наук.-техн. Конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) Тернопіль: ТНТУ, 2019. Т. 2. 143 с. С. 26

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

17. Крупа В., Кобельник В., Гагалюк А. Обґрунтування параметрів спеціального трикулачкового патрона для затиску тонкостінних циліндричних заготовок. Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. 2023. № 4. С. 128–137. URL: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.4.16>

18. Склярів Р. А., Гуцалюк І. В. Вимоги до технологічного оснащення яке використовується для затиску призматичних заготовок. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. Тез доповідей міжнар. Наук.-техн. Конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) / М-во освіти і науки України, Терн. Націон. Техн. Ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ТНТУ, 2019. Т. 2. 143 с. - С. 26

19. Орищук Р. М., Чернявський І. В., Шанайда В. В. Дослідження точності позиціонування деталей різної геометричної форми у верстатних механізмах кріплення і силової фіксації. Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї–наука–виробництво : матеріали ХІХ Міжнар. Науково-практ. Конф., м. Суми, 25–26 листоп. 2020 р. Суми, 2020. С. 63–66.

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

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

22. Склярів Р. А., Шанайда В. В. Динамічна модель приводу автоматичної заміни інструментів багатоцільових верстатів. Обладнання і технології сучасного машинобудування : Матеріали Всеукр. Науково-практ. Конф., м. Тернопіль, 11 трав. 2017 р. Тернопіль, 2017. С. 155–156.

23. Вегера Н. О., Шанайда В. В. Комп'ютерне дослідження динамічних характеристик елементів модифікованого приводу головного руху вертикально-фрезерного верстата. Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання : Зб. Тез Міжнар. Студент. Науково-техн. Конф., м. Тернопіль, 26 квіт. 2018 р. Тернопіль, 2018. С. 178–179.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



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

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

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

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

28. Скляров Р. А., Приходай Д. А. Шляхи підвищення точності обробки на металорізальних верстатах. Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, 2021.- С. 55-56

29. Скляров Р., Крисько О. Особливості конструкцій багатоцільових верстатів для обробки корпусних деталей. Матеріали Всеукраїнської студентської науково - технічної конференції / В 2 т – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І.Пуллюя (м. Тернопіль, 22-23 квітня 2010 р.), 2010.- Т. 1. - 472 с., - С. 238.

30. 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. URL: <https://visnyk.tntu.edu.ua/?art=739>.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

31. Volodymyr Shanaida, Ruslan Skliarov, Valeriy Lazaryuk. Mathematical models for the analysis of the parameters of channels in the planning of mechanical processing and welding operations/ Proceedings ITTAP'2023: 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, November 22–24, 2023, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland. 2023, 3628, pp. 43-54

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

33. Features of creating a solid models and assembly operations at cad-systems / T. V. Vitenko et al. international conference on education and new learning technologies, Barcelona, Spain, 3–5 July 2017. 2017. URL: <https://doi.org/10.21125/edulearn.2017.0336>.

34. Шанайда В. В., Кривий П. Д., Кобельник В. Р. Проектування токарних різців. Методичний посібник до виконання практичної та курсової роботи, а також самостійної підготовки студентів з дисципліни «Проектування різальних інструментів» студентами денної та заочної форм навчання. Тернопіль : Вид-во ТНТУ ім. Ів. Пулюя, 2020. 50 с.

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

36. Розточувальні інструменти з попарно-асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких циліндричних отворів П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, В. Г. Яковлев. Технічні науки та технології. 2016. № 2 (4). С. 28-35.

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

38. Різальний інструмент та інструментальне забезпечення автоматизованого виробництва, конспект лекцій / Б.І. Назаревич, О.Б. Назаревич – Тернопіль: ТНТУ, 2010 – 413с.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

41. Кривий П. Д. , Крупа В. В. Конструкторсько-технологічні параметри багаторіцевих розточних головок з радіусними вершинами різців. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2011. Вип. 33 С. 92-99

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

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

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

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

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

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

47. Розрахунок та конструювання коробок швидкостей металорізальних верстатів. Методичні вказівки до виконання лабораторних та розрахунково-графічної робіт з дисципліни «Розрахунок і конструювання верстатів та верстатних комплексів» для студентів за напрямом підготовки 133 – Галузеве машинобудування денної форми навчання / Укл.: Кальченко В. І., Кологойда А. В., Следнікова О. С. Чернігів: ЧНТУ, 2016. 111 с.

48. Гевко Р.Б., Хомик Н.І., Жаровський О.С., Довбуш Т.А. Деталі машин та основи автоматизованого конструювання: навчальний посібник до лабораторних робіт. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. 256 с.

49. ДСТУ 2582:2017 Машини електричні тягові, що обертаються. Загальні технічні умови

50. Шанайда В. Вирішення задач оптимізації параметрів різального інструменту з використанням пакета MathCAD / В. Шанайда // Вісник ТДТУ. Т. : ТДТУ, 2000. Том 5. № 1. С. 51–57.

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ДОДАТКИ

					КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

## ДОДАТОК А

Таблиця А1. Режими різання

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	Tm, хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	Sm, мм/хв	To, хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Операція 005. Токарна з ЧПК										
Перехід 2										
Підрізати попередньо торець 1, витримуючи розміри 36,8 <sub>-0,62</sub>	1,0	35,9	1	60	0,7	250	63,7	175	0,21	6,4
Перехід 3										
Підрізати торець 1 остаточно, витримуючи розмір 36,4 <sup>+0,2</sup>	0,4	35,9	1	60	0,83	250	63,7	207,5	0,17	6,24
Перехід 4										
Підрізати остаточно торець 6, поверхню 5, точити попередньо зовнішню циліндричну поверхню 7 17, витримуючи розміри $\varnothing 56^{+0,74}$ ; $1^{+0,1}$ ; $\varnothing 78,2_{-0,74}$ ; 9, $5_{-0,36}$	1,0 1,5 0,8	33,5	1	60	0,8	250	61,2 44	200	0,17	7
Перехід 5										
Зенкерувати отвір 3, витримуючи розмір $\varnothing 24,8H11^{(+0,13)}$	1,7	43,4	1	50	0,55	355	27,6	195,25	0,22	3,2
Перехід 6										
Розточити фаску 4, витримуючи розмір $4,57 \times 10^\circ$	0,8 1	9,57	1	60	0,6	710	55,3	428	0,02	5,8
Перехід 7										
Розточити отвір 2, витримуючи розміри $\varnothing 48H14^{(+0,62)}$ ; $1=2^{+0,1}$	2	18,2	1	60	0,4	450	67,8	180	0,1	6,2
Перехід 8										
Точити попередньо зовнішню циліндричну поверхню 7, витримуючи розмір $\varnothing 77,9 h11_{(-0,19)}$	0,6 5	12,5	1	60	0,8	355	86	284	0,04	1,2

					КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ					Арк.
										62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Продовження таблиці А1

Перехід 9										
Точити попередньо зовнішню циліндричну поверхню 7, витримуючи розмір $\varnothing 76,3h9_{(-0,074)}$	0,3	12,5	1	60	0,6	355	85,4	213	0,06	0,5
Перехід 10										
Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 7, витримуючи розмір $\varnothing 76h8_{(-0,046)}$	0,1 5	12,5	1	60	0,5	355	85,2	177,5	0,07	0,42
Перехід 11										
Підрізати торець 17 остаточно, витримуючи розмір $10 \pm 0,1$	0,4	35,9	1	60	0,83	250	63,7	207,5	0,17	6,24
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 12										
Точити канавку 8, витримуючи розміри $b=4H12^{(+0,021)}$ ; $\varnothing 70_{-0,19}$	4	48	1	60	0,3	560	61,5	165	0,3	1,8
Перехід 13										
Розвернути попередньо отвір 3, витримуючи розмір $\varnothing 24,94H9^{(+0,052)}$	0,0 7	57	1	50	2,4	160	12,5	384	0,15	1,3
Перехід 14										
Розвернути остаточно отвір 3, витримуючи розмір $\varnothing 25H7^{(+0,021)}$	0,0 3	57	1	50	1,6	200	15,7	320	0,18	0,8
Операція 010 Фрезерна з ЧПК										
Перехід 2										
Фрезерувати торець 9, витримуючи розмір $35h12_{(-0,25)}$	1,4	104	1	120	0,2	350	110	700	0,15	2,3
Перехід 3										
Розточити отвір 13, витримуючи розміри $\varnothing 30H14^{(+0,52)}$ ; $l=11$	1,2 5	18,5	2	60	0,4	720	68	288	0,13	1

Продовження таблиці А1

Перехід 4										
Розточити отвір 11 з підрізанням торця 12, витримуючи розміри $\varnothing 33H14(+0,62)$ ; $l=8,5^{+0,36}$	1,5	13,5	1	60	0,4	650	67,4	260	0,05	1,1
Перехід 5										
Розточити отвір 11 з підрізанням торця 12, витримуючи розміри $\varnothing 34,7H11(+0,16)$ ; $l=9+0,15$	0,8 5	14	1	60	0,2	945	103	189	0,07	0,81
Перехід 6										
Розточити отвір 11, витримуючи розміри $\varnothing 34,93H9(+0,062)$ ; $l=9$	0,1 15	14	1	60	0,2	945	103	189	0,07	0,81
Перехід 7										
Центрувати чотири отвори під різь М5-7Н і чотири отвори під отвори діаметром 9, витримуючи розміри $\varnothing 1,0^{+0,10}$ ; $\varnothing 2,12^{+0,12}$ ; 1,3; $0,97^{+0,06}$ ; $\varnothing 40$ ; 70	0,5	6,27	4	20	0,1	200 0	19,8	200	0,13	0,22
Перехід 8										
Свердлими чотири отвори, витримуючи розміри $\varnothing 9H14(+0,36)$ ; $70\pm 0,37$	4,5	15	4	30	0,3	770	21,8	231	0,26	0,62
Перехід 9										
Свердлими чотири отвори під різь М5-7Н, витримуючи розміри $\varnothing 4,2^{+0,18}$ ; $\varnothing 40$	2,1	20	4	15	0,08	200 0	26,4	160	0,5	0,1
Перехід 10										
Нарізати різь в чотирьох отворах, витримуючи розміри М5-7Н; $l=6$	0,4 33	28,4	4	15	0,8	560	8,8	448	0,32	0,05
Перехід 11										
Розточити остаточно отвір, витримуючи розмір $\varnothing 35H8(+0,039)$	0,0 35	14	1	60	0,1	820	90	82	0,17	0,13

					КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ					Арк.
										64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						



Продовження таблиці А1

Операція 015 Свердлильна з ЧПК										
Перехід 2										
Свердлити отвір 18, витримуючи розміри $\varnothing 10^{+0,36}$ ; $l=23$ ; $\varnothing 52$	5	29	1	30	0,18	710	22,3	127,8	0,23	0,18
Перехід 3										
Центрувати отвір 14, витримуючи розміри $\varnothing 2,0^{+0,10}$ ; $\varnothing 4,25^{+0,12}$ ; 2,5; 1,95H12; $13\pm 0,1$	1	8,45	1	20	0,04	1400	22	56	0,15	0,23
Перехід 4										
Свердлити отвір 14, витримуючи розміри $\varnothing 10,8^{+0,43}$ ; $l=25$ ; $13\pm 0,1$	5,4	32	1	30	0,2	710	24	142	0,23	0,19
Перехід 5										
Розвернути отвір 14 на конус під різь 1:16 до $\varnothing 11,45^{+0,1}$ на довжину 25	0,325	33	1	20	0,6	355	12,8	213	0,15	0,19
Перехід 6										
Зенкувати фаску 15, в розмір $1\times 45_0$	1	5	1	20	0,1	500	25	50	0,1	0,2
Перехід 7										
Нарізати внутрішню різь 16, в розміри R $\frac{1}{4}$ 6111-81; $l=15$	1,129	36,23	1	20	1,411	250	7,9	$\frac{352,7}{5}$	0,1	0,3

## ДОДАТОК Б

Розрахунок граничних режимів різання для різних видів матеріалу

Розрахунок для сплаву алюмінію АЛ27

Глибина різання

Підбираю глибину різання для максимального та мінімального оброблювального діаметрів на чорновий та чистовий прохід.

- для чорнового:

$$t_{чр.min} := 1 \quad t_{чр.max} := 5$$

- для чистового

$$t_{чус.min} := 0.1 \quad t_{чус.max} := 0.2$$

Подача

Подачу при чорновому та чистовому точінні доречно вибирати із максимально допустимої міцності та жорсткості системи ВПД.

- для чорнового точіння:

$$s_{чр.min} := 0.3 \quad s_{чр.max} := 0.5$$

- для чистового точіння:

$$s_{чус.min} := 0.1 \quad s_{чус.max} := 0.2$$

Швидкість різання

Швидкість різання при зовнішньому повздовжньому точінні визначається за формулою:

$$v := \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v$$

де,  $C_v$  – коефіцієнт, який враховує характер обробки

$$C_{v1} := 485 \quad \text{- для чорнового точіння при } s > 0.2;$$

$$C_{v2} := 328 \quad \text{- для чистового точіння при } s < 0.2;$$

$m, x, y$  – значення показників степеню при визначенні швидкості різання;  
 $x := 0.12 \quad m := 0.28 \quad y_1 := 0.25 \quad y_2 := 0.5$

$T := 60$  - період стійкості інструменту;

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$K_v$  – поправковий коефіцієнт, що дорівнює:

$$K_v := K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv}$$

де,  $K_{mv} := 0.8$  – коефіцієнт, що враховує фізико-механічні властивості матеріалу;

$K_{pv} := 0.9$  – коефіцієнт, який враховує поверхневий стан заготовки;

$K_{iv} := 1$  – коефіцієнт що враховує матеріал інструменту;

$$K_v := K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} = 0.7$$

Отже швидкість різання буде рівною:

$$v_{\text{чр. min}} := \frac{C_{v1}}{T^m \cdot t_{\text{чр. min}}^x \cdot s_{\text{чр. min}}^{y_1}} \cdot K_v = 149.9$$

$$v_{\text{чр. max}} := \frac{C_{v1}}{T^m \cdot t_{\text{чр. max}}^x \cdot s_{\text{чр. max}}^{y_1}} \cdot K_v = 108.8$$

$$v_{\text{чус. min}} := \frac{C_{v2}}{T^m \cdot t_{\text{чус. min}}^x \cdot s_{\text{чус. min}}^{y_2}} \cdot K_v = 312.8$$

$$v_{\text{чус. max}} := \frac{C_{v2}}{T^m \cdot t_{\text{чус. max}}^x \cdot s_{\text{чус. max}}^{y_2}} \cdot K_v = 203.6$$

Згідно із завданням максимальний та мінімальний діаметр обробки становить

$$d_{\text{min}} := 20; \quad d_{\text{max}} := 180$$

Частоту обертання шпинделя розраховується за формулою:

$$n_{\text{чр. min}} := \frac{(1000 \cdot v_{\text{чр. min}})}{\pi \cdot d_{\text{min}}} = 2386.3$$

$$n_{\text{чр. max}} := \frac{1000 \cdot v_{\text{чр. max}}}{\pi \cdot d_{\text{max}}} = 192.4$$

$$n_{\text{чус. min}} := \frac{(1000 \cdot v_{\text{чус. min}})}{\pi \cdot d_{\text{min}}} = 4979$$

$$n_{\text{чус. max}} := \frac{1000 \cdot v_{\text{чус. max}}}{\pi \cdot d_{\text{max}}} = 360$$

						КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			67

## Розрахунок для сплаву бронзи БрО5Ц5С5

### Глибина різання

Підбираю глибину різання для максимального та мінімального оброблювального діаметрів на чорновий та чистовий прохід.

- для чорнового:

$$t_{чр.min} := 1 \quad t_{чр.max} := 5$$

- для чистового

$$t_{чус.min} := 0.1 \quad t_{чус.max} := 0.2$$

### Подача

Подачу при чорновому та чистовому точінні доречно вибирати із максимально допустимої міцності та жорсткості системи ВПД.

- для чорнового точіння:

$$s_{чр.min} := 0.4 \quad s_{чр.max} := 1.9$$

- для чистового точіння:

$$s_{чус.min} := 0.09 \quad s_{чус.max} := 0.15$$

### Швидкість різання

Швидкість різання при зовнішньому повздовжньому точінні визначається за формулою:

$$v := \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v$$

де,  $C_v$  – коефіцієнт, який враховує характер обробки

$$C_{v1} := 270 \quad \text{- для чорнового точіння при } s > 0.2;$$

$$C_{v2} := 182 \quad \text{- для чистового точіння при } s < 0.2;$$

$m, x, y$  – значення показників степеню при визначенні швидкості різання;

$$x := 0.12 \quad m := 0.23 \quad y_1 := 0.25 \quad y_2 := 0.5$$

$T := 60$  - період стійкості інструменту;

					КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$K_v$  – поправковий коефіцієнт, що дорівнює:

$$K_v := K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv}$$

де,  $K_{mv} := 1$  – коефіцієнт, що враховує фізико-механічні властивості матеріалу;

$K_{pv} := 0.9$  – коефіцієнт, який враховує поверхневий стан заготовки;

$K_{iv} := 1$  – коефіцієнт що враховує матеріал інструменту;

$$K_v := K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} = 0.9$$

Отже швидкість різання буде рівною:

$$v_{\text{чр. min}} := \frac{C_{v1}}{T^m \cdot t_{\text{чр. min}}^x \cdot s_{\text{чр. min}}^{y_1}} \cdot K_v = 119.2$$

$$v_{\text{чр. max}} := \frac{C_{v1}}{T^m \cdot t_{\text{чр. max}}^x \cdot s_{\text{чр. max}}^{y_1}} \cdot K_v = 66.5$$

$$v_{\text{чус. min}} := \frac{C_{v2}}{T^m \cdot t_{\text{чус. min}}^x \cdot s_{\text{чус. min}}^{y_2}} \cdot K_v = 280.7$$

$$v_{\text{чус. max}} := \frac{C_{v2}}{T^m \cdot t_{\text{чус. max}}^x \cdot s_{\text{чус. max}}^{y_2}} \cdot K_v = 200.1$$

Згідно із завданням максимальний та мінімальний діаметр обробки становить

$$d_{\text{min}} := 20; \quad d_{\text{max}} := 180$$

Частоту обертання шпинделя розраховується за формулою:

$$n_{\text{чр. min}} := \frac{(1000 \cdot v_{\text{чр. min}})}{\pi \cdot d_{\text{min}}} = 1896.4$$

$$n_{\text{чр. max}} := \frac{1000 \cdot v_{\text{чр. max}}}{\pi \cdot d_{\text{max}}} = 117.7$$

$$n_{\text{чус. min}} := \frac{(1000 \cdot v_{\text{чус. min}})}{\pi \cdot d_{\text{min}}} = 4467.2$$

$$n_{\text{чус. max}} := \frac{1000 \cdot v_{\text{чус. max}}}{\pi \cdot d_{\text{max}}} = 353.8$$

									КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						69

Аналогічно проводимо розрахунки для наступних марок матеріалу. Розрахунок для сірого чавуну СЧ20

Глибина різання

Підбираю глибину різання для максимального та мінімального оброблювального діаметрів на чорновий та чистовий прохід.

- для чорнового:

$$t_{чр.min} := 1 \quad t_{чр.max} := 5$$

- для чистового

$$t_{чус.min} := 0.1 \quad t_{чус.max} := 0.2$$

Подача

Подачу при чорновому та чистовому точінні доречно вибрати із максимально допустимої міцності та жорсткості системи ВПІД.

- для чорнового точіння:

$$s_{чр.min} := 0.5 \quad s_{чр.max} := 1.1$$

- для чистового точіння:

$$s_{чус.min} := 0.15 \quad s_{чус.max} := 0.30$$

Швидкість різання

Швидкість різання при зовнішньому повздовжньому точінні визначається за формулою:

$$v := \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v$$

де,  $C_v$  – коефіцієнт, який враховує характер обробки

$$C_{v1} := 243 \quad \text{- для чорнового точіння при } s > 0.4;$$

$$C_{v2} := 292 \quad \text{- для чистового точіння при } s < 0.4;$$

$m, x, y$  – значення показників степеню при визначенні швидкості різання;

$$x := 0.15 \quad m := 0.2 \quad y_1 := 0.2 \quad y_2 := 0.4$$

$T := 60$  - період стійкості інструменту;

											Арк.
											70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

КРБ 22-366.00.00.000 ПЗ

$K_v$  – поправковий коефіцієнт, що дорівнює:

$$K_v := K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv}$$

де,  $K_{mv}$  – коефіцієнт, що враховує фізико-механічні властивості матеріалу;

$$K_{mv} := \left( \frac{750}{HB} \right)^{n_v}$$

$n_v := 1.25$  – значення степеню під час обробки чавунів

$HB := 200$  – характеристика матеріалу;

$$K_{mv} := \left( \frac{190}{HB} \right)^{n_v} = 0.9$$

$K_{pv} := 0.9$  – коефіцієнт, який враховує поверхневий стан заготовки;

$K_{iv} := 1$  – коефіцієнт що враховує матеріал інструменту;

$$K_v := K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} = 0.8$$

Отже швидкість різання буде рівною:

$$v_{\text{чр.мин}} := \frac{C_{v1}}{T^m \cdot t_{\text{чр.мин}}^x \cdot s_{\text{чр.мин}}^{y_2}} \cdot K_v = 119.3$$

$$v_{\text{чр.мак}} := \frac{C_{v1}}{T^m \cdot t_{\text{чр.мак}}^x \cdot s_{\text{чр.мак}}^{y_2}} \cdot K_v = 68.4$$

$$v_{\text{чус.мин}} := \frac{C_{v2}}{T^m \cdot t_{\text{чус.мин}}^x \cdot s_{\text{чус.мин}}^{y_1}} \cdot K_v = 224.4$$

$$v_{\text{чус.мак}} := \frac{C_{v2}}{T^m \cdot t_{\text{чус.мак}}^x \cdot s_{\text{чус.мак}}^{y_1}} \cdot K_v = 176$$

Згідно із завданням максимальний та мінімальний діаметр обробки становить

$$d_{\text{мин}} := 10; \quad d_{\text{мак}} := 180$$

Частоту обертання шпинделя розраховується за формулою:

$$n_{\text{чр.мин}} := \frac{(1000 \cdot v_{\text{чр.мин}})}{\pi \cdot d_{\text{мин}}} = 3798.7$$

$$n_{\text{чус.мин}} := \frac{(1000 \cdot v_{\text{чус.мин}})}{\pi \cdot d_{\text{мин}}} = 7141.4 \quad n_{\text{чр.мак}} := \frac{1000 \cdot v_{\text{чр.мак}}}{\pi \cdot d_{\text{мак}}} = 120.9$$

									Арк.
									71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Розрахуємо режими різання під час точіння конструкційної сталі 40Х, для чорнового та чистового проходів

Глибина різання

Підбираю глибину різання для максимального та мінімального оброблювального діаметрів на чорновий та чистовий прохід.

- для чорнового:

$$t_{чр.min} := 1 \quad t_{чр.max} := 5$$

- для чистового

$$t_{чус.min} := 0.1 \quad t_{чус.max} := 0.4$$

Подача

Подачу при чорновому та чистовому точінні доречно вибирати із максимально допустимої міцності та жорсткості системи ВПД.

- для чорнового точіння:

$$s_{чр.min} := 0.3 \quad s_{чр.max} := 0.9$$

- для чистового точіння:

$$s_{чус.min} := 0.1 \quad s_{чус.max} := 0.15$$

Швидкість різання

Швидкість різання при зовнішньому повздовжньому точінні визначається з формулою:

$$v := \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v$$

де,  $C_v$  – коефіцієнт, який враховує характер обробки

$C_{v1} := 340$  - для чорнового точіння при  $s < 0.3$ ;

$C_{v2} := 420$  - для чорнового точіння при  $s < 0.3$ ;

$T := 60$  - період стійкості інструменту;

$m, x, y$  – значення показників степеню при визначенні швидкості різання;

$x := 0.15 \quad m := 0.2 \quad y_1 := 0.45 \quad y_2 := 0.2$

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



де,  $K_{mv} := 0.7$  – коефіцієнт, що враховує фізико-механічні властивості матеріалу;

$K_{pv} := 0.9$  – коефіцієнт, який враховує поверхневий стан заготовки;

$K_{iv} := 1$  – коефіцієнт що враховує матеріал інструменту;

$$K_V := K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} = 0.63$$

Отже швидкість різання буде рівною:

$$v_{\text{чр. min}} := \frac{C_{v2}}{T^m \cdot t_{\text{чр. min}}^x \cdot s_{\text{чр. min}}^{y_2}} \cdot K_V = 148.4$$

$$v_{\text{чр. max}} := \frac{C_{v1}}{T^m \cdot t_{\text{чр. max}}^x \cdot s_{\text{чр. max}}^{y_1}} \cdot K_V = 77.8$$

$$v_{\text{чус. min}} := \frac{C_{v2}}{T^m \cdot t_{\text{чус. min}}^x \cdot s_{\text{чус. min}}^{y_2}} \cdot K_V = 261.2$$

$$v_{\text{чус. max}} := \frac{C_{v2}}{T^m \cdot t_{\text{чус. max}}^x \cdot s_{\text{чус. max}}^{y_2}} \cdot K_V = 195.6$$

Згідно із завданням максимальний та мінімальний діаметр обробки становить  $d_{\text{min}} := 20$ ;  $d_{\text{max}} := 180$

Частоту обертання шпинделя розраховується за формулою:

$$n_{\text{чр. min}} := \frac{(1000 \cdot v_{\text{чр. min}})}{\pi \cdot d_{\text{min}}} = 2362.4$$

$$n_{\text{чр. max}} := \frac{1000 \cdot v_{\text{чр. max}}}{\pi \cdot d_{\text{max}}} = 137.6$$

$$n_{\text{чус. min}} := \frac{(1000 \cdot v_{\text{чус. min}})}{\pi \cdot d_{\text{min}}} = 4157$$

$$n_{\text{чус. max}} := \frac{1000 \cdot v_{\text{чус. max}}}{\pi \cdot d_{\text{max}}} = 345.9$$

					КРБ 22–366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73