

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

## бакалавр

(освітній ступінь)

на тему: Конструювання приводів виконавчих вузлів фрезерно-  
центрувального верстата барабанного типу та розробка  
технологічного процесу виготовлення деталі «Вихідний вал мотор-  
редуктора ВМР 14.001» (комплексна тема)

Виконали: студенти 4 курсу, групи МВс-41  
спеціальності \_\_\_\_\_

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

Данилюк В.А.

(підпис)

Лукащук І.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Кобельник В.Р.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Кобельник В.Р.

(прізвище та ініціали)

Завід. кафедри

(підпис)

Крупа В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2026









## АНОТАЦІЯ

Данилюк В.А., Лукашук І.О. Конструювання приводів виконавчих вузлів фрезерно-центрувального верстата барабанного типу та розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Вихідний вал мотор-редуктора ВМР 14.001» (комплексна тема) : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 133 — галузеве машинобудування / кер. В.Р. Кобельник. Тернопіль : факультет інженерії машин, споруд та технологій, група МВс-41.: ТНТУ, 2026, 116 с.

Розроблено маршрутний технологічний процес механічної обробки деталі, зроблено огрунтування методу отримання заготовки, обрано відповідне технологічне обладнання та оснащення, розроблена операційна технологія, визначено різальний, допоміжний і вимірювальний інструменти. Здійснено розрахунок режимів різання та технічних норм часу для операцій технологічного процесу механічної обробки деталі «Вихідний вал мотор-редуктора ВМР 14.001».

Проведено аналіз схем формоутворення на фрезерно-центрувальному верстаті, виконано кінематичний розрахунок ліній приводів головного руху при фрезеруванні торців та свердлінні центровочних отворів, спроектовано фрезерну та свердлильну головки верстату, подано загальний вигляд верстату та його гідравлічну схему. Розроблено конструкцію верстатного пристосування.

**Ключові слова:** вал, верстат, технологічний процес, привід головного руху, шпиндель, фреза, свердло.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Анотація					
Розроб.		Данилюк В.						Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Лукашук І							6	2
Перевір.		Кобельник В.						ТНТУ, МВс-41		
Н. Контр.		Кобельник В.						м.Тернопіль		
Затверд.		Крупа В.								

Danyliuk V.A., Lukashchuk I.O. Design of the drives of the executive units of a drum-type milling-and-centering machine and development of the manufacturing process for the part «Output shaft of gearmotor VMR 14.001» (comprehensive topic). 133 – Industrial engineering; Ternopil Ivan Puluj National Technical University; Ternopil, 2026, 116 p.

A routing technological process for machining the part has been developed, the method for obtaining the blank has been justified, appropriate technological equipment and tooling have been selected, the operational technology has been developed, and the cutting, auxiliary, and measuring tools have been determined. The cutting conditions and technical time standards for the operations in the technological process of machining the «Output shaft of gearmotor VMR 14.001» part have been calculated.

An analysis of the shaping schemes on a milling and centering machine has been conducted. The kinematic calculation of the main motion drive lines during face milling and center hole drilling has been performed. The milling and drilling heads of the machine tool have been designed, and a general view of the machine tool along with its hydraulic circuit have been presented. The design of the machine tool fixture has been developed.

**Keywords:** shaft, machine tool, technological process, main motion drive, spindle, milling cutter, drill.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	10
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА .....	14
1.1 Характеристика об'єкту виробництва, його службового призначення, аналіз технічних умов на виготовлення.....	14
1.2 Розробка технологічної схеми складання вузла .....	16
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	18
2.1 Опис конструкції та службового призначення деталі виробу для проектування технологічного процесу. Аналіз технічних вимог .....	18
2.2 Характеристика матеріалу деталі .....	20
2.3 Визначення типу виробництва і величини партії деталей ...	22
2.4 Вибір і обґрунтування методу одержання заготовки .....	24
2.5 Розробка маршрутного технологічного процесу .....	29
2.5.1 Вибір технологічного обладнання і оснащення .....	31
2.5.2 Визначення міжопераційних припусків і проміжних розмірів .....	33
2.5.3 Розробка операційної технології.....	35
2.5.4 Вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірного інструменту .....	37
2.5.5 Вибір режимів різання .....	42
2.5.6 Розрахунок технічних норм часу .....	52
2.6 Обґрунтування вибраного оснащення на операцію.....	58
2.6.1 Призначення, будова і принцип роботи пристосування ..	58
2.6.2 Вибір схеми базування і розрахунок похибки базування	59
2.6.3 Розрахунок сили затиску .....	60
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	64
3.1. Аналіз схем формоутворення та вибір комплексу рухів.....	64

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст		
Розроб.		Данилюк В.					
Розроб.		Лукашук І					
Перевір.		Кобельник В.					
Н. Контр.		Кобельник В.					
Затверд.		Крупа В.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
					8	2	
					ТНТУ, МВс-41 м. Тернопіль		

3.2 Розробка структурно - кінематичної схеми верстата.....	68
3.3.Проектування фрезерної головки верстата.....	69
3.3.1. Опис конструкції та принципу роботи вузла верстата.....	69
3.3.2. Вибір двигуна.....	69
3.3.3. Кінематичний розрахунок вузла.....	70
3.3.4. Характеристики вузла верстата.....	73
3.3.4.1. Вибір конструктивної схеми ШВ.....	75
3.3.4.2. Вибір геометричних характеристик ШВ.....	76
3.3.5. Розрахунок оптимальної між опорної відстані.....	76
3.3.6. Розрахунок радіальної жорсткості шпиндельного вузла...	79
3.3.7. Розрахунок напрямних фрезерної головки верстата.....	83
3.3.8 Модуль точності вузла.....	87
3.4. Проектування свердлильної головки.....	89
3.4.1. Опис конструкції та принципу роботи головки.....	89
3.4.2. Вибір двигуна головки.....	90
3.4.3. Кінематичний розрахунок вузла.....	91
3.4.4. Розрахунок осьової жорсткості шпиндельного вузла свердлильної головки.....	93
<b>4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....</b>	<b>95</b>
4.1 Характеристика виробничої ділянки з точки зору охорони праці та заходи по покращенню умов праці .....	95
4.2 Розрахунок основного показника з техніки безпеки .....	104
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>109</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>110</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>116</b>

## ВСТУП

Сучасний етап розвитку світової та національної економіки нерозривно пов'язаний із рівнем науково-технічного прогресу, фундаментом якого є машинобудування. Машинобудівний комплекс - це ключова базова галузь промисловості, яка визначає економічну незалежність, обороноздатність та загальний рівень технологічного розвитку будь-якої держави. Від стану машинобудування залежить ефективність функціонування всіх інших галузей народного господарства: енергетики, металургії, транспорту, сільського господарства, будівництва та легкої промисловості. Саме машинобудування забезпечує їх сучасними засобами виробництва, автоматизованими лініями, комп'ютеризованими системами та новітніми технологіями.

Історичний розвиток машинобудування пройшов шлях від створення перших примітивних механізмів до сучасних інтелектуальних виробничих систем у рамках концепції «Індустрія 4.0». Сьогодні розвиток цієї галузі характеризується стрімкими темпами інновацій, переходом від масового до гнучкого серійного та дрібносерійного виробництва, а також постійним підвищенням вимог до якості, надійності та довговічності машин. Умовах жорсткої конкуренції на світових ринках успішність машинобудівних підприємств залежить від їхньої здатності швидко адаптуватися до нових потреб споживачів, мінімізувати енерго- та матеріаломісткість виробництва і впроваджувати екологічно чисті технології.

Основою машинобудівного виробництва, його «серцем» та головним засобом праці є металообробне обладнання, серед якого провідне місце посідають металорізальні верстати. Процеси механічної обробки різанням (точіння, фрезерування, свердління, шліфування тощо) залишаються найбільш універсальними та поширеними методами формоутворення деталей машин. До

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>Вступ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Данилюк В.</i>					10	4
<i>Розроб.</i>		<i>Лукашук І</i>				<b>ТНТУ, МВс-41 м. Тернопіль</b>		
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник В.</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.</i>						

70-80% усіх деталей у машинобудуванні проходять стадію механічної обробки. Верстатобудування як підгалузь відіграє унікальну роль, адже верстати - це єдиний вид обладнання, який здатний відтворювати сам себе. Рівень розвитку верстатобудування безпосередньо визначає технологічні можливості всієї промисловості: точність виготовлення деталей, їхню собівартість та продуктивність праці.

У нерозривному зв'язку з верстатами функціонує різальний та допоміжний інструмент. Яким би сучасним, точним і потужним не був металорізальний верстат, кінцевий результат його роботи - зняття стружки та формування поверхні деталі - здійснюється безпосередньо різальним інструментом. Еволюція інструментального забезпечення є одним із найпотужніших драйверів прогресу в металообробці. Перехід від інструментальних сталей до швидкорізальних, згодом до твердих сплавів, ріжучої кераміки та надтвердих матеріалів (кубічного нітриду бору, полікристалічного алмазу) дозволив збільшити швидкості різання в десятки разів. Сучасний інструмент із багат шаровими зносостійкими покриттями здатен працювати в екстремальних умовах високих температур і силових навантажень, забезпечуючи при цьому мікронну точність та мінімальну шорсткість оброблених поверхонь. Правильний вибір інструменту, його геометрії та режимів різання визначає не лише продуктивність операції, але й економічну ефективність усього технологічного процесу.

Справжньою революцією у машинобудуванні та металообробці стала поява і подальший бурхливий розвиток металорізальних верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК). Якщо традиційні універсальні верстати значною мірою залежали від кваліфікації робітника, його суб'єктивних навичок та фізичного стану, то верстати з ЧПК перевели процес різання у площину математично точного комп'ютерного алгоритму.

Сучасні верстати з ЧПК – це високотехнологічні мехатронні комплекси, які об'єднують у собі надзорську механіку, прецизійні сервоприводи, сенсорні системи контролю та потужні обчислювальні блоки. Їх впровадження

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

докорінно змінило філософію виробництва. По-перше, вони забезпечили небачену раніше стабільність та повторюваність розмірів у партії деталей, що звело до мінімуму процент браку. По-друге, поява багатокоординатних оброблювальних центрів (4-х, 5-ти та більше осей) дозволила виготовляти деталі надзвичайно складної просторової геометрії (наприклад, лопатки турбін, крильчатки, штампи та прес-форми) за одну установку. Це радикально скоротило допоміжний час на перебазування заготовки та підвищило загальну точність взаємного розташування поверхонь.

Крім того, верстати з ЧПК стали ідеальною платформою для інтеграції з сучасними системами автоматизованого проектування та підготовки виробництва (CAD/CAM/CAE). Інженер сьогодні має можливість створити віртуальну 3D-модель деталі, симулювати процес її обробки, підібрати оптимальні траєкторії руху інструменту, уникнути колізій і лише після цього передати готову керуючу програму на верстат. Це забезпечує виняткову гнучкість: перехід від випуску однієї деталі до іншої потребує лише зміни програми та інструментального налагодження, що робить верстати з ЧПК економічно вигідними не лише в масовому, але й в умовах дрібносерійного та навіть одиничного виробництва.

Подальший розвиток верстатів з ЧПК спрямований на створення систем зі штучним інтелектом, які здатні самостійно діагностувати знос інструменту, коригувати режими різання в режимі реального часу залежно від вібрацій та температурних деформацій, а також інтегруватися в єдину інформаційну мережу підприємства.

Таким чином, розробка високоефективних технологічних процесів механічної обробки деталей є надзвичайно актуальним і складним інженерним завданням. Проектування технології вимагає від сучасного спеціаліста комплексного підходу: глибокого розуміння властивостей матеріалів, знання можливостей новітнього металорізального обладнання (особливо з ЧПК), вміння раціонально підбирати передовий різальний інструмент та конструювати надійне технологічне оснащення.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Виходячи з вищезазначеного, метою даної роботи є розробка оптимального технологічного процесу виготовлення деталі із застосуванням сучасних методів базування, прогресивного різального інструменту та передового металообробного обладнання, що дозволить забезпечити високу якість продукції при мінімальних трудових та економічних затратах, що повністю відповідає тенденціям розвитку сучасного машинобудування.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

# 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

## 1.1 Характеристика об'єкту виробництва, його службового призначення, аналіз технічних умов на виготовлення

Мотор-редуктор типу МЦ-125 являє собою комбінований пристрій, який об'єднує в єдиному корпусі електродвигун та редуктор. З'єднання цих вузлів у спільний механізм здійснюється напряду або за допомогою спеціальної муфти. Завдяки такій конструкції вдається суттєво підвищити точність центрування валів обох елементів і водночас скоротити загальну кількість комплектуючих деталей.

Цей агрегат є важливою складовою електроприводів і має великий попит у найрізноманітніших промислових галузях. До його головних переваг належать:

- високий коефіцієнт корисної дії (ККД);
- невибагливість у технічному обслуговуванні;
- невеликі габарити;
- полегшений процес монтажу.

У серійному виробництві представлені двоступеневі співвісні циліндричні моделі серії МЦ. Вони здатні забезпечувати крутний момент на вихідному (тихохідному) валу в діапазоні від 125 до 1000 Н·м, при цьому частота його обертання становить 28...180 об/хв.

Технічні характеристики моделі МЦ-125

Конкретно для модифікації МЦ-125 визначені такі базові параметри:

Швидкість обертання вихідного вала: 224, 250, 280, 315, 355, 400 та 450 об/хв.

Показник крутного моменту: 385 Н·м.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Данилюк В.			Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Лукашук І				14	4
Перевір.		Кобельник В.			ТНТУ, МВс-41 м. Тернопіль		
Н. Контр.		Кобельник В.					
Затверд.		Крупа В.					

Вага пристрою: 205 кг.

Апарат має лапне виконання (тип 110), а його вихідний вал відрізняється конічною формою.

Нормативні вимоги та експлуатаційні стандарти.

Виробництво таких механізмів суворо регламентується чинними стандартами, технічними умовами (ТУ) та офіційно затвердженими робочими кресленнями для кожного типу обладнання.

Згідно з нормативами, агрегати мають гарантувати 90-відсотковий робочий ресурс, заявлений у документації, навіть за умови короткочасних пускових перевантажень, які щонайменше вдвічі перевищують номінальні показники. Уся інформація щодо граничної кількості циклів навантаження на вхідний вал під час таких перевантажень, їхньої допустимої частоти та максимальної загальної тривалості обов'язково фіксується у відповідних паспортах і каталогах.

Вимоги до шорсткості поверхонь. Показники шорсткості для робочих площин зубців мають такі обмеження:

Не більше 1,25 мкм — для зубчастих коліс із зовнішнім зачепленням (модуль 5 мм). Не більше 2,5 мкм — для евольвентних коліс із модулем понад 5 мм, а також для деталей із модулем до 5 мм, якщо вони виготовлені як єдине ціле з валом (за умови, що діаметр западини зуба менший за діаметр сусідніх шийок). Шорсткість у зоні западин і перехідних кривих зубчастих коліс не повинна перевищувати 40 мкм.

Допуски та посадкові отвори: розміри отворів для фундаментних болтів та їхні граничні відхилення нормуються.

Позиційні допуски осей цих отворів визначаються.

Допуск паралельності або перпендикулярності між віссю тихохідного вала та базовою (опорною) поверхнею корпусу залежить від категорії точності редуктора: 12-й ступінь застосовується для пристроїв 2-ї категорії точності, а 10-й ступінь — для 1-ї категорії.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



Продовження табл.1.1

040	Установка кришки (ск5) і тихохідного валу (ск2) на корпус	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ввести зубате колесо в зачеплення з шестернею на валу електродвигуна.</li> <li>2. Встановити підшипник (дет.1) зовнішнім кільцем у корпус.</li> <li>3. З'єднати кришку (ск5) і корпус.</li> <li>4. Закріпити кришку шістьма болтами (дет.15), підставивши під болти шайби (дет.12).</li> <li>5. Перевірити обертання валів.</li> </ol>
045	Установка пробки	Залити в редуктор масло. Закрутити пробку (дет.9)
050	Підтовка редуктора до приєднання зовнішнього навантаження	<p>Встановити на тихохідний вал (дет.5) шпонку (дет.14).</p> <p>Встановити шплінт 10 і закрутити на різьбу на тихохідному валу (дет.5) гайку (дет.6)</p>
055	Контрольна	Перевірити можливість легкого обертання валу.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Опис конструкції та службового призначення деталі виробу для проектування технологічного процесу. Аналіз технічних вимог.

Деталь під назвою «Вихідний вал мотор-редуктора ВМР 14.001» виконує функцію передачі крутного моменту за допомогою встановленого на ній зубчастого колеса.


Цей редуктор є складовим вузлом сільськогосподарського агрегату, призначеного для внесення мінеральних добрив. Конструктивно вал є ступінчастим циліндричним тілом обертання. На ньому виконано два глухі (закриті) шпонкові пази шириною 6 мм та 8 мм, а також нарізано метричну різьбу на шийці Ø30 мм.

Згідно з класифікатором ЄСКД, за своїми технологічними та геометричними параметрами виріб належить до 71-го класу («Вали та осі»).


Конструкція деталі є класичною і масово використовується в галузі машинобудування. Під час аналізу робочого креслення з погляду шорсткості та точності обробки, всі поверхні доцільно розділити на допоміжні та основні. До переліку основних належать:

- два циліндри з розміром Ø45k6 Ra 0,8 із відхиленням

≡	0,004
○	0,004

  $\phi 0,01$  *AV*, служать для посадки під підшипники;

- циліндр розміром Ø52h14 Ra6,3 з відхиленням

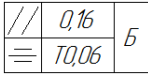
	0,006
---	-------

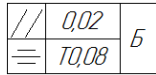
  $\phi 0,01$  *AV*;

- конусна поверхня з конусністю 1:10, використовується для посадки шківів;

До допоміжних поверхонь деталі можна віднести наступні:

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Данилюк В.			Технологічна частина	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Лукашук І					18	46
Перевір.		Кобельник В.				ТНТУ, МВс-41 м. Тернопіль		
Н. Контр.		Кобельник В.						
Затверд.		Крупа В.						

- два шпонкових пази шириною 12P9 Rz3,2  і 16P9 Rz3,2,





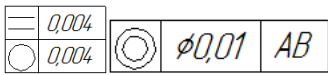
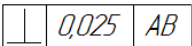

використовуються слугать для посадки шпонок;

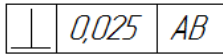
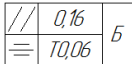
- канавки розміром  $3^{+0.25}$  Ra 1,6, слугать для посадки стопорного цільця;

- різь М30.

Аналіз технічних вимог всіх розмірів поверхонь деталі зводимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Аналіз технічних вимог деталі

Позначення поверхні	Назва поверхні, зміст технічної вимоги	Точність (квалітет, ступінь)	Шорсткість (мкм)
1	2	3	4
Пов. 1, 2	Торці розміром 288-1,30	14	Ra6,3
Пов. 3	Циліндр розміром М30	14	Rz40
Пов. 4	Конус з конусністю 1:10	14	Ra6,3
Пов. 5	Циліндр розміром $\varnothing 45k6$ 	6	Ra0,8
Пов. 6	Циліндр розміром $\varnothing 60h14$	14	Ra6,3
Пов. 7	Циліндр розміром $\varnothing 52h14$ 	14	Ra6,3
Пов. 8	Циліндр розміром $\varnothing 45k6$ 	6	Ra0,8
Пов. 9, 10	Фаска розміром 2x45°	14	Ra6,3
Пов. 11	Торець розміром 40-0,62	14	Ra6,3
Пов. 12	Торець розміром 213-1,02 	14	Ra6,3
Пов. 13	Торець розміром 68-0,64 	14	Ra6,3

Пов. 14	Торець розміром 28-0,52 	14	Ra6,3
Пов. 15, 16	Канавка розміром 3-0,25	14	Ra1,6
Пов. 17	Канавка розміром 5-0,30	14	Ra2,5
Пов. 18	Паз розміром 12P9+0.03 	9	Ra3,2
Пов. 19, 20	Паз розміром 16P9+0.036	9	Ra3,2

## 2.2 Характеристика матеріалу деталі

Згідно з креслеником деталь виготовляється з сталевого прокату, матеріал Сталь 45 – сталь конструкційна вуглецева, якісна.

Хімічний склад матеріалу вибираємо з [38] таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 - Хімічний склад сталі 45 00, в %

P	Si	Mn	Ni	Cr	S
до 0,0350	0,170-0,37	0,5-0,80	0,250	до 0,250	до 0,040

Механічні властивості матеріалу вибираємо з [38] і заносимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Механічні властивості сталі 45 0

$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
730,0	540,0	16	45

Ця марка сталі широко застосовується в машинобудуванні для виготовлення високонавантажених деталей, таких як шпинделі, зубчасті колеса, вал-шестерні, розподільні та колінчасті вали, кулачкові механізми, бандажі й циліндри. Матеріал оптимально підходить для деталей, що проходять процеси нормалізації, поліпшення або поверхневого термічного зміцнення задля досягнення високих показників міцності. З технологічної точки зору, матеріал має високу оброблюваність різанням та гарантує надійність в експлуатації.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20



### 2.3 Визначення типу виробництва

Попередньо визначаємо тип виробництва, виходячи з річної програми випуску деталей N=400 шт. В рік передбачуваної завданням і маси деталі 3,08 кг. Згідно [2] С.14 табл.3.2.5.2 тип виробництва - дрібносерійний.

Таблиця 2.4 – Вибір типу виробництва згідно програми випуску

Тип виробництва	Число оброблюваних на рік деталей (виробів)		
	Крупних ( $M > 50,0$ кг)	середніх ( $50 \text{ кг} \geq M \geq 1 \text{ кг}$ )	Дрібних ( $M \leq 1,0$ кг)
Одиничне виробництво	До 5	До 10	До 100
Серійне виробництво	понад 5 до 1000	понад 10 до 5 000	понад 100 до 50000
Масове виробництво	понад 1000	понад 5 000	понад 50000

Організація цього типу виробництва базується на предметно-потоківій формі з розташуванням верстатного парку строго за послідовністю технологічного маршруту. Характерними рисами є періодичне повторення робочих операцій та залучення персоналу різного рівня кваліфікації. Проектування базується на типових та маршрутних-операційних технологічних процесах. Технічне забезпечення формується з раціонального поєднання універсального і спеціалізованого обладнання, яке комплектується збірно-розбірним та універсальним оснащенням. Використовується як стандартний, так і спеціальний різальний інструмент, а контроль розмірів виконується переважно калібрами і шаблонами. Як вихідні заготовки застосовують прокат, виливки, поковки та штамповані деталі. Точність складання забезпечується

методом часткової взаємозамінності, що дозволяє утримувати собівартість випуску продукції на середньому рівні.

Аналіз характеристик залежно від типу виробництва:

Для одиничного виробництва характерний широкий і нестабільний асортимент продукції при штучному обсязі випуску. Технологічні операції не фіксуються за конкретними робочими місцями. Використовується універсальний верстатний парк і стандартне оснащення. Через складну виробничу структуру та маршрутний техпроцес, трудомісткість і собівартість продукції є максимальними, що вимагає залучення робітників найвищої кваліфікації. Дільниці спеціалізуються за технологічним принципом.

Для серійного виробництва властивий регламентований асортимент із періодично повторюваним випуском партій середнього обсягу. Операції закріплюються за робочими місцями частково. Обладнання та інструмент мають комбінований характер (універсальні поєднуються зі спеціалізованими). Техпроцеси є типовими, кваліфікація робітників — середньою. Спеціалізація цехів змішана, а виробнича структура помірно складна, що забезпечує збалансовані показники собівартості та трудомісткості.

Для масового виробництва типовим є вузький і стабільний асортимент із величезними обсягами випуску. Робочі місця мають строгу поопераційну фіксацію. Використовується виключно спеціальне та вузькоспеціалізоване обладнання й оснащення. Завдяки детальним поопераційним техпроцесам, подетальній спеціалізації та простій організаційній структурі досягається мінімальна трудомісткість і найнижча собівартість. До виконання операцій залучаються переважно робітники-оператори низької кваліфікації.

Основою організації виробництва в умовах серійного випуску є груповий підхід, що передбачає виготовлення деталей не поштучно, а сформованими партіями.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Щоб обчислити оптимальну кількість деталей в одній такій партії, використовують таку формулу:

$$n = \frac{N \cdot a}{F} \quad (2.1)$$

де  $N=400,0$  шт - річна програма випуску деталей;

$a=5,0$  днів - необхідний запас деталей на складі для того що забезпечити безперебійну роботу складального цеху;

$F=257,0$  днів - число робочих днів в році, при  $2^x$  днях відпочинку.

Тоді величини оптимальної партії складе:

$$n = \frac{400,0 \cdot 5}{257} = 7,70 \approx 8,0 \text{ шт.}$$

#### 2.4 Вибір і обґрунтування методу одержання заготовки

Вибір раціонального способу формування заготовки безпосередньо залежить від конструктивних особливостей майбутньої деталі, марки матеріалу та заданої програми випуску (типу виробництва). У випадках, коли напівфабрикат можна отримати кількома альтернативними методами, обов'язковим етапом є виконання техніко-економічного порівняння для визначення найефективнішого з них. На поточному етапі проектування доцільність застосування конкретного методу підтверджується двома шляхами: через загальне техніко-економічне обґрунтування або шляхом визначення коефіцієнта використання матеріалу (КВМ). Головним критерієм вибору є забезпечення мінімальної технологічної собівартості готового виробу. У ситуації, коли альтернативні варіанти мають однакову собівартість, пріоритет надається тій заготовці, яка характеризується вищим показником використання матеріалу.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

## 2.4.1 Техніко-економічним обґрунтуванням вибору заготовки

Суть техніко-економічного обґрунтування полягає у визначенні та порівняльному аналізі собівартості кількох альтернативних видів заготовок. Зважаючи на умови середньосерійного випуску, специфіку матеріалу та геометричну форму деталі, до подальшого розгляду приймаються два способи отримання напівфабрикату:

- розкрій прокату відрізним різцем на токарно-відрізнному обладнанні;
- порізка сортового прокату за допомогою стрічкової пили.

Штучні заготовки формуються шляхом поперечного розрізання прутка «Круг В32» із залишенням необхідних припусків під подальше підрізання торців. Згідно з рекомендаціями джерела [38], токарне відрізання різцем забезпечує допуск розміру в межах 0,3...0,8 мм, що повністю задовольняє конструктивні вимоги креслення. Натомість застосування стрічкової пили дає ширше поле розсіювання (від  $\pm 1,5$  до  $\pm 5$  мм). Така похибка змушує переглядати (зменшувати) величину припуску під чорнове точіння торців для гарантованого забезпечення заданих габаритів. Керуючись довідником [33], призначаємо величини торцевих припусків та систематизуємо їх у таблиці 2.6.

Наступним кроком є розрахунок маси вихідної заготовки, матеріалом для якої слугує сталь 45.

Маса заготовки:

$$Q_{заг} = V_{заг} \cdot \rho, \quad (2.2)$$

де  $V_{заг}$  – об'єм заготовки,  $\text{см}^3$ ;

$\rho = 7,80 \text{ г/см}^3$  – густина матеріалу Сталь 45.

Визначаємо об'єм обох варіантів заготовок, які мають форму циліндрів.

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L, \text{ см}^3 \quad (2.3)$$

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 2.6 - Припуски і розміри заготовок

Оброблювана поверхня, її розмір і точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки з граничними відхиленнями, мм
1	2	3	4	5
<b>1. Заготовка - прокат розрізаний різцем</b>				
Розмір 288h14	Rz80	0,520	0	288 <sub>-0,52</sub>
Розмір Ø60h14	Rz80	0,90	2 x 2,50=5	Ø65 <sub>-0,9</sub>
<b>2. Заготовка - прокат відрізаний стрічковою пилою</b>				
Розмір 288h14	Rz80	3,00	1.50 x 2 =3	288±1,5
Розмір Ø60h14	Rz80	0,90	2 x 2,50=5	Ø65 <sub>-0,9</sub>

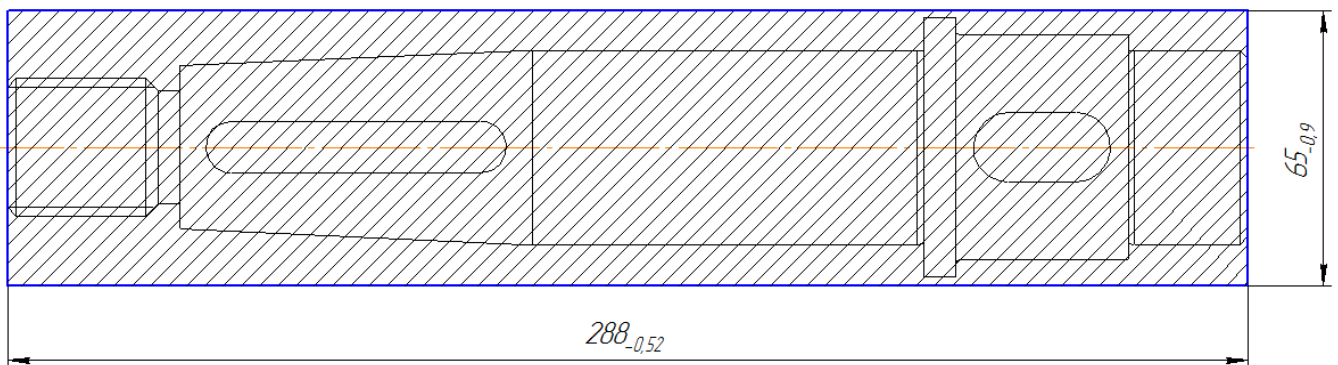


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки - прокат розрізаний різцем

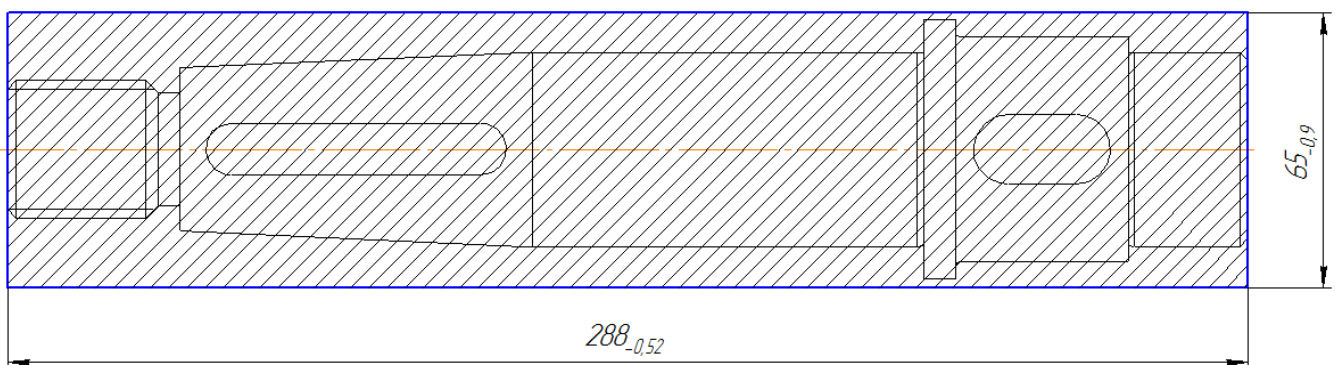


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки - прокат розрізаний пилою

Визначаємо об'єм заготовки виготовленої відрізанням різцем:

$$V_{заг1} = \frac{\pi D_1^2}{4} \cdot L_1 = \frac{3,14 \cdot 6,50^2}{4} \cdot 28,80 = 955,181 \text{ см}^3$$

Визначаємо об'єм заготовки виготовленої відрізанням стрічковою пилою:

$$V_{заг2} = \frac{\pi D_2^2}{4} \cdot L_1 = \frac{3,14 \cdot 6,50^2}{4} \cdot 28,950 = 960,161 \text{ см}^3$$

Визначаємо масу заготовки, що виготовляється відрізанням різцем:

$$Q_{заг1} = V_{заг1} \cdot \rho = 955,180 \cdot 7,80 = 7450 \text{ г} = 7,450 \text{ кг}$$

Визначаємо масу заготовки, що виготовляється відрізанням стрічковою пилою:

$$Q_{заг2} = V_{заг2} \cdot \rho = 960,160 \cdot 7,80 = 7489 \text{ г} = 7,4890 \text{ кг}$$

Собівартість заготовок визначиться згідно формули:

$$C_{заг} = Q_{заг} \cdot S - \frac{(Q_{заг} - Q_{дет}) \cdot S_{відх}}{1000}, \text{ грн.} \quad (2.4)$$

де  $Q_{заг}$  – маса заготовки, кг;

$Q_{дет}$  – маса деталі, кг;

$S_{відх} = 3250$  грн/т – вартість 1 тони відходів;

$S$  – ціна 1 кілограма заготовки, грн.

Базова ціна однієї тони гарячекатаного прокату становить 48 000 грн.

Тоді  $S = 48000 / 1000 = 48$  грн/кг.

Підставивши вибрані значення елементів формули, отримаємо собівартість заготовок:

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$C_{\text{зар1}} = Q_{\text{зар1}} \cdot S - \frac{(Q_{\text{зар1}} - Q_{\text{дет}}) \cdot S_{\text{відх}}}{1000} = 7,45 \cdot 48 - \frac{(7,450 - 3,080) \cdot 3250}{1000} = 324,27 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{зар2}} = Q_{\text{зар2}} \cdot S - \frac{(Q_{\text{зар2}} - Q_{\text{дет}}) \cdot S_{\text{відх}}}{1000} = 7,48 \cdot 48 - \frac{(7,48 - 3,080) \cdot 3250}{1000} = 325,78 \text{ грн.}$$

#### 2.4.2 Вибір заготовки за аналізом коефіцієнта використання матеріалу

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) визначаємо за формулою:

$$K_{в.м.} = Q_{\text{дет}} / Q_{\text{заг}} \quad (2.5)$$

Для заготовки, що виготовляється відрізанням різцем:

$$K_{в.м.} = 3,08 / 7,45 = 0,41$$

Для заготовки, що виготовляється відрізанням стрічковою пилою:

$$K_{в.м.} = 3,08 / 7,48 = 0,42$$

Основні показники розрахунку заносимо в таблицю 2.7

Таблиця 2.7 - Порівняння методів отримання заготовки

Назва позиції	перший варіант	другий варіант
Вид заготовки	Прокат відрізаний різцем	Прокат відрізаний пилою
Маса заготовки, кг	7,45	7,48
Вартість заготовки, грн	324,27	325,78
<i>K<sub>в.м.</sub></i>	0,41	0,42

Підсумовуючи результати аналізу, можна стверджувати, що отримання заготовки шляхом розрізання прокату різцем є економічно вигіднішим і забезпечує вищий коефіцієнт використання матеріалу (КВМ). Такі техніко-економічні показники повністю задовольняють вимоги, висунуті до дрібносерійного типу виробництва. Зважаючи на це, перший варіант формування заготовки затверджується як базовий для подальшого проектування технологічного процесу механічної обробки деталі.

## 2.5 Розробка маршрутного технологічного процесу

Формування повноцінного технологічного процесу обов'язково починається з розробки маршруту механічної обробки деталі. Вибір оптимальних методів та послідовності операцій здійснюється на основі комплексного аналізу: враховуються характеристики вихідної заготовки, габарити виробу, вимоги до точності й шорсткості, а також специфіка типу виробництва. Оскільки заданих технічних умов можна досягти різними способами, пріоритетним вважається той шлях, який гарантує необхідну якість за мінімальної кількості технологічних переходів. Окрім цього, обрані варіанти перевіряються на технологічну сумісність, щоб максимально ефективно обробляти кілька поверхонь за одну установку деталі. Проектування маршруту виконується за таким алгоритмом:

Ідентифікація всіх поверхонь заготовки, що потребують механічної обробки.

Підбір раціональних методів та стадій обробки для кожної площини чи циліндра (з використанням довідкових таблиць економічної точності).

Спираючись на ці дані та фундаментальні правила базування (постійність і суміщення баз), формується остаточний маршрутний техпроцес виготовлення деталі «вал» для умов дрібносерійного виробництва.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

### **Операція 005. Фрезерно-центрувальна**

Одночасне фрезерування торців (поверхні 1 та 2) і зацентрування заготовки із забезпеченням загальної довжини 288-1,3 мм.

### **Операція 010. Токарна з ЧПК**

Чорнове обточування циліндра 6 до  $\varnothing 60,4-1$  мм та підрізання торця 13 (розмір 68-0,64).

Чорнове точіння шийки 7 ( $\varnothing 52,4-1$  мм) із підрізанням торцевої поверхні 14 на довжину 28-0,52.

Попереднє (чорнове) точіння поверхні 8 до  $\varnothing 46-0,160$  мм.

Чистове обточування поверхонь: 7 до розміру  $\varnothing 52-0,74$  мм та 8 до  $\varnothing 45,8-0,10$  мм.

Формування фаски 10 ( $2 \times 45^\circ$ ) та прорізання канавки 16 (ширина 3-0,25 мм).

Чорнове точіння циліндричної ділянки 3 ( $\varnothing 30$  мм) і підрізання торця 11 на розмір 40-0,62.

Чорнове обточування шийок 4 та 5 до отримання  $\varnothing 46-0,160$  мм.

Підрізання торця 12 (розмір 213-1,02).

Чистове точіння поверхонь 4 і 5 у розмір  $\varnothing 45,8-0,10$  мм.

Точіння фаски 9 ( $2 \times 45^\circ$ ), а також прорізання канавок 15 (3-0,25 мм) і 17 (5-0,25 мм).

Нарізання метричної різьби М30 на циліндричній ділянці 3.

### **Операція 015. Шпонково-фрезерна**

Формоутворення шпонкового паза 19 фрезеруванням (до розміру 16P9-0,061).

### **Операція 020. Шпонково-фрезерна**

Фрезерування шпонкового паза 20 із забезпеченням розміру 16P9-0,061.

### **Операція 025. Шпонково-фрезерна**

Фрезерування шпонкового паза 18 до розміру 12P9-0,061.

### **Операція 030. Круглошліфувальна**

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Попереднє (чорнове) шліфування циліндричної шийки 5 в розмір  $\text{Ø}45,4-0,039$  мм.

#### **Операція 035. Круглошліфувальна**

Попереднє шліфування циліндра 8 із залишенням припуску під фінішну обробку ( $\text{Ø}45,4-0,039$  мм).

#### **Операція 040. Термічна**

Поверхнєве гартування (СВЧ) поверхонь 5 та 8 на глибину  $0,8\pm 0,02$  мм для досягнення твердості HRC 55...60.

#### **Операція 045. Круглошліфувальна**

Остаточне (фінішне) шліфування циліндра 5 до креслярського розміру  $\text{Ø}45-0,016$  мм.

#### **Операція 050. Круглошліфувальна**

Остаточне шліфування циліндра 8 у розмір  $\text{Ø}45-0,016$  мм.

#### **Операція 055. Контрольна**

Комплексна перевірка геометричних параметрів деталі на відповідність вимогам робочого креслення.

### **2.5.1 Вибір технологічного обладнання і оснащення**

#### **Вибір технологічного обладнання та оснащення**

Підбір верстатного парку здійснюється на основі комплексу критеріїв. Першочерговим фактором є технологічне призначення верстата — його здатність виконувати конкретний вид обробки згідно з паспортними даними. Другим за важливістю параметром є габарити робочої зони, які мають гарантовано вміщувати заготовку разом із закріплювальним пристосуванням. Третя обов'язкова умова — здатність обладнання забезпечити необхідну точність розмірів та якість поверхонь. Після задоволення цих базових вимог, подальший аналіз спрямовується на оцінку продуктивності верстата, можливостей його автоматизації та загальної відповідності заданому типу виробництва. Паралельно здійснюється вибір технологічного оснащення. При

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

цьому враховуються вимоги до виготовлення деталі, обсяги партії, норми охорони праці (техніки безпеки), а також економічна доцільність (витрати на виготовлення пристосування). Спираючись на конструктивні особливості деталі «вал», вимоги креслення, етапи обробки та тип виробництва, для реалізації технологічного процесу призначаємо наступне обладнання:

Для фрезерно-центрувальної операції (005) приймаємо напівавтомат моделі МР-71.

Для токарної операції (010) призначаємо токарний верстат із системою ЧПК WL4Т моделі 16К20Ф3.

Для шпонково-фрезерних операцій (015, 020, 025) застосовуємо шпонково-фрезерний напівавтомат моделі 692. Обробка ведеться з використанням спеціалізованого пристосування, оснащеного гідрозатиском, що є оптимальним для серійного виробництва.

Для круглошліфувальних операцій (030, 035, 045, 050), які включають попереднє та остаточне шліфування шийок, вибираємо верстат моделі 3М151, спеціально налаштований для методу врізного шліфування.

Таблиця 2.8 - Вибір обладнання та оснащення

№ операції	Назва операції	Назва та модель верстату	Пристосування
1	2	3	4
005	Операція: Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний напівавтомат моделі МР-71	Пристосування із базуванням деталі на циліндр з опорою в торець
010	Операція: Токарна з ЧПК	Токарний верстат з ЧПК моделі 16К20Ф3 з системою ЧПК WL4Т	Центр плаваючий
015	Операція: Шпонково-фрезерна	Шпонково-фрезерний напівавтомат 692М	Пристосування із базуванням на призми
020	Операція: Шпонково-фрезерна	Шпонково-фрезерний напівавт. мод.692	Пристосування із базуванням на призми

1	2	3	4
025	Операція: Шпонково- фрезерна	Шпонково- фрезерний напівавтомат моделі 692	Пристосування із базуванням деталі на призми
030	Операція: Круглошліфува- льна	Круглошліфуваль- ний верстат ЗМ151	Центр, напівцентр, хомутик
035	Операція: Круглошліфува- льна	Круглошліфуваль- ний верстат моделі ЗМ151	Центр напівцентр, хомутик
045	Операція: Круглошліфува- льна	Круглошліфуваль- ний верстат моделі ЗМ151	Центр, напівцентр хомутик
050	Операція: Круглошліфува- льна	Круглошліфуваль- ний верстат моделі ЗМ151	Центр, напівцентр хомутик

### 2.5.2 Визначення між операційних припусків і проміжних розмірів

Відповідно до технічного завдання, визначення припусків здійснюється табличним методом для всіх оброблюваних поверхонь, формування яких не залежить від фіксованих (конструктивних) розмірів мірного різального інструмента. Правильне призначення припусків є одним із ключових етапів проектування технологічного процесу. По суті, це проміжні технологічні розміри, що закладаються в документацію і безпосередньо впливають на вибір інструментарію, конструкцію оснащення, а також на розрахунок режимів різання та норм часу.

Значення проміжних і міжопераційних припусків призначаємо за довідковою літературою [33] та систематизуємо їх у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Розрахунок проміжних припусків і розмірів за табличним методом

Технологічні операції і переходи обробки поверхні	Точність (квалітет, ступінь)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Проміжні розміри з граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
Обробка циліндричної поверхні розміром $\varnothing 30h14$					
напівчистове точіння	14	Ra6,3	0,520	0,2x2=0,40	$\varnothing 30_{-0,520}$
чорнове точіння	15	Ra12,5	0,840	31,60	$\varnothing 30_{-0,840}$
Заготовка груг $\varnothing 62$	Звичайна	Rz160	0,620	20	$\varnothing 62_{-0,620}$
Обробка циліндричної поверхні розміром $\varnothing 45k6$					
шліфування остаточне	6	Ra0,8	0,0160	0,40	$\varnothing 45_{-0,016}$
попереднє шліфування	8	Ra2,5	0,0390	0,40	$\varnothing 45_{-0,039}$
чистове точіння	10	Ra3,2	0,100	0,20	$\varnothing 45_{-0,10}$
напівчистове точіння	11	Ra6,3	0,160	0,450	$\varnothing 46_{-0,160}$
чорнове точіння	14	Ra25	0,620	15,550	$\varnothing 46_{-0,620}$

1	2	3	4	5	6
Заготовка гругØ62	Звичайна	Rz160	0,620	2.0	Ø62 <sub>-0,620</sub>
Обробка циліндричної поверхні розміром Ø60h14					
напівчистове точіння	14	Ra6,3	0,740	0,2x2=0,40	Ø60 <sub>-0,740</sub>
чорнове точіння	15	Ra12,5	1,00	1,60	Ø60 <sub>,4-1,0</sub>
Заготовка кругØ62	Звичайна	Rz160	0,620	2,0	Ø32 <sub>-0,620</sub>
Обробка циліндричної поверхні розміром Ø52h14					
напівчистове Точіння	14	Ra6,3	0,740	0,2x2=0,40	Ø52 <sub>-0,74</sub>
чорнове точіння	15	Ra12,5	1,00	9,60	Ø52 <sub>,4-1,0</sub>
Заготовка гругØ62	Звичайна	Rz160	0,620	2,0	Ø62 <sub>-0,620</sub>

### 2.5.3 Розробка операційної технології

Відповідно до умов завдання, розробка операційної технології здійснюється для детального опису раціональної послідовності всіх основних та допоміжних переходів. Нижче наведено розгорнутий опис для операцій 005 (фрезерно-центрувальна), 025 (шпонково-фрезерна) та 030 (круглошліфувальна).

Операція 005 – Фрезерно-центрувальна

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Обладнання та бази: Застосовується фрезерно-центрувальний напівавтомат МР-71М.

Технологічними базами слугують зовнішні циліндричні поверхні заготовки та її торець.

Оснащення: Спеціальне верстатне пристосування (базування деталі здійснюється на призми з осьовим упором у торець).

Послідовність переходів:

1. Установити та закріпити заготовку в пристосуванні.
2. Фрезерувати торцеві поверхні 1 і 2, забезпечивши габаритний розмір 288-1,3 мм.
3. Засвердлити центрові отвори.
4. Розкріпити та зняти деталь.
5. Проконтролювати отриманий розмір 288-1,3 мм.

Інструментальне забезпечення: Фреза торцева Ø80 мм із твердосплавними пластинами ( $z=7$ ,  $B=50$ , F75AP-D80-27 DIN1835); свердло центрувальне 2317-0008.

Вимірювання проводиться цифровим штангенциркулем типу CR 2032 (250-0,05 DIN862).

Операція 025 – Шпонково-фрезерна

Обладнання та бази: Застосовується шпонково-фрезерний напівавтомат моделі 692М. Як технологічні бази використовуються циліндричні шийки 5 і 8, а також торець деталі.

Оснащення: Спеціальне фрезерне пристосування (установка на призми з упором у торець)

Послідовність переходів:

1. Установити деталь у пристосування.
2. Фрезерувати шпонковий паз 19 (розміри: ширина  $16P9+0,03$ , довжина  $L=32$  мм).
3. Зняти деталь із верстата.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

4. Перевірити точність розмірів паза (16P9+0,03 та 32+0,52 мм).  
Інструментальне забезпечення: Спеціальна шпонкова фреза з циліндричним хвостовиком Ø16P9 (L=60, l=11, z=2, DIN6535HA); допоміжний цанговий патрон 1-50-6-90 (DIN 6349). Контроль здійснюється пазовим калібром 16P9 та штангенциркулем CR 2032.

Операція 030 – Круглошліфувальна

Обладнання та бази: Використовується круглошліфувальний верстат моделі 3M151. Базування деталі здійснюється за центровими отворами на торцях.

Оснащення: Верстатна повідкова оправка (входить до стандартного комплекту верстата).

Послідовність переходів:

1. Установити деталь у центрах.
2. Шліфувати циліндричну поверхню 8 до досягнення розміру Ø45,4-0,039 (на довжині 32 мм).
3. Зняти деталь.
4. Проконтролювати розміри Ø45,4-0,039 та 32+0,52 мм.

Інструментальне забезпечення: Круг абразивний плоский прямого профілю ПП 600x30x305 (маркування 25А 25П СМ 5К5, 50 м/с, 1 кл.). Вимірювання виконується двосторонньою калібр-скобою на розмір Ø45,4-0,039 та порівнянням зі зразками шорсткості (DIN 7168).

#### **2.5.4 Вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірною інструменту**

На основі аналізу даних, наведених у підрозділах 2.2–2.5, та з урахуванням умов дрібносерійного виробництва, здійснюється підбір необхідного інструментального забезпечення. Призначення номенклатури різального, допоміжного та контрольно-вимірювального інструменту базується на прийнятих методах механічної обробки, типах затвердженого

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

обладнання та габаритних розмірах деталі. Результати цього вибору систематизовано та зведено до таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 — Вибір різального, допоміжного та вимірного інструментів

Номер, назва операції та переходу	Інструмент		
	Різальний	Допоміжний	Вимірювальний
1	2	3	4
005 Фрезерно-центрувальна			
Перехід 2 Фрезерувати торці 1 і 2	Торцева фреза з твердосплавними пластинами Ø80; z=7, B=50, F75AP-D80-27 DIN1835	Оправка з продовженою шпонкою і конічним хвостовиком DIN 2080	Лінійка NIRO 300, DIN 866B
Перехід 3 Свердлити центрові отвори	Свердло центрувальне 2317-0008, 2шт		Лінійка NIRO 300, DIN 866B
010 Токарна з ЧПК			
Переходи 2-4 Чорнове точіння циліндричних поверхонь 6, 8 і 7 в розміри Ø60,4-1, Ø46-0,160, Ø52,4-1. Підрізання торцевих поверхонь 13 в розмір 68-0,64 14 в розмір 28-0,52.	Різець токарний ISO SCLCR/R 2525 M12 (прохідний правий) ріжуча пластина ISO CNMG120408-MP	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862

Перехід 5-6 Чистове точіння поверхонь 7 і 8 в розміри $\varnothing 52-0,74$ , $\varnothing 45,8-0,10$ . Нарізання фаски 10 в розмір $2 \times 45^\circ$	Різець ISO (контурний правий) СКJNR/L 2525 M16	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862 Калібр-скоба односторонній двохграничний $\varnothing 52h9$ Калібр-скоба односторонній двохграничний $\varnothing 45h10$
Перехід 7 Точіння канавки 16 в розмір 3-0,25.	Різець канавковий TGFR/R 2525-4	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862
Перехід 8-9 Чорнове точіння поверхні 3, 4, 5 в розміри $\varnothing 30$ , $\varnothing 46-0,160$ . Підрізання торців 11 в розмір 40-0,62 і 12 в розмір 213-1,02.	Різець токарний ISO SCLCR/L 2525 M12	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862
Перехід 10 Чистове точіння поверхонь 4, 5 в розмір $\varnothing 45,8-0,10$ . Нарізання фаски 9 в розмір $2 \times 45^\circ$	Різець ISO (контурний лівий) СКJNR/L 2525 M16	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862 Калібр-скоба односторонній двохграничний $\varnothing 45h9$
Перехід 11 Нарізання канавки 15 в розмір 3-0,25.	Різець канавковий TGFR/R 2525-4	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862

Перехід 12 Нарізання канавки 17 в розмір 5-0,25.	Різець канавковий TGFR/R 2525-4	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862
Перехід 13 Нарізати різь М30 на циліндричній поверхні 3	Різець різьбовий 25x25 L1=155 мм, AL25-4F Типорозмір пластини 1/2`F	Різцетримач з комплекту верстату	Калібр різьбовий М30 DIN ISO 286/1
015 Шпонково-фрезерна			
Перехід 2 Фрезерувати шпонковий паз 19 в розмір 16P9, L=16	Фреза шпонкова із циліндричним хвостовиком спеціальна Ø16P9, L=60, l=11, z=2 DIN6535HA	Патрон цанговий 1-50-6-90 DIN 6349	Калібр пазовий 16P9 Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862
020 Шпонково-фрезерна			
Перехід 2 Фрезерувати шпонковий 20 в розмір Ø16P9, L=16	Фреза шпонкова із циліндричним хвостовиком спеціальна Ø16P9, L=60, l=11, z=2 DIN6535HA	Патрон цанговий 1-50-6-90 DIN 6349	Калібр пазовий 16P9 Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862
025 Шпонково-фрезерна			
Перехід 2 Фрезерувати шпонковий 18 в розмір Ø12P9, L=58	Фреза шпонкова із циліндричним хвостовиком спеціальна Ø12P9, L=60, l=11, z=2 DIN6535HA	Патрон цанговий 1-50-6-90 DIN 6349	Калібр пазовий 12P9 Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862
030 Круглошліфувальна			

Перехід 2 Шліфувати циліндр 5 в розмір $\varnothing 45,4-0,039$	Круг абразивний ПП 600x30x305 25A25ПСМ 5K5 50м/с А1кл	Оправка з комплекту верстата	Калібр-скоба односторонній двохграничний $\varnothing 45,4к8$ DIN 2230 Биттемір ПБ-500 DIN 879 Зразки шорсткості DIN 7168
--	--	------------------------------------	---

## 035 Круглошліфувальна

Перехід 2 Шліфувати циліндри 8 в розмір $\varnothing 45,4-0,039$	Круг абразивний ПП 600x30x305 25A25ПСМ 5K5 50м/с А1кл	Оправка з комплекту верстата	Калібр-скоба односторонній двохграничний $\varnothing 45,4к8$ DIN 2230 Биттемір ПБ-500 DIN 879 Зразки шорсткості DIN 7168
---	--	------------------------------------	---

## 045 Круглошліфувальна

Перехід 2 Шліфувати циліндр 5 в розмір $\varnothing 45-0,016$	Круг абразивний ПП 600x30x305 25A25ПСМ 5K5 50м/с А1кл	Оправка з комплекту верстата	Калібр-скоба односторонній двохграничний $\varnothing 45к6$ DIN 2230
--	--	------------------------------------	--

050 Круглошліфувальна			
Перехід 2 Шліфувати циліндр 8 в розмір $\varnothing 45_{-0,016}$	Круг абразивний ПП 600x30x305 25A25ПСМ 5K5 50м/с А1кл	Оправка з комплекту верстата	Калібр-скоба односторонній двохграничний $\varnothing 45_{к6}$ DIN 2230

### 2.5.5 Вибір та розрахунок режимів різання.

Відповідно до умов завдання, призначення режимів різання виконується за допомогою табличного (нормативного) методу для всіх технологічних операцій, які були розроблені у підрозділі 2.2. Отримані результати для кожного переходу систематизуються у зведеній таблиці. Розглянемо детальний розрахунок режимів різання табличним методом на прикладі операції 010 (Токарна з ЧПК), а саме для другого переходу: попереднє (чорнове) обточування циліндричної поверхні 6 до розміру  $\varnothing 60,4_{-1}$  мм. Для виконання цього переходу обрано прохідний токарний різець ISO SCLCR/L 2525 M12 (лівий чорновий). Геометрія інструмента характеризується такими параметрами:  $\varphi=93^\circ$ ,  $\gamma=0^\circ$ ,  $\alpha=10^\circ$ ,  $\lambda=5^\circ$ , радіус при вершині  $r = 1$  мм. Різальна пластина — твердосплавна ISO CNMG120408-MP.

Розрахунок довжини робочого ходу інструмента здійснюється за наступною формулою:

$$L_{p.x.} = l_{\text{різ.}} + y + l_{\text{дод.}} \quad (2.6)$$

Де  $L_{p.x.} = 77,50$  мм – довжина різання;

$y$  – підвід, врізання і перебігу інструменту, згідно [37] становить  $y=4$  мм;

$l_{\text{дод.}} = 0$  - додаткова довжина, пов'язана з налагодженням верстату.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Отже  $L_{р.х.} = 81,50$  мм

Глибина різання:

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{65,0 - 60,40}{2} = 2,30, \text{ мм} \quad (2.7)$$

де  $D$  – діаметр заготовки, мм;

$d$  – діаметр деталі, мм

$$t = 2,30 \text{ мм.}$$

Подача на один оберт шпинделя верстату:

$$S_o = 0,60 \text{ мм/об згідно [37].}$$

Швидкість різання

$$V = V_{табл} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ м/хв,} \quad (2.8)$$

де  $V_{табл} = 105,0$  м/хв - табличне значення швидкості різання різання, згідно [33] 3;

$K_1 = 0,750$  - поправочний коефіцієнт, згідно [37];

$K_2 = 1,00$  - поправочний коефіцієнт, згідно [37];

$K_3 = 0,810$ -поправочний коефіцієнт, згідно [37].

$$\text{Отже } V = 105,0 \cdot 0,750 \cdot 1,0 \cdot 1,550 = 122,061 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя верстату:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв.} \quad (2.9)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 122,061}{3,14 \cdot 65} = 598,0 \text{ об/хв}$$

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Згідно паспорту верстату приймаємо  $n = 600$  об/хв.

Дійсна швидкість головного руху:

$$V_d = \frac{\pi D n_d}{1000}, \text{ м/хв.} \quad (2.10)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 65 \cdot 600}{1000} = 122,461 \text{ м/хв.}$$

Швидкість подачі визначимо за формулою:

$$V_s = S_0 \cdot n_d, \text{ мм/хв.} \quad (2.11)$$

$$V_s = 0,60 \cdot 600 = 360 \text{ мм/хв.}$$

Сила в процесі різання згідно [33] становить 5657 Н.

Потужність різання  $N = 5,91$  кВт [33].

Основний (машинний) час на обробку:

$$T_o = \frac{L_{p,x.}}{V_s}, \text{ хв.} \quad (2.12)$$

$$T_o = \frac{81,50}{360} = 0,226 \text{ хв.}$$

Продовжимо визначення режимів різання табличним методом для операції 005 (Фрезерно-центрувальна). Розглянемо перехід 2, який передбачає

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

одночасне фрезерування торцевих поверхонь 1 і 2. Для реалізації цього переходу застосовується торцева фреза, оснащена твердосплавними пластинами (основні параметри: Ø80 мм, кількість зубів  $z=7$ ,  $V=50$ , маркування F75AP-D80-27 DIN1835).

Розрахунок довжини робочого ходу інструмента виконується за такою залежністю:

$$L_{p.x.} = l_{piz} + y + l_{\delta\delta\delta}$$

де  $L_{p.x.} = 45$  мм – довжина різання відповідно креслення;

$y$  – підвід, врізання і перебігу інструменту відповідно [37] складає  $y=4$  мм;

$l_{\delta\delta\delta} = 0$  - довжина, пов'язана з налагодженням верстату.

Отже  $L_{p.x.} = 49$  мм

Подача на один оберт шпинделя:

$S_o=0.120$  мм/об згідно [37].

Швидкість різання

$$V = V_{табл.} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ м/хв,}$$

де  $V_{табл.} = 130$  м/хв - табличне значення швидкості різання [37];

$K_1 = 1,00$  - поправочний коефіцієнт [37];

$K_2 = 1,00$  - поправочний коефіцієнт [37];

$K_3 = 1,20$ -поправочний коефіцієнт [37].

Отже  $V = 130,0 \cdot 1 \cdot 1,00 \cdot 1,20 = 156$  м/хв.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частота обертання шпинделя верстату:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв.}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 156,0}{3,14 \cdot 80,0} = 584 \text{ об/хв.}$$

Згідно паспорту верстату прийmemo  $n = 712$  об/хв.

Дійсна швидкість головного руху:

$$V_d = \frac{\pi D n_d}{1000}, \text{ м/хв.}$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 80,0 \cdot 712,0}{1000} = 190 \text{ м/хв.}$$

Швидкість подачі визначаємо за формулою:

$$V_s = S_0 \cdot n_d, \text{ мм/хв.}$$

$$V_s = 0,120 \cdot 712 = 85,440, \text{ мм/хв}$$

Сила різання згідно [37] становить 5657 Н.

Потужність різання  $N = 7,20$  кВт [37].

Основний (машинний) час для обробки поверхні:

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$T_o = \frac{L_{p,x.}}{V_s}, \text{ хв.}$$

$$T_o = \frac{45,0}{190,0} = 0,230, \text{ хв.}$$

Визначення режимів різання табличним методом для операції 025 (Шпонково-фрезерна).

Розглянемо перехід 2: фрезерування шпонкового паза 19 до креслярських розмірів Ø16P9 (довжина \$L = 32\$ мм). Як різальний інструмент застосовується спеціальна шпонкова фреза з циліндричним хвостовиком Ø16P9 (параметри: \$L = 60\$ мм, \$l = 11\$ мм, \$Z = 2\$, згідно з DIN6535HA).

Довжина робочого ходу інструмента обчислюється за формулою (2.5), де:

\$l = 16\$ мм — фактична довжина різання (шлях центру фрези);

\$y = 4\$ мм — сумарна величина підведення, врізання та перебігу інструмента за нормативами [33];

\$l\_{дод} = 0\$ мм — додатковий шлях, пов'язаний із налагодженням верстата.

Отже, повна довжина робочого ходу становить: \$L\_{p,x.} = 16 + 4 + 0 = 20\$ мм.

Глибина різання призначається на рівні \$t = 4\$ мм. Подача на оберт шпинделя вибирається згідно з довідником [33] і становить \$S\_o = 0,120\$ мм/об.

Розрахунок фактичної швидкості різання виконується за формулою (2.7), де \$V\_{табл} = 18,0\$ м/хв — нормативне табличне значення швидкості за [33], а \$K\_1 = 1,0\$, \$K\_2 = 0,90\$ та \$K\_3 = 1,10\$ — відповідні поправочні коефіцієнти з того ж джерела.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Отже  $V = 18,0 \cdot 1,00 \cdot 0,90 \cdot 1,10 = 18$  м/хв.

Частота обертання шпинделя за формулою (2.8):

$$n = \frac{1000 \cdot 18,0}{3,14 \cdot 12,0} = 477 \text{ об/хв.}$$

Відповідно з паспортом верстату прийmemo  $n = 500$  об/хв.

Дійсну швидкість головного руху визначимо за формулою (2.9):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 12,0 \cdot 500,0}{1000} = 18,840 \text{ м/хв.}$$

Швидкість подачі визначаємо за формулою (2.10):

$$V_s = 0,120 \cdot 500 = 60,0 \text{ мм/хв.}$$

Сила різання відповідно [33] складає 41 Н.

Потужність різання  $N = 0,07$  кВт [33].

Основний час для обробки поверхні визначимо за формулою (2.11):

$$T_o = \frac{20,0}{18,840} = 1,060, \text{ хв.}$$

Зводимо отримані режими різання в таблицю 2.11:

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Таблиця 2.11 - Зведена таблиця режимів різання

Номер, назва операції, зміст переходу	$t$ , мм	$L$ , мм	$i$	$T_m$ , хв	$S_0$ , мм/об	$V$ , м/хв	$n$ , об/хв	$S_{хв}$ мм/х в	$T_0$ , хв	$N$ , кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005. Фрезерно-центрувальна										
Перехід 2 Фрезерувати торці 1 і 2	2	45	1	90	0,12	156	712	85	0,23	7,2
Перехід 3 Свердлити центрові отвори	-	17,6	1	30	0,12	26,7	712	85	0,2	0,58
010 Токарна з ЧПК										
Перехід 2. Чорнове точіння циліндричної поверхні 6, в розмір $\varnothing 60,4-1$ Підрізання торцевої поверхні 13 в розмір 68- 0,64.	2,3	77,5	1	60	0,6	122	600	366	0,3	5,2
Перехід 3. Чорнове точіння циліндричної поверхні 7, в розмір $\varnothing 52,4-1$ . Підрізання торцевої поверхні 14 в розмір 28- 0,52.	4	70	1	60	0,6	122	750	448	0,23	4,8
Перехід 4. Чорнове точіння циліндричної поверхні 8 в розмір $\varnothing 46-0,160$ .	3,2	28	1	60	0,3	122	850	507	0,1	4,7
Перехід 5. Чистове точіння поверхні 7 в розмір $\varnothing 52-0,74$ .	0,2	32	1	60	0,3	160	1000	587	0,15	0,68

Перехід 6. Чистове точіння поверхні 8 в розмір $\varnothing 45,8-0,10$ . Нарізання фаски 10 в розмір $2 \times 45^\circ$	0,2	28	1	60	0,3	160	1100	679	0,12	0,67
Перехід 7. Точіння канавки 16 в розмір 3-0,25.	1	3	1	60	0,3	110	800	233	0,05	3,93
Перехід 8. Чорнове точіння поверхонь 4, 5 в розмір $\varnothing 46-0,160$ . Підрізання торця 12 в розмір в розмір 213-1,02.	8,5	213	3	60	0,6	122	600	359	1,23	9,83
Перехід 9. Чорнове точіння поверхні 3 в розмір $\varnothing 30$ . Підрізання торця 11 в розмір 40-0,62	5	40	2	60	0,6	122	850	507	0,4	9,57
Перехід 10. Чистове точіння поверхонь 4, 5 в розмір $\varnothing 45,8-0,10$ . Нарізання фаски 9 в розмір $2 \times 45^\circ$	0,2	173	1	60	0,3	160	1100	679	0,3	0,68
Перехід 11. Нарізання канавки 15 в розмір 3-0,25.	1	2	1	60	0,3	110	800	233	0,05	3,93
Перехід 12. Нарізання канавки 17 в розмір 5-0,25.	1	1	1	60	0,3	110	800	233	0,05	3,91
Перехід 13. Нарізання різь М30 на циліндричній поверхні 3.	1	40	-	60	3,5	20	200	742	0,05	0,32

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						50

015 Шпонково-фрезерна										
Перехід 2										
Фрезерувати шпонковий паз 19	4	16	1	60	0,12	18	500	300	0,22	0,07
020. Шпонково-фрезерна										
Перехід 2										
Фрезерувати шпонковий паз 20	4	16	1	60	0,12	18	500	300	0,22	0,07
025 Шпонково-фрезерна										
Перехід 2										
Фрезерувати шпонковий паз 18	4	58	1	60	0,12	18	500	300	0,45	0,07
030. Круглошліфувальна										
Перехід 2. Шліфувати циліндр 5 остаточно в розмір Ø45-0,016	0,2	20	-	-	0,3	18	125	0,3	0,14	0,38
035. Круглошліфувальна										
Перехід 2. Шліфувати циліндр 8 остаточно в розмір Ø45-0,016	0,2	20	-	-	0,3	18	125	0,3	0,42	0,38
045. Круглошліфувальна										
Перехід 2. Шліфувати циліндр 5 остаточно в розмір Ø45-0,016	0,2	20	-	-	0,3	18	125	0,3	0,14	0,38
050. Круглошліфувальна										
Перехід 2. Шліфувати циліндр 8 остаточно в розмір Ø45-0,016	0,2	20	-	-	0,3	18	125	0,3	0,42	0,38

## 2.5.6 Розрахунок технічних норм часу.

Згідно завдання необхідно розрахувати норми часу для операцій, розроблених в п.2.5.

Операція 010 токарна з ЧПК.

Норма штучного часу при роботі на верстатах з ЧПК визначається за формулою згідно [37] за формулою:

$$T_{шт} = (T_{ц.а.} + T_{\delta}) \cdot \left( 1 + \frac{\alpha_{m.o.} + \alpha_{o.o.} + \alpha_{в.}}{100} \right), \text{ хв} \quad (2.13)$$

де  $T_{ц.а.}$  – час автоматизації роботи верстату по програмі, який складається з основного і допоміжного автоматичного часу;

$T_{\delta}$  – допоміжний час, який не перекривається допоміжним автоматичним часом;

$\alpha_{m.o.} + \alpha_{o.o.} + \alpha_{в.}$  – час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця і час на відпочинок. Визначається у відсотках від оперативного часу. Становить 7% від оперативного [37]- час автоматичної роботи верстату по програмі складається з основного і допоміжного часу для переміщення робочих органів на швидкісному (холостому) русі.

Час автоматизації роботи верстату по програмі визначається за формулою:

$$T_{ц.а.} = T_0 + T_{х.р.} + T_{з.і.}, \text{ хв} \quad (2.14)$$

де:

$T_0$  – за сумою  $T_0$  на переходах;

$T_{х.р.}$  – рух на швидкісній подачі складається із поздовжніх рухів (вісь Z) з швидкістю 4800 мм/хв та поперечних переміщень (по осі X) з швидкістю 2400 мм/хв;

$T_{з.і.}$  – час автоматизованої заміни інструменту. Оскільки в наладці 6 інструментів,  $T_{з.і.} = 0,015 \cdot 6 = 0,09$  хв.

Врахувавши переміщення по осях

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$X = 4 + 4 + 12 = 20 \text{ мм}$$

$$T_{x,px} = 20/2400 = 0,01$$

Враховувавши переміщення по осях

$$Z = 51 + 166 + 72 + 27 = 316 \text{ мм}$$

$$T_{x,pz} = 316/4800 = 0,06$$

$$\text{Отже, } T_{ц.а.} = 2,36 + 0,07 + 0,09 = 2,52, \text{ хв.}$$

Допоміжний час, який не перекривається допоміжним автоматичним часом, визначається за формулою:

$$T_{д.} = T_o + T_y + T_{вим}, \text{ хв} \quad (2.15)$$

де

$T_y = 0,13$  хв – час на встановлення і зняття деталі [37];

$T_o = 0,39$  хв – час пов'язаний з виконанням операції [37];

$T_{вим.} = 0,25$  хв – час на вимірювання. Даний час перекривається часом автоматичної роботи і не враховується

Тоді

$$T_{д.} = 0,13 + 0,39 = 0,52, \text{ хв}$$

Оперативний час визначаємо за формулою:

$$T_{оп.} = T_{ц.а.} + T_{д.}, \text{ хв} \quad (2.16)$$

$$\text{Отже } T_{оп.} = 3,03 + 0,52 = 3,55, \text{ хв}$$

$$\text{Тоді } \alpha_{т.о.} + \alpha_{о.о.} + \alpha_{в.} = 3,55 \frac{7\%}{100\%} = 0,25 \text{ хв.}$$

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Штучний час на виконання операції становить:

$$T_{шт} = (3,03 + 0,52) \cdot (1 + 0,25) = 4,43 \text{ хв.}$$

Норма часу на виконання операції на одному верстаті з ЧПК визначається:

$$T_{шт.к.} = T_{шт} + \frac{T_{н.з.}}{n} \text{ , хв} \quad (2.17)$$

де  $T_{н.з.}$  – підготовчо заключний час на налагодження і настроювання верстату, визначаємо за формулою згідно [37]:

$$T_{нз} = T_{нз1} + T_{нз2} + T_{пр.обр} \text{ , хв} \quad (2.18)$$

де

$T_{нз1}$  – норма часу на організаційну підготовку, хв;

$T_{нз2}$  – норма часу на налагодження верстату, хв;

$T_{пробр}$  – норма часу на пробну обробку деталі.

$$T_{нз1} = 4 + 9 + 2 + 2 = 17 \text{ хв [37];}$$

$$T_{нз2} = 0,8 + 0,3 + 0,154 + 0,5 - 6 + 1,0 + 2,0 + 0,2 = 7,9 \text{ хв [37];}$$

$$T_{пробр} = 16 \text{ хв [37] с.104 карта 28.}$$

$$\text{Тоді } T_{нз} = 17 + 7,9 + 16 = 40,9 \text{ хв.}$$

Відповідно

$$T_{шт.к.} = 4,43 + \frac{40,9}{622} = 4,49 \text{ хв.}$$

Операція 005 – фрезерно-центрувальна.

Норма штучного часу при роботі на верстатах з ЧПК визначається за формулою згідно [37] за формулою:

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Норма штучного часу визначається за формулою:

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{тех.обсл.} + T_{орг.обсл.} + T_{відп.}$$

де:

$T_{шт}$  – норма штучного часу;

$T_o$  – основний час;

$T_d$  – допоміжний час;

$T_{тех.обсл.}$  – час технічного обслуговування робочого місця;

$T_{орг.обсл.}$  – час організаційного обслуговування робочого місця;

$T_{відп.}$  – час на відпочинок.

Допоміжний час на операцію:

Допоміжний час на встановлення деталі в пристосуванні:

$$T_{дон1}=0,08 \text{ хв .}$$

Допоміжний час на керування верстатом:

$$T_{дон2}=0,03 \text{ хв .}$$

Допоміжний час на вимірювання:

$$T_{дон3}=0,18 \text{ хв .}$$

$$T_d = T_{дон1} + T_{дон2} + T_{дон3} = 0,08 + 0,03 + 0,18 = 0,29 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{оп} = T_o + T_d = 0,43 + 0,29 = 0,72 \text{ хв.}$$

Час технічного обслуговування робочого місця:

$$T_{тех.обсл.} = 0,07 \cdot 0,72 = 0,05 \text{ хв.}$$

Час організаційного обслуговування робочого місця:

$$T_{тех.обсл.} = 0,014 \cdot 0,72 = 0,02 \text{ хв.}$$

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Час на відпочинок:

$$T_{відп.} = 0,04 \cdot 0,72 = 0,03 \text{ хв.}$$

Штучний час на виконання операції становить:

$$T_{шт} = 0,43 + 0,08 + 0,03 + 0,18 + 0,05 + 0,02 + 0,03 = 0,82 \text{ хв.}$$

Норма часу на виконання операції на одному верстаті з визначається:

$$T_{шт.к.} = T_{шт} + \frac{T_{н.з.}}{n} \text{, хв} \quad (2.16)$$

де  $T_{н.з.}$  – підготовчо заключний час на налагодження і настроювання верстату, визначаємо згідно [37]:

Тоді  $T_{нз} = 16 \text{ хв.}$

Відповідно

$$T_{шт.к.} = 0,82 + \frac{16}{100} = 0,98 \text{ хв.}$$

Для решти операцій визначаємо час по наближеним формулам.

Операція 020. Шпонково-фрезерна.

$$\Psi_k = 1,84 [2].$$

$$T_o = 0,45 \text{ хв.}$$

$$T_{шт.к.} = 1,84 \cdot 0,45 = 0,82 \text{ хв.}$$

Операція 020. Шпонково-фрезерна.

$$\Psi_k = 1,84 [33].$$

$$T_o = 0,22 \text{ хв.}$$

$$T_{шт.к.} = 1,84 \cdot 0,22 = 0,40 \text{ хв.}$$

Операція 025. Шпонково-фрезерна.

$$\Psi_k = 1,84 [33].$$

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$T_o=0,22 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шт.к.}}=1,84 \cdot 0,22=0,40 \text{ хв.}$$

Операція 030. Кругло-шліфувальна.

$$\Psi_k=2,1 [33].$$

$$T_o=0,14 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шт.к.}}=2,1 \cdot 0,14=0,29 \text{ хв.}$$

Операція 035. Кругло-шліфувальна.

$$\Psi_k=2,1 [33].$$

$$T_o=0,42 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шт.к.}}=2,1 \cdot 0,42=0,88 \text{ хв.}$$

Операція 045. Кругло-шліфувальна.

$$\Psi_k=2,1 [33].$$

$$T_o=0,14 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шт.к.}}=2,1 \cdot 0,14=0,29 \text{ хв.}$$

Операція 05. Кругло-шліфувальна.

$$\Psi_k=2,1 [33].$$

$$T_o=0,42 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шт.к.}}=2,1 \cdot 0,42=0,88 \text{ хв.}$$

Норми часу для решти операції зведемо в таблицю 2.12.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Таблиця 2.12 – Норми часу на механічну обробку

Номер і назва операції	$T_o$ , хв	$T_d$ , хв			$T_{оп}$ , хв	$T_{ит}$ , хв	$T_{пз}$ , хв	$T_{ит.к.}$ , хв
		$T_{уст}$ , хв	$T_{упр}$ , хв	$T_{вим}$ , хв				
005 Фрезерно-центрувальна	0,43	0,08	0,03	0,18	0,72	0,8	16	0,98
010. Токарна з ЧПК	3,03	0,8	0,1	0,26	3,55	1,95	25	4,49
015. Шпонково-фрезерна	0,22	-	-	-	-	-	-	0,40
020. Шпонково-фрезерна	0,22	-	-	-	-	-	-	0,40
025. Шпонково-фрезерна	0,45	-	-	-	-	-	-	0,82
030.Круглошліфувальна	0,14	-	-	-	-	-	-	0,29
035.Круглошліфувальна	0,42	-	-	-	-	-	-	0,88
045.Круглошліфувальна	0,14	-	-	-	-	-	-	0,29
050.Круглошліфувальна	0,42	-	-	-	-	-	-	0,88

## 2.6 Обґрунтування вибраного оснащення на операцію

### 2.6.1 Призначення, будова і принцип роботи пристосування

Аналіз розробленого технологічного процесу показав, що для зменшення допоміжного часу на шпонково-фрезерній операції (020) та підвищення загальної продуктивності праці доцільно застосувати вискоелективне оснащення з автоматизованим циклом затискання заготовки. Конструкція такого пристосування представлена на відповідному аркуші графічної частини кваліфікаційної роботи.

До складу конструкції входять такі основні вузли:

базовий корпус, на якому змонтовано кришку та пневматичний привід;  
елементи затискання (мембранний пневмопривід та затискна планка);

установочні елементи (опорні призми, кришка тощо). Дане оснащення є універсально-переналагоджуваним, що є критично важливим критерієм для

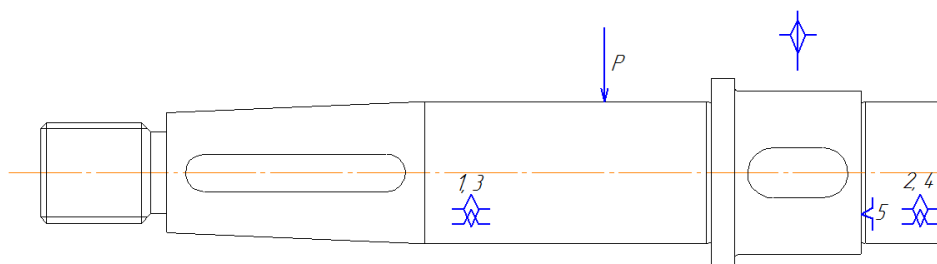
					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

умов серійного виробництва. Його впровадження гарантує швидке та максимально точне базування деталі перед фрезеруванням шпонкових пазів.

Принцип роботи: Заготовка встановлюється на опорні призми 7 до упору в торець. Під час подачі стисненого повітря у штокову порожнину пневматичної камери, діафрагма 5 разом зі штоком 10 переміщується вниз. У результаті цього затискна планка 12 надійно притискає деталь до робочих поверхонь призм 18. По завершенню циклу фрезерування, за допомогою рукоятки 28 на пневматичному розподільнику (вимикачі) повітря перенаправляється у безштокову порожнину. Шток 10 піднімається, звільняючи оброблену деталь. Підключення пневмоциліндра до цехової магістралі стисненого повітря реалізується через штуцери 4. Фіксація самого пристосування на робочому столі верстата виконується за допомогою кріпильних болтів.

### 2.6.2 Вибір схеми базування і розрахунок похибки базування

За розрахункову схему базування прийнято встановлення заготовки на дві опорні призми. Як напрямні технологічні бази використовуються циліндричні шийки 5 і 8, якими деталь спирається на робочі поверхні призм. Для поздовжньої фіксації (в осьовому напрямку) слугує торець 14, що виконує функцію упорної бази. Під час встановлення деталі в пристосування необхідно забезпечити її щільне досилання (притискання) поверхнею 14 до відповідного торцевого упору. Графічна візуалізація обраної схеми базування наведена на рис. 2.3.



Рисунку 2.3. Схема базування деталі.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Оцінка правильності обраної схеми встановлення здійснюється за розрахунковою величиною похибки базування  $\varepsilon_B$ . Головна технологічна умова вимагає, щоб ця похибка не перевищувала половини поля допуску на заданий розмір шпонкового паза. Згідно з параметрами нашої деталі, граничне значення похибки базування лімітується половиною допуску вала в зоні фрезерування паза і становить 0,74 мм.

Похибка розраховується відповідно до формули:

$$\varepsilon_B = 0,50 \cdot T_d \cdot \left( \frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right), \quad (2.19)$$

де:  $T_d$  – допуск на діаметр, по якому вал базується в пристосуванні на призму,

$\alpha$  – пів робочого кута призми, позаяк кут стандартної призми має  $90^\circ$ , то  $\alpha=45^\circ$

Після проточування поверхні за 10 квалітетом, величина допуску поверхонь, по яким деталь встановлюється на призму складає  $T_d=0,1$  мм.

Тому:

$$\varepsilon_B = 0,50 \cdot 0,10 \cdot \left( \frac{1}{\sin 45} - 1 \right) = 0,02101 \text{ мм}$$

Оскільки розрахункове значення похибки базування  $\varepsilon_B$  виявилось меншим за допустиму межу (половину поля допуску поверхні, на якій фрезерується шпонковий паз), прийняту схему встановлення деталі слід вважати технологічно правильною та повністю обґрунтованою.

### 2.6.3 Розрахунок сили затиску

Сила різання в процесі фрезеруванні складає:

$$P_z = \frac{10,0 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^{u \cdot z}}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{m.p.} \quad (2.20)$$

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:

$D$  – діаметр фрези;

$t$  – глибина при фрезерування;

$S_z$  – величина подачі на зуб;

$B$  – ширина при фрезерування;

$n$  – величина частоти обертання фрези;

$Z$  – кількість зубів фрези.

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,20 \cdot 16^{0,860} \cdot 0,020^{0,720} \cdot 6,0^{1,0} \cdot 2}{16^{0,860} \cdot 500^0} \cdot 0,930 = 139 \text{ Н}$$

Зайдемо величини решти складових сили різання:

Горизонтальна сила (подачі)  $P_h = 0,4 \cdot P_z = 0,40 \cdot 139,0 = 55,60 \text{ Н}$ .

Вертикальна сила  $P_v = 0,90 \cdot P_z = 0,90 \cdot 139 = 125,70 \text{ Н}$ .

Радіальна сила  $P_y = 0,4 \cdot P_z = 0,4 \cdot 139 = 55,6 \text{ Н}$ .

Осьова сила  $P_x = 0,550 \cdot P_z = 0,550 \cdot 139,0 = 76,50 \text{ Н}$ .

Аналіз силової взаємодії між різальним інструментом (фрезою), оброблюваною деталлю та верстатним пристосуванням під час фрезерування шпонкового паза базується на такій розрахунковій схемі. Головним дестабілізуючим фактором є сила подачі  $P_h$ , яка прагне зсунути заготовку з опорних призм. Цьому зміщенню безпосередньо протидіють сили тертя  $T$  та  $T_1$ , що генеруються в зонах контакту циліндричної поверхні вала із затискним елементом та робочими гранями призм.

Вихідне рівняння статичної рівноваги діючих сил дозволяє визначити необхідне зусилля затиску:

$$Q_{P_z} = \frac{K_3 \cdot P_z}{(f + f_1)}, \quad (2.21)$$

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

$$Q_{P_x} = \frac{K_3 \cdot P_x}{f + f_1}, \quad (2.22)$$

Повна сила кріплення заготовки:

$$Q = \sqrt{Q_{P_z}^2 + Q_{P_x}^2} = \sqrt{\left(\frac{K_3 P_z}{(f + f_1)}\right)^2 + \left(\frac{K_3 P_x}{f + f_1}\right)^2}, \quad (2.23)$$

Для надійного утримання деталі необхідно врахувати нестабільність зовнішніх навантажень. З цією метою розраховується загальний коефіцієнт запасу надійності затиску. Обчислення виконується за наступною формулою:

$$K_3 = K_0 * K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * K_6, \quad (2.24)$$

де

$K_0 = 1,50$  – гарантований коефіцієнт запасу надійності;

$K_1 = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхонь та умови базування заготовки;

$K_2 = 1,30$  – коефіцієнт, який враховує збільшення сил через прогресуюче затуплення різального інструмента;

$K_3 = 1,20$  – коефіцієнт, що враховує динаміку та переривчастий характер процесу різання;

$K_4 = 1,0$  – коефіцієнт, що характеризує стабільність зусилля, яке генерується затискним механізмом.

$K_5 = 1,0$  – коефіцієнт, що визначається ергономічними показниками (зручністю роботи) ручного затискного пристрою.

$K_6 = 1,0$  – коефіцієнт, що характеризує метод установки заготовки.

$$K_3 = 1,50 \cdot 1,0 \cdot 1,30 \cdot 1,20 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,340$$

Так як в результаті розрахунку  $K_3 < 2,5$ , то приймаємо  $K_3 = 2,5$ .

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Прийmemo  $f = f_i = 0,16$ .

$$Q_{P_z} = \frac{2,50 \cdot 139}{0,320} = 1085 \text{ Н}$$

$$Q_{P_x} = \frac{2,50 \cdot 76,50}{0,320} = 597 \text{ Н}$$

$$Q = \sqrt{1085,0^2 + 597,0^2} = 1238 \text{ Н}$$

Знаючи величину сили  $P$ , яку повинен розвинути силовий циліндр для надійного закріплення заготовки, внутрішній діаметр його поршня  $D$  розраховується за такою формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4Ql_2}{\pi\eta\rho l_1}}, \quad (2.25)$$

де  $\rho$  – робочий тиск масла, прийmemo 1 МПа;

$\eta = 0,90$  – коефіцієнт корисної дії.

Визначимо діаметр поршня гідроциліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1238 \cdot 87,50}{3,14 \cdot 0,90 \cdot 1,0 \cdot 125,0}} = 35 \text{ мм}$$

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

### 3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1. Аналіз схем формоутворення та вибір комплексу рухів.

Геометрію будь-якої деталі можна розкласти на комбінацію базових поверхонь: площин, циліндрів, конусів, сфер, торів, а також евольвентних чи гвинтових профілів. З точки зору кінематики, процес утворення поверхні розглядається як результат переміщення твірної лінії вздовж напрямної (їх спільно класифікують як відтворюючі лінії).

Щоб отримати заданий профіль на верстаті, необхідна наявність рухів формоутворення – тобто чітко синхронізованого переміщення різального інструмента та оброблюваної деталі.

З огляду на це, доцільно детально розглянути технологічні методи, які застосовуються для обробки торців та центрових отворів.

#### 1. Обробка торців вала фрезерування

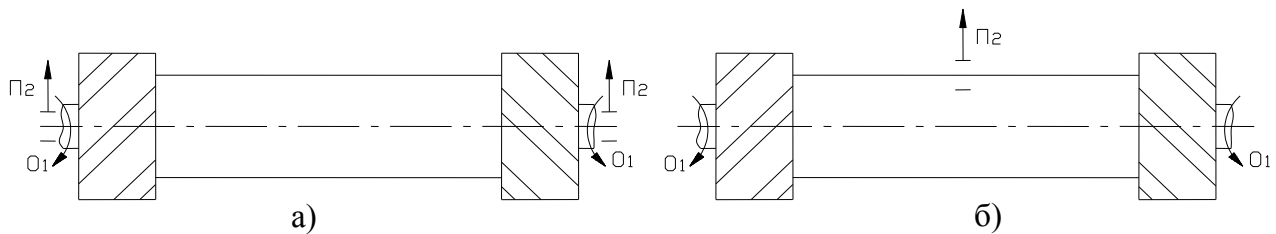


Рисунок 3.1 - Схема обробки торців торцевими фрезами з рухомою (б) і нерухомою (а) заготовкою

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Данилюк В.			Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Лукашук І				64	31
Перевір.		Кобельник В.			ТНТУ, МВс-41		
Н. Контр.		Кобельник В.			м. Тернопіль		
Затверд.		Крупа В.					

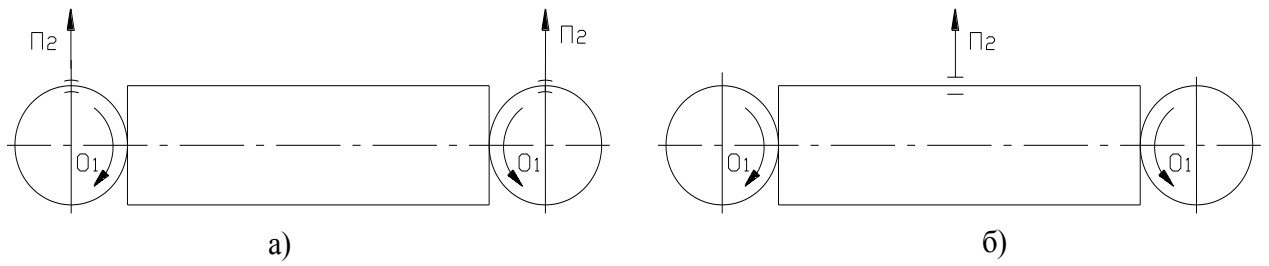


Рисунок. 3.2. - Схема обробки торців циліндричними фрезами з рухомою (б) і нерухомою (а) заготовкою

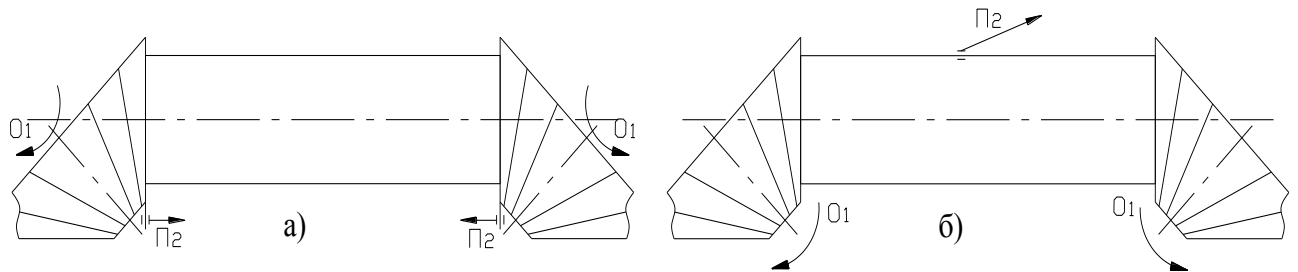


Рисунок. 3.3. - Схема обробки торців конічними фрезами з рухомою (б) і нерухомою (а) заготовкою

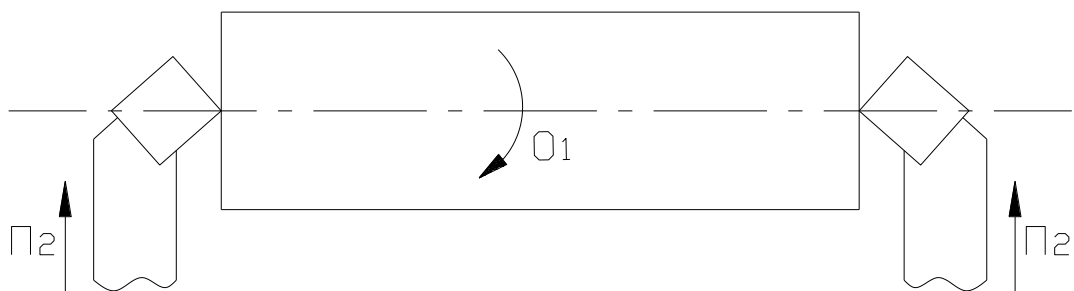


Рисунок 3.4. - Схема обробки торців прохідними різцями

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

## 2. Обробка центровочних отворів

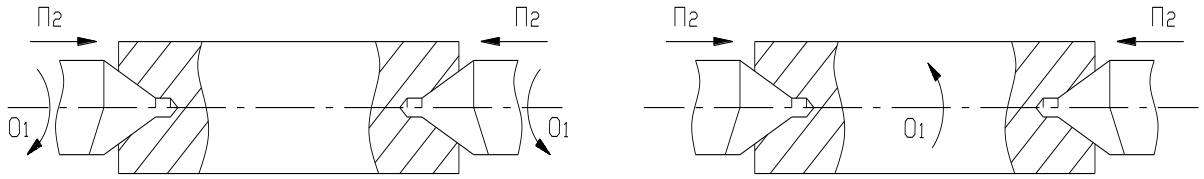


Рисунок 3.5. - Схема обробки отворів центральними сверлами з рухомою (б) і нерухомою (а) заготовкою

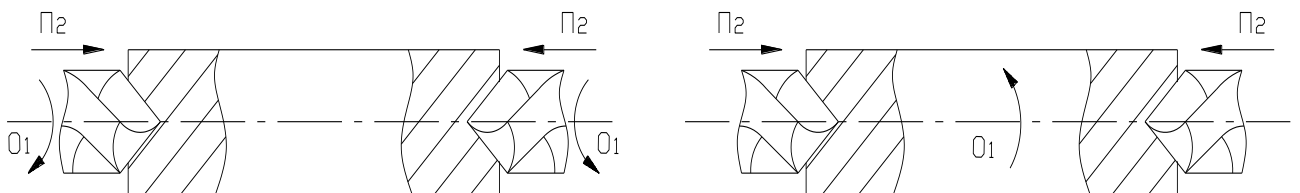


Рисунок 3.6. - Схема обробки отворів циліндричними сверлами з рухомою (б) і нерухомою (а) заготовкою

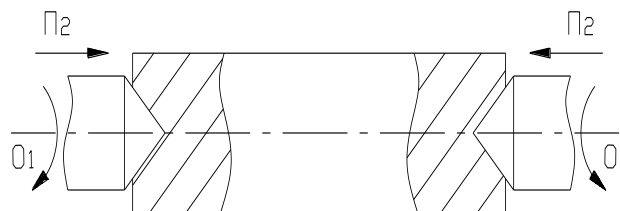


Рисунок 3.7. - Схема обробки отворів методом пластичної деформації

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

На основі аналізу розглянутих раніше варіантів обробки вала та формування центрувальних отворів, а також з огляду на технологічні рекомендації і висунуті вимоги до якості деталей, для подальшого проектування обрано схеми, що зображені на рис. 3.1 (а) та рис. 3.5 (а).

Визначимо набори виконавчих рухів.

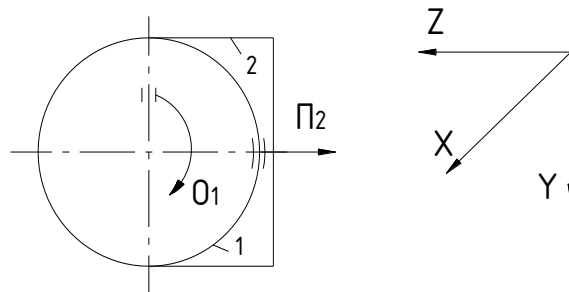
### 1. Фрезерування.

Технологічний модуль ТМ=ОСУ

Модульний комплект МК=ОСУ<sub>w</sub>

Матриця можливих компоновок по ТМ

A = {ОСУ}



1 - твірна. Метод формоутворення - дотику,  $\Phi=2$  ( $\Phi_1(O_1)$ ,  $\Phi_5(\Pi_2)$ ).

2 - направляюча. Метод формоутворення - сліду,  $\Phi=1$  ( $\Phi_5(\Pi_2)$ ).

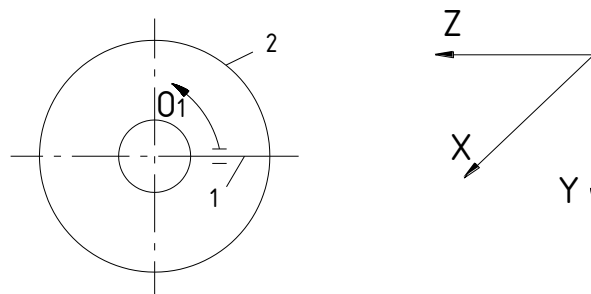
### 2. Центрування.

Технологічний модуль ТМ= ОСЗ

Модульний комплект МК=ОСЗ<sub>w</sub>

Матриця можливих компоновок по ТМ

A- {ОСЗ}



1- твірна Метод формоутворення - копіювання,  $\Phi=0$ , ( $V_p(\Pi_2)$ )

2- направляюча. Метод формоутворення - сліду,  $\Phi=1$  ( $\Phi_4(O_1)$ ).

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

### 3.2 Розробка структурно - кінематичної схеми верстата.

У відповідності з вибраними схемами обробки та необхідними наборами виконавчих рухів складаємо структурно-кінематичну схему верстата.

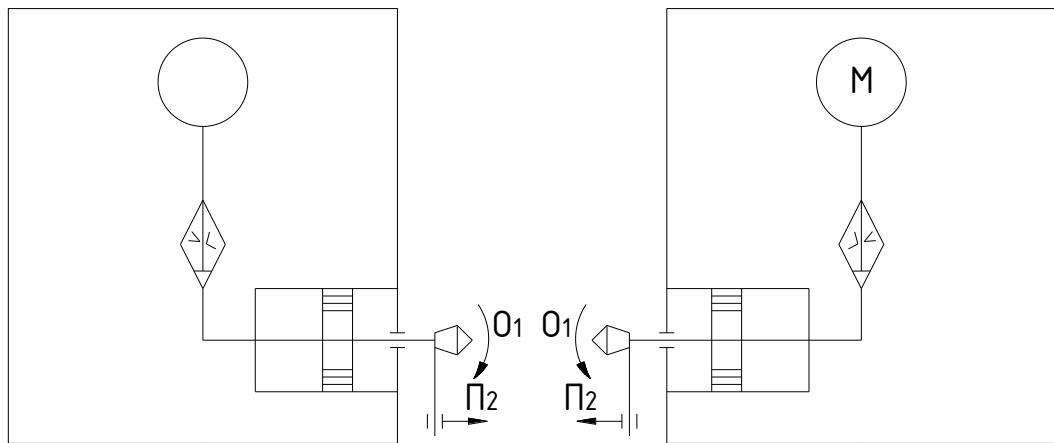
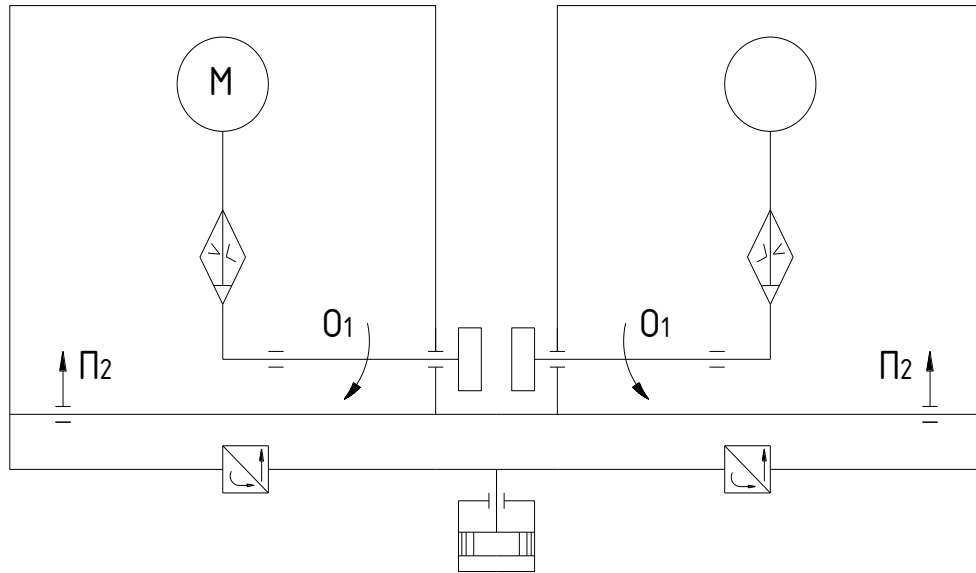


Рисунок 3.8. - Структурно-кінематична схема верстата.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

### 3.3.Проектування фрезерної головки верстата

#### 3.3.1. Опис конструкції та принципу роботи вузла верстата

Конструкція верстата передбачає встановлення фрезерних бабок на напрямних приводних коробок. Їхній синхронний рух забезпечується єдиним гідравлічним циліндром через передачу «шестерня-рейка» та вал зі шліцами. Обертний момент на шпинделі надходить від автономних фланцевих електродвигунів. Особливістю просторового компоновання є жорстко закріплена ліва головка, тоді як права має можливість поздовжнього переміщення єдиним вузлом із коробкою привода. Налаштування кінематики (частоти обертання інструмента) виконується гідравлічною системою змінних коліс у хвостовій частині. Керування циклічною роботою, що охоплює прискорене підведення, безпосередню обробку та швидке повернення у вихідну позицію, реалізовано на базі шляхових вимикачів та електромагнітної апаратури.

#### 3.3.2. Вибір двигуна.

Згідно з визначеною раніше розрахунковою потужністю, за довідником приймаємо електродвигун марки А02-43-4. Його номінальні паспортні характеристики становлять: потужність  $N = 5,50$  кВт, частота обертання  $n = 1440$  об/хв та коефіцієнт корисної дії  $\eta = 0,87$ . Наступним кроком є перевірочний розрахунок обраного привода на нагрівання, який ми виконаємо із застосуванням методу еквівалентної потужності.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

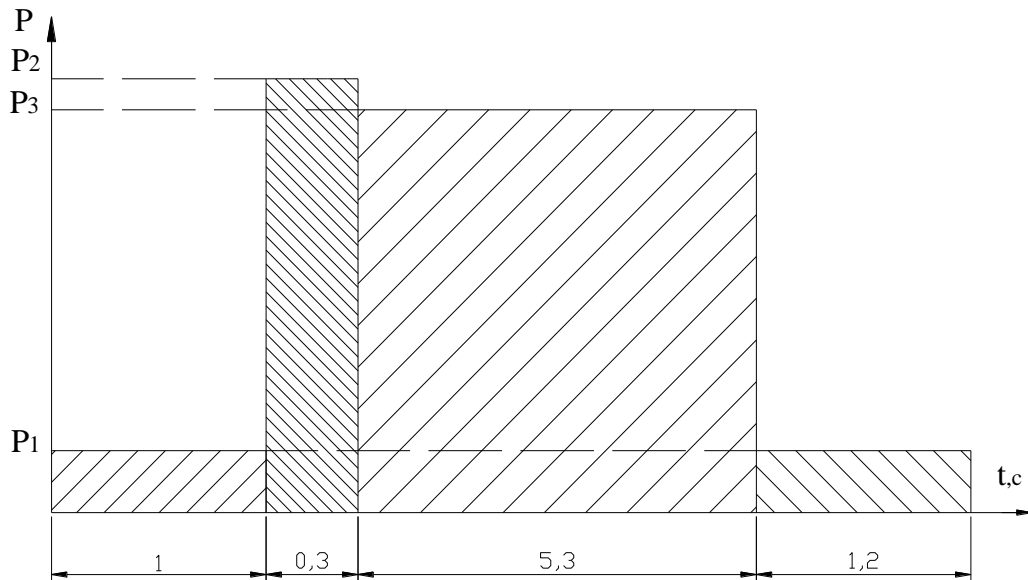


Рисунок 3.9 - Графік потужності.

$$P_1 = (d_{cp} / 10^6) \cdot (\sum n + k_1 \cdot (d_{unn} / d_{cp}) \cdot n_{unn}) \cdot k_2 =$$

$$(45, / 10^6) \cdot (3084 + 1.750 \cdot (70,0 / 45,0) \cdot 456) = 0.80 \text{ кВт}$$

Потужність врізання:

$$P_2 = 1,40 \cdot P_3 = 1,40 \cdot 5,50 = 7,7 \text{ кВт}$$

Робоча потужність  $P_3 = 5,5 \text{ кВт}$ .

Еквівалентна потужність згідно [3, с.315]

$$P_e = 1,10 \cdot (0,80^2 \cdot 1 + 7,70^2 \cdot 0,3 + 5,50^2 \cdot 5,30 + 0,80^2 \cdot 1,20) / 7,8 = 5,30 \text{ кВт}$$

$P_e < P_{\text{ном}}$ , можна зробити висновок про правильність вибору двигуна.

### 3.3.3. Кінематичний розрахунок вузла.

На даному верстаті планується здійснювати обробку заготовок з діапазоном діаметрів від 25,0 мм до 80,0 мм. Для цього визначимо розміри фрез:  $D_{\text{min}} = 90 \text{ мм}$  та  $D_{\text{max}} = 130 \text{ мм}$ .

В такому випадку швидкості різання будуть:  $V_{\text{min}} = 110 \text{ м/хв.}$  та  $V_{\text{max}} = 354 \text{ м/хв.}$

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Мінімальну частоту обертання визначимо за формулою:

$$n_{\min} = (1000 \cdot V_{\min}) / (\pi \cdot D_{\max}), [38]$$

де  $n_{\min}$  - мінімальне значення частоти обертання, об/хв;

$D_{\max}$  - максимальне значення діаметра фрези, мм.

$$n_{\min} = (1000 \cdot 110,0) / (3,14 \cdot 130,0) = 270 \text{ об/хв}$$

Максимальна частота обертання:

$$n_{\max} = (1000 \cdot V_{\max}) / (\pi \cdot D_{\min}), [38]$$

$$n_{\max} = 1250,0 \text{ об/хв}$$

де  $n_{\max}$  - максимальне значення частоти обертання, об/хв;

$V_{\max}$  – максимальне значення швидкості різання, м/хв;

$D_{\min}$  – мінімальне значення діаметра фрези, мм.

Визначимо діапазон регулювання частот обертання:

$$R_n = n_{\max} / n_{\min} = 1250 / 270 = 4,63$$

Для визначення числа ступеней частот обертання шпинтделя приймаємо  $\phi = 1,26$

$$\text{Тоді } Z = 1 + (\lg R_n / \lg \phi) = 1 + (\lg 4,63 / \lg 1,26) = 7,$$

де  $Z$  - кількість ступеней швидкості.

Так як верстат спеціальний, тому для переналагодження верстата на інші режими обробки будемо використовувати гітару змінних коліс.

Враховавши зазначене будуємо структурну сітку.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

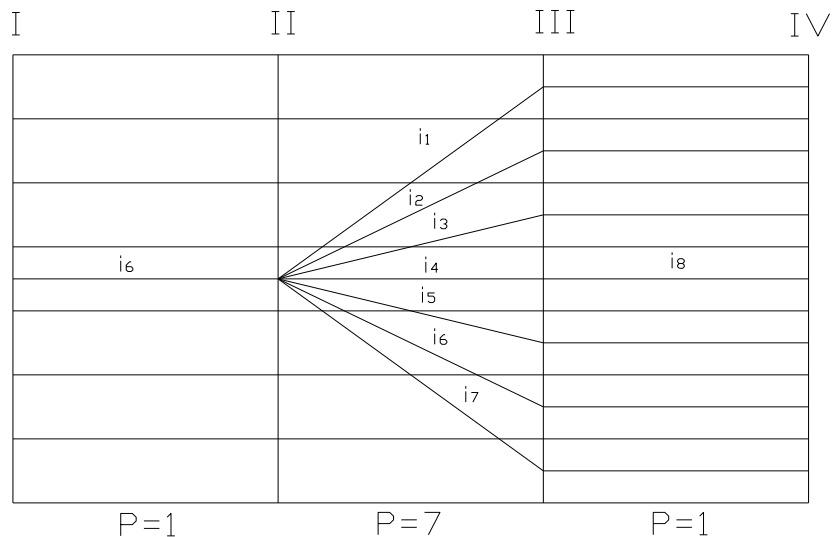


Рисунок 3.10 - Структурна сітка

Так як сітка симетрична, то кожна пара коліс може використовуватись два рази: як для прискорення так і для сповільнення.

Виходячи із структурної сітки:

$$i_1; i_2; i_3; i_4; i_5; i_6; i_7 = \varphi$$

$$i_4 = 1, \text{ тоді } i_3 = \varphi = 1,260; i_2 = \varphi^2 = 1,580; i_1 = \varphi^3 = 2,0; i_5 = 1/\varphi^2 = 1/1,260;$$

$$i_6 = 1/\varphi^2 = 1/1,580; i_7 = 1/\varphi^3 = 1/2.$$

Отримані величини значень передаточних відношень задовільняють умову  $1/4 \leq i \leq 2$

$$\text{Приймаємо } i_0 \text{ та } i_6 \text{ рівними } 1/\varphi^2 = 1/1,580.$$

Для визначення чисел зубів зубчастих коліс знаходимо таку суму  $Z$ , яка б відповідала та забезпечувала три передаточні відношення:  $i_2(i_6)$ ,  $i_3(i_5)$ ,  $i_4 \Sigma Z = 82$ . Для передаточних відношень  $i_0$  та  $i_3$ ,  $\Sigma Z = 59$  і  $\Sigma Z = 101$ , для відношення  $i_1(i_7)$   $\Sigma Z = 81$ . Отримані результати розрахунків та вибору чисел зубів зубчастих коліс зводимо в таблицю.

Таблиця 3.1 - Числа зубів зубчастих коліс.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

I	$i_0=1/1,5$ 8	$i_1=2,$ 0	$i_2=1,5$ 8	$i_3=1,2$ 6	$i_4=1$	$i_5=1/1,2$ 6	$i_6=1/1,5$ 8	$i_7=1/$ 2	$i_8=1/1,5$ 8
Z1:Z 2	23:36	54:27	50:32	46:36	41:4 1	36:46	32:50	27:54	39:62
$\Sigma z$	59	81	82	82	82	82	82	81	101

Оримавші передаточні відношення та числа зубів зубчастих коліс будемо графік чисел обертів.

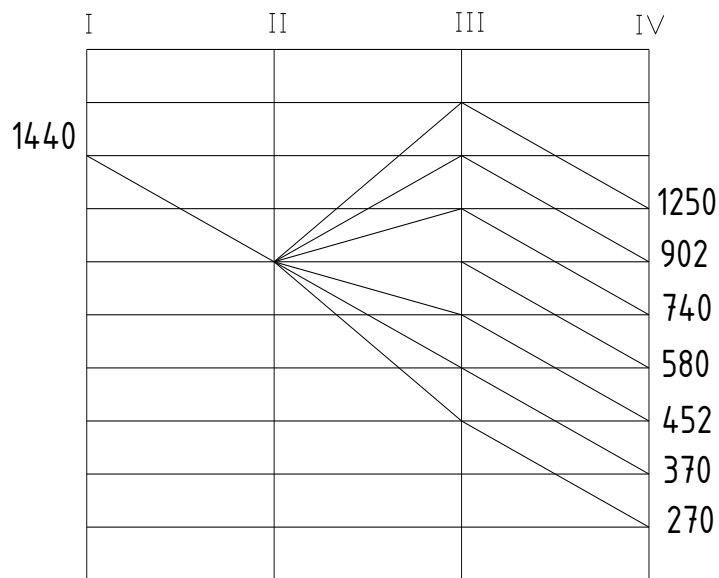


Рисунок 3.11 - Графік чисел обертів.

### 3.3.4. Характеристики вузла верстата

а) Точність .

Для спеціальних верстатів точність обертання залежить від необхідної точності обробки :  $\Delta = \Delta_d/3$ ,

Де  $\Delta$  - биття шпинделя верстата;

$\Delta_d$  - допуск на обмежуючий розмір деталі.

В нашому випадку  $\Delta_d = 0,50/2 = 0,25$  мм

Тоді  $\Delta = 0,250/3 = 0,083$  мм.

б) Жорсткість.

Показник жорсткості шпиндельного вузла розраховується на основі величини його пружної деформації під дією робочого навантаження. Відповідно, значення жорсткості на передньому кінці шпинделя (виражене в Н/мкм) обчислюється наступним чином.

$$J = F/Y,$$

де  $F$  - сила прикладена до переднього кінці шпинделя,  $N$ ;

$Y$  - прогин шпинделя.

Щоб забезпечити задану точність обробки під час розрахунку жорсткості шпиндельного вузла, необхідно обчислити величину його пружного відхилення (прогину  $y$ ). Цей прогин виникає під спільною дією складових сили різання та крутного моменту приводу на робочих режимах, а його максимальне значення жорстко регламентується полем допуску на найвідповідальніший (лімітуючий) розмір заготовки:

$$Y = \Delta_d / 3 = 0,083 \text{ мм.}$$

З точки зору нормальної роботи підшипників, жорсткість на ділянці між опорами знаходиться в межах 250-500 Н/мкм.

в) Вібростійкість.

Опірність до вібрацій (вібростійкість) відіграє вагомий роль у формуванні кінцевих характеристик обробленої поверхні. Якщо у вузлі шпинделя генеруються вібрації, це неминує викликає падіння точності розмірів, погіршення чистоти обробки, прискорене зношування фрез чи різців, а також зниження ефективності роботи верстата в цілому. Щоб запобігти цим негативним наслідкам, рекомендоване мінімальне значення власної частоти коливань шпиндельного вала встановлюється на рівні 400-600 Гц.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

г) Теплостійкість.

У процесі конструювання та експлуатації важливо максимально мінімізувати тепловиділення і відповідні температурні деформації шпиндельного блоку. Ці термічні явища безпосередньо погіршують точність виготовлення деталей та знижують загальну працездатність підшипникових опор. Відповідно до нормативних вимог, гранично допустима температура нагрівання для зовнішнього кільця підшипника обмежена позначкою 70°C.

### 3.3.4.1. Вибір конструктивної схеми ШВ.

З метою модульної побудови шпиндельних вузлів, а також для зниження витрат праці на їхнє проектування, виробництво та обслуговування, раціонально застосовувати уніфіковані конструктивні рішення. Характерною рисою таких схем є передача всього осьового навантаження виключно на передню опору, тоді як задня виконується «плаваючою» (без жорсткої фіксації вздовж осі). Таке просторове компонування дозволяє суттєво підвищити показники радіальної жорсткості системи та звести до мінімуму вплив температурних деформацій на передній (робочий) кінець шпинделя.



Рисунок 3.12 - Конструктивна схема ШВ.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

### 3.3.4.2. Вибір геометричних характеристик ШВ

Діаметр шпинделя в передній опорі приймаємо  $d = 80,0$  мм.

Міжопорна відстань складає  $l = 270,0$  мм.

Діаметр переднього кінця шпинделя складає  $d_k = (1,0 - 1,20) \cdot d = 90$  мм.

Діаметр шпинделя в задній опорі складає  $d_k = (1,0 - 0,80) \cdot d = 70$  мм.

Діаметр шпинделя в між опорній частині складає  $d_m = (1,0 - 0,90) \cdot d = 75$  мм.

Виліт шпинделя складає  $C = (1,0 - 2,10) \cdot d = 75$  мм.

### 3.3.5. Розрахунок оптимальної між опорної відстані.

Геометричні та конструктивні розміри шпиндельного блоку є визначальними факторами для його загальної жорсткості. Щоб забезпечити найкращі показники пружності системи, ці параметри підлягають ретельній оптимізації ще на етапі проектування. Для спрощеного (наближеного) розрахунку кінематики, реальну конструкцію шпинделя моделюють як еквівалентну двоопорну балку. У цій розрахунковій схемі робоче навантаження (сила  $F$ ) діє на консольну частину, знаходячись на вильоті  $C$  відносно переднього підшипникового вузла.



Рисунок 3.13 - Розрахункова схема вузла.

Радіальну деформацію робочого переднього кінця шпинделя подано у вигляді:

$$U_{\Sigma} = U_{\text{шп}} + U_{\text{оп}} + U_{\text{зс}}$$

де  $U_{\text{шп}}$  - зміщення від прогином тіла шпинделя;

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

$U_{оп}$  - зміщення від податливості опор;

$U_{зс}$  - зміщення зсуву від поперечних сил.

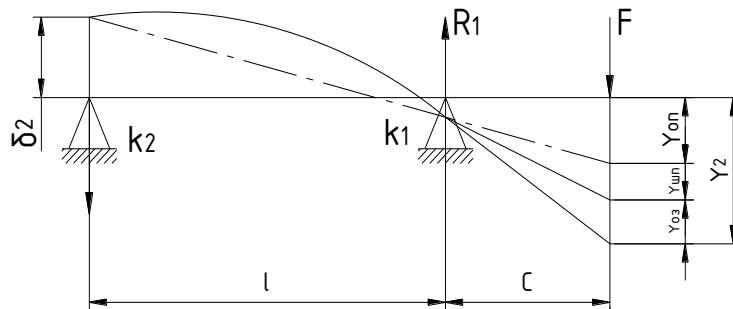


Рисунок 3.14 - Схема деформації шпинделя

Так як зміщення  $y = (3 - 6)y_1 \cdot U_{\Sigma}$ , то при наближених розрахунках не враховуємо. Сумарну деформацію визначаємо за формулою

$$U = ((F \cdot C^2)/3E) \cdot [(C/l_2) + (1(1,1 - \xi_3)/I_1)] + F \{k_1 [(C(1 - \xi) + 1)/1,1]^2 + k_2(1 - \xi_3)(C^2/l^2)\},$$

де  $E$  - модуль пружності матеріалу шпинделя;

$I_1, I_2$  - осьовий момент інерції січення шпинделя на консолі і між опорами;

$k_1, k_2$  - податливість передньої і задньої опор;

$\xi_3$  - коефіцієнт защемлення

Загальна податливість ШВ буде:  $K = P/ U_{\Sigma}$ .

Оптимальна величина міжопорної відстані визначиться з рівняння:

$$I^3 - \{(6E \cdot I_1 k_1 / C)l + 6E \cdot I_1 [k_1(1 - \xi) + k_2]\} = 0.$$

Розв'язок даного рівняння дає значення оптимальної міжопорної відстані  $l_{опт}$ .

Розрахунки здійснені з допомогою ЕОМ.

Вихідні дані для розрахунку представлені в таблиці.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Таблиця 3.2 – Вихідні дані для розрахунку

Назва величини	Позначення	Величини	Одиниці виміру
Діаметр шпинделя в між опорній частині	D	75,0	мм
Діаметр отвору в шпинделі	dot	30,0	мм
Діаметр кінця шпинделя	dk	80,0	мм
Модуль пружності	E	$2 \cdot 10^5$	Н/мм <sup>2</sup>
Податливість передньої опори	k1	$7,1 \cdot 10^{-7}$	мм/Н
Податливість задньої опори	k2	$0,9 \cdot 10^{-775}$	мм/Н
Виліт робочого кінця шпинделя	C	75	мм
Коефіцієнт зацімлення 1 опори	$\xi$	0,3 – 0,45	-

Таблиця 3.3 - Результати розрахунку

Назва величини	Позначення	Величина	Одиниці виміру
Розрахункова між опорна відстань	lp	270,0	мм
Оптимальна міжопорна відстань	loпт	270,	мм
Жорсткість шпиндельного вузла	Cшв	269 020	Н/мм

### 3.3.6. Розрахунок радіальної жорсткості шпindelного вузла.

Розрахунок радіальної жорсткості розглянутого шпindelного вузла будемо виконувати на основі моделі статично визначеної системи. Для спрощення розрахункової схеми, здвоєний блок підшипників передньої опори розглядається як єдина умовна опора, геометричний центр якої збігається з віссю першого підшипника.

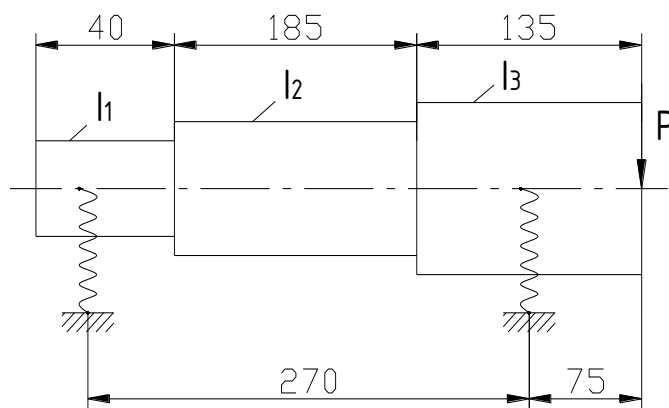


Рисунок 3.15 - Розрахункова схема.

Як видно із представленої розрахункової схеми, конструкція вала включає три ділянки, кожна з яких характеризується власним моментом інерції. Зважаючи на те, що геометричні перепади між цими ступенями є незначними, для спрощення обчислень усі локальні моменти інерції доцільно замінити одним еквівалентним (зведеним) значенням, яке визначається за такою залежністю:

$$I_{пр} = \frac{\sum l_i I_i}{\sum l_i} = \frac{(I_1 l_1 + I_2 l_2 + I_3 l_3)}{(l_1 + l_2 + l_3)}$$

Момент інерції на окремій ділянці знайдемо за формулою:

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

$$I = \pi(D^4 - d^4)/64,$$

де  $D$  - діаметр зовнішній, мм;  
 $d$  - діаметр отвору в шпинделі, мм.

$$I_1 = 3,14 \cdot (70^4 - 30^4) / 64 = 1138250 \text{ мм}^4 ;$$

$$I_2 = 3,14 \cdot (75^4 - 30^4) / 64 = 1512627,5 \text{ мм}^4 ;$$

$$I_3 = 3,14 \cdot (80^4 - 30^4) / 64 = 1969859,5 \text{ мм}^4 .$$

$$\text{Тоді } I_{\text{пр}} = (4553 \cdot 10^4 + 27984 \cdot 10^4 + 26593 \cdot 10^4) / 360 = 164,2 \cdot 10^4 \text{ мм}^4$$

Щоб розрахувати величину лінійного зміщення, яке виникає внаслідок пружного прогину самого вала шпинделя, розрахункову модель необхідно звести до еквівалентної схеми: пружної балки, що спирається на абсолютно жорсткі опори.

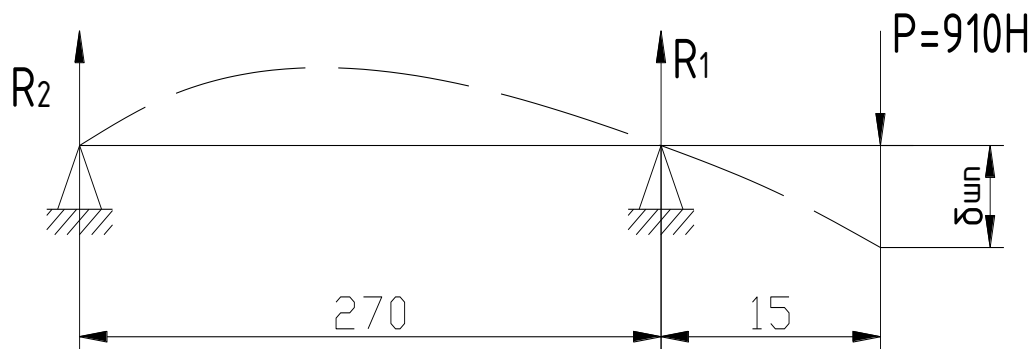


Рисунок 3.16 - Розрахункова схема

Знаходимо зміщення кінця шпинделя:

$$\delta = \sum_{i=1}^n (1/EI_i) W_i M_i,$$

де  $W_i$  - площа ділянки епюри моментів;

$M_i$  - координата центру ваги на епюрі від одиничної сили.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Епюри представлені нарис. 3.10

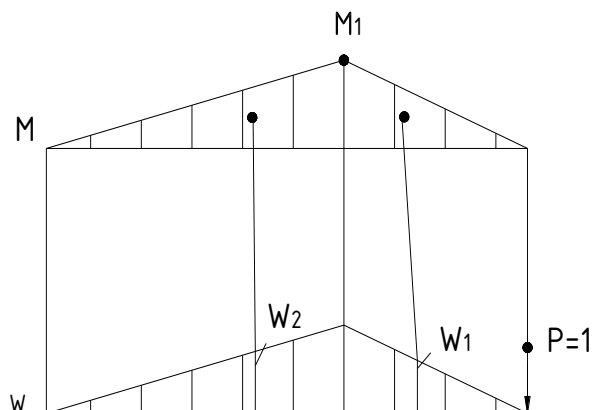


Рисунок 3.17 - Епюри моментів.

$$M_1 = P \cdot 75 = 910 \cdot 75 = 68250 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$W_1 = 2/3 \cdot 75 \cdot 1 \text{ Н} = 50,0 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$R_2 = (P \cdot 75) / 270,0 = (1 \cdot 75) / 270 = 0,2770 \text{ Н}$$

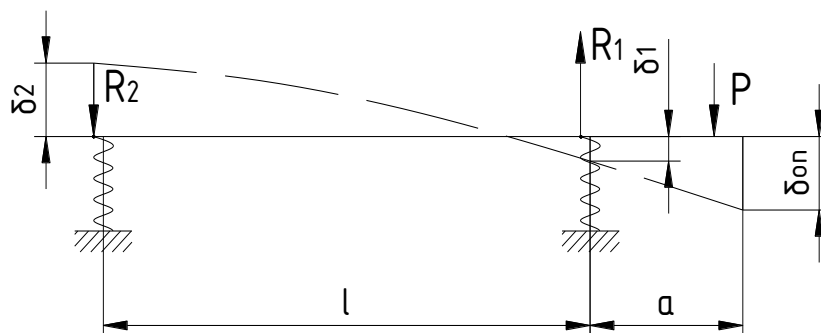
$$\text{Тоді } W_2 = R_2 \cdot 2/3 \cdot 270,0 = 0,277 \cdot 2/3 \cdot 270 = 50 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Обчислимо значення  $\delta_{\text{шп}}$ :

$$\delta_{\text{шп}} = 1/(1/E I_{\text{пр}}) \cdot (W_1 \cdot \frac{1}{2} a + W_2 \cdot \frac{1}{2} l) = (1/(2 \cdot 10^5 \cdot 164 \cdot 2 \cdot 10^4)) \times$$

$$(50 \cdot 2559375 + 50 \cdot 9213750) = 1,79 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

Визначення зміщення яке викликане безпосередньо податливістю опор можна подати як жорстку балку на пружних опорах.



					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

$$P = 910,0 \text{ Н}; \quad l = 2070,0 \text{ мм}; \quad a = 75,0 \text{ мм}.$$

Рисунок 3.18 - Розрахункова схема.

Зі схеми видно

$$(\delta_{\text{оп}} + \delta_2) / (\delta_{o1} + \delta_2) = (1 + a) / l$$

Звідси

$$\delta_{\text{оп}} = ((1 + a) / l) \cdot (\delta_{o1} + \delta_2) - \delta_2 = ((1 + a) / l) \cdot \delta_2$$

Користуючись відомими законами можемо знайти зміщення в передній і задній опорах шпиндельного вузла ( $\delta_1$  і  $\delta_2$ )

$$\delta_1 = R_1 / K_2; \quad \delta_2 = R_2 / K_2.$$

Реакція в опорах буде:  $R_1 = P(1 + a) / l$ ;  $R_2 = Pa / l$ .

Тоді як  $\delta_1 = (P(1 + a) / l) C_1$ ;  $\delta_2 = (Pa / l) C_2$ ,

де  $C_i$  - податливість певної опори опори.

Отже

$$\delta_{\text{оп}} = (P(1 + a)^2 / l^2 C_1 + (Pa^2 / l^2) C_2) = 910 \cdot (270 + 75)^2 / (270,0^2) \cdot 7,10 \cdot 10^{-7} + (910 \cdot 75^2 / 270,0^2) \cdot 9,09 \cdot 10^{-6} = 1,680 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

прогин шпинделя знайдемо сумуючи величини  $\delta_{\text{оп}}$  і  $\delta_{\text{шп}}$

$$\delta_{\Sigma} = \delta_{\text{оп}} + \delta_{\text{шп}} = 1,79 \cdot 10^{-3} + 1,68 \cdot 10^{-3} = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

Жорсткість ШВ буде:

$$K_{\text{шп}} = P / \delta_{\Sigma} = 910,0 / (3,40 \cdot 10^{-3}) = 267,60 \text{ Н/мкм}.$$

Визначимо податливість стиків.

Для плоских нерухомих стиків 2, 3, 5, 6, 10 лінійна податливість:

$$e^{\wedge} = C_{\delta} / (2F^{0.5} \cdot P^{0.5}),$$

де  $C_{\delta} = 1,9 \cdot 10^{-9}$  - для контакту сталь-сталь;

$P$  - осьова сила, Н;  $P = 200$  Н;

$F$  - площа контакту,  $\text{мм}^2$ .

Площі стиків:  $F_2 = 1460 \text{ мм}^2$ ;  $F_3 = 1055 \text{ мм}^2$ ;  $F_5 = 4082 \text{ мм}^2$ ;

$F_6 = 4082 \text{ мм}^2$ ;  $F_{10} = 2120 \text{ мм}^2$ .

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Підставивши значення в формулу будемо мати:  $e^2 = 1,760 \cdot 10^{-6}$ ;  
 $e^3 = 2,10 \cdot 10^{-6}$ ;  $e^5 = 1,0 \cdot 10^{-6}$ ;  $e^6 = 1,0 \cdot 10^{-6}$ ;  $e^{10} = 1,50 \cdot 10^{-6}$ .

Для плоского затягнутого стику 1 лінійна податливість:

$$\text{де } C_\delta = 1,50 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3 \text{ Н}^{-1}$$

Лінійна податливість :  $e^1 = 1,250 \cdot 10^{-12}$ .

Для 4 підшипника лінійна податливість буде рівна  $e^4 = K_p$ ,

де  $K_p = 2,0 \cdot 10^{-6}$  - коефіцієнт, що враховує контактну податливість для роликів підшипників.

Осьова жорсткість шпиндельного вузла :

$$K_{\text{ос.ш}} = 1/\Sigma e^i = 1/9,460 \cdot 10^{-6} = 105,70 \text{ Н/мкм.}$$

### 3.3.7. Розрахунок напрямних фрезерної головки верстата.

Вертикальне переміщення фрезерних бабок здійснюється по напрямних профілю «ластівчин хвіст». Під час цього руху вузол зазнає впливу багатокомпонентної системи навантажень. До основних зовнішніх факторів належать: максимальне зусилля різання  $P_{\text{max}}$ , сила тяги приводу  $Q$  та власна вага головки (приймаємо  $G = 7000 \text{ Н}$ ). Спільна дія цих силових факторів викликає появу опорних реакцій у напрямних, що дозволяє побудувати епію розподілу питомих тисків для кожної з них. На наступному етапі сформуємо базовий масив вихідних даних, необхідних для перевірного розрахунку напрямних.

$$P_{\text{max}} = (N_d \cdot \eta \cdot 1020 \cdot 60)/V_{\text{min}}$$

де  $\eta = \eta_d \cdot \eta_{\text{шп}}^4 \cdot \eta_{\text{зп}}^3 = 0,870 \cdot 0,990^4 \cdot 0,980^3 = 0,7850$  – коефіцієнт корисної дії.

$$V_{\text{min}} = \pi d \cdot n_{\text{min}}/1000,$$

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

де  $d = 100$  мм - діаметр фрези,  $n_{min} = 270$  об/хв.

$V_{min} = 3,14 \cdot 100 \cdot 270/1000 = 85$  м/хв.

$P_{max} = (5,50 \cdot 0,7850 \cdot 1020 \cdot 60)/85 = 3100$  Н.

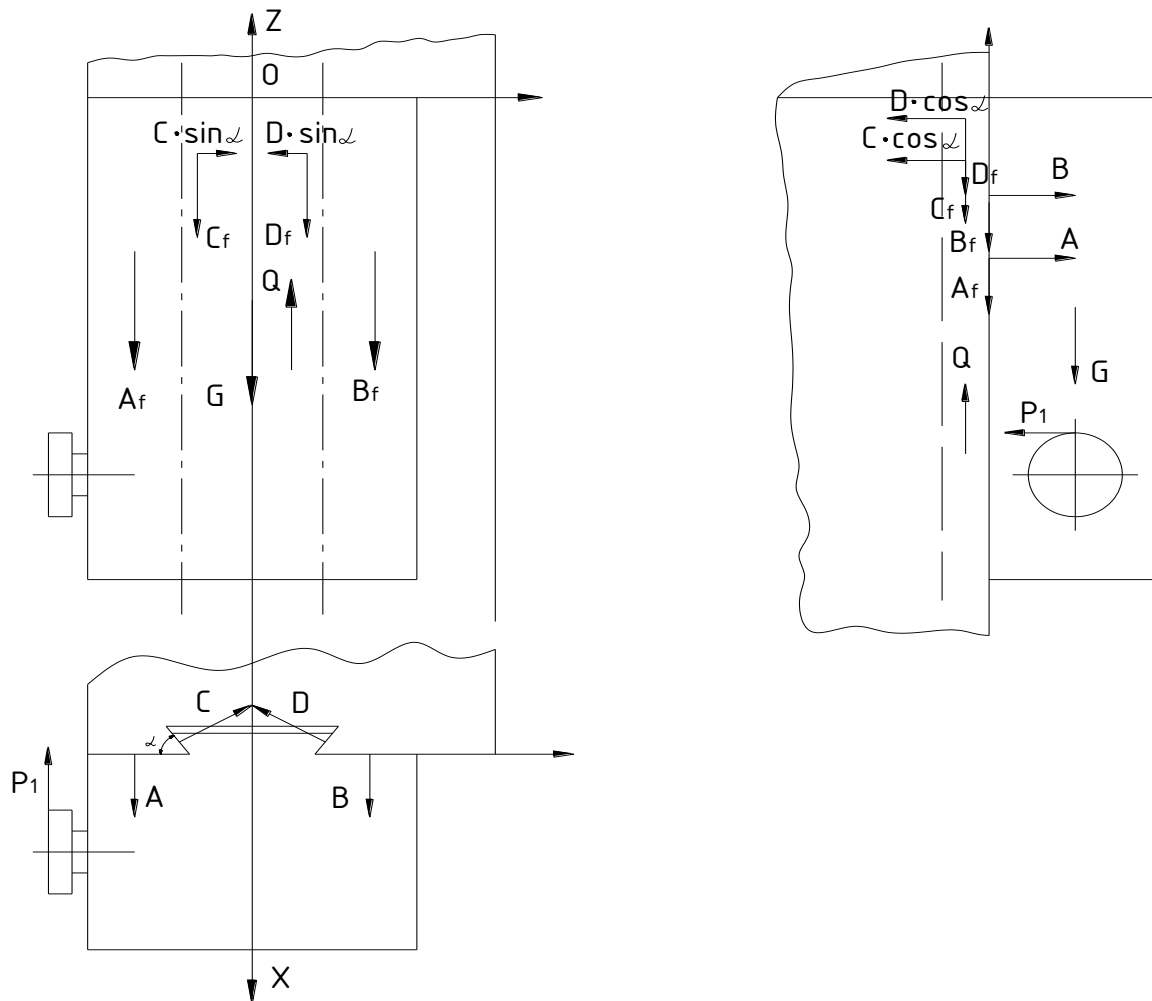


Рисунок 3.19 - Схеми, що діють на фрезерну головку в площинах YZ, XZ, XY.

$\alpha = 55^\circ$ , коефіцієнт тертя  $f = 0,12$ .

Невідомим є:

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

а) реакції, що виникають в направляючих А, В, С, Д;

б) тягове зусилля яке діє на головку;

в) координати прикладання сил (реакцій)  $Z_A, Z_B, Z_C, Z_D$

$$1) \quad \Sigma X = 0 \quad -P + A + B - C \cdot \cos \alpha - D \cdot \cos \alpha = 0$$

$$2) \quad \Sigma Y = 0 \quad C \cdot \sin \alpha - D \cdot \sin \alpha = 0$$

$$3) \quad \Sigma Z = 0 \quad -D \cdot f - C \cdot f - B \cdot f - A \cdot f + Q - G = 0$$

$$4) \quad \Sigma M_Z = 0 \quad -P \cdot Y_P + A \cdot Y_A - B \cdot Y_B = 0$$

Моменти від С і Д рівні та направлені в протилежні сторони.

$$5) \quad \Sigma M_Y = 0 \quad -D \cdot \cos \alpha \cdot Z_D + Df \cdot X_D + C \cdot f_{x_0} - C \cdot \cos \alpha \cdot Z_C + B \cdot Z_B + A \cdot Z_A - Q \cdot Z_A - G \cdot X_A + P \cdot Z_P = 0$$

$$6) \quad \Sigma M_X = 0 \quad Af \cdot Y_A + Cf \cdot Y_C + C \cdot \sin \alpha \cdot Z_C - D \cdot \sin \alpha \cdot Z_C - Df \cdot Y_D + Q \cdot Y_Q - Bf \cdot Y_B = 0$$

Отже маємо 9 невідомих і 6 рівнянь.

Для того, що визначити середні питомі тиск треба мати реакції опор А, В, С, Д, а також тягове зусилля Q. Для цього необхідно мати 5 рівнянь. Використовуємо перші 4 рівняння, тому що вони не містять шукані координати  $Z_A, Z_B, Z_C, Z_D$ . П'яте рівняння складемо виходячи з умови того, що головка може повернутися відносно напрямних які вважаємо абсолютно жорстким тілом

$$\varphi_C = \varphi_B \quad \varphi_C = C \cdot \sin \alpha \cdot l_C^2 / 2EI_C, \quad \varphi_B = B \cdot l_B^2 / 2EI_B$$

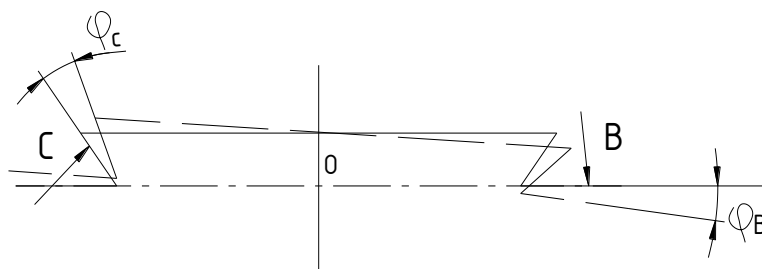


Рисунок 3.20 - Схема розрахунку напрямних.

						КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			85

$$7) C \cdot \sin \alpha \cdot l_c^2 / 2 \cdot E I_c = B \cdot l_b^2 / 2 \cdot E I_b \quad C \cdot \sin \alpha \cdot l_c^2 / I_c = B \cdot l_b^2 / I_b,$$

Здійснюючи розв'язок системи із п'яти рівнянь визначаємо невідомі.

З рівняння чотири:

$$-P \cdot Y_p + A \cdot Y_a - B \cdot Y_B = 0;$$

$$P = 3100 \text{ Н}; \quad Y_p = 35 \text{ см}; \quad Y_a = Y_B = 20 \text{ см.}$$

З рівняння сім:

$$l_c = 16,5 \text{ см}, \quad E = 2 \cdot 10^5 \text{ Мпа}$$

$$I_{C=B} \cdot h^3 / 12 = 70 \cdot 4,5^3 = 590 \text{ см}^4$$

$$l_b = 20 \text{ мм.}$$

$$I_B = B \cdot h^3 / 12 = 70 \cdot 4^3 = 340 \text{ см}^3.$$

$$C \cdot 0,82 \cdot 16,5^2 / 590 = B \cdot 20^2 / 340;$$

$$B = C \cdot 0,82 \cdot 16,5^2 \cdot 340 \cdot 20^2 \cdot 590 = 0,32 \cdot C.$$

З 1 рівняння, підставляючи замість  $A \cdot (B + 637)$ , замість  $B \cdot$

$(0,32 \cdot C)$  і  $C = D$ , одержимо:

$$-P + A + B \cdot 2C \cdot \cos \alpha = 0;$$

$$-P + B + 637 - 2C \cdot \cos \alpha + B = 0;$$

$$-310 + 2 \cdot 0,32 + 6370 - 2C \cos \alpha = 0$$

$$C = 3370 \text{ Н}; \quad C = D = 3370 \text{ Н.}$$

$$B = 0,32C = 1078,8 \text{ Н.}$$

З рівняння 3:

$$A = 6370 + B = 6370 + 1078,8 = 7448,8 \text{ Н}$$

$$Q = 3370 \cdot 0,12 + 3370 \cdot 0,12 + 1078,8 \cdot 0,12 + 7448,8 \cdot 0,12 + 7000 = 8840 \text{ Н}$$

Приводом забезпечується максимальне тягове зусилля яке дорівнює 10000Н.

Середній питомий тиск:

$$\tau_A = A / l \cdot a = 7450 / 40 \cdot 10 = 20 \text{ Н/см}^2$$

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Допустимий питомий тиск:

$[\tau] = 120 \text{ Н/см}^2$  – у випадку чавунних напрямних.

Питомі тиски на інших ділянках будуть ще меншими. Так як дійсні питомі навантаження значно менші за допустимі, то розрахунок по максимальних питомих навантаженнях можна не проводити.

### 3.3.8 Модуль точності вузла.

З вище наведеного занемо:

Технологічний модуль  $TM = \{OCY\}$ ; Модульний комплект  $MK = \{OCY_w\}$ .

Згідно ТМ.

Код компоновки 062.

Координатний код 62.

Математична модель формоутворюючої частини:

$$r_0 = A_{01} \cdot r_e,$$

де  $r_0$  - радіус-вектор точки в системі заготовок;

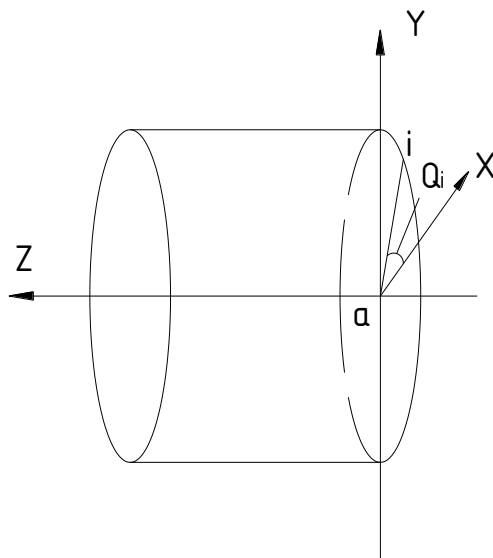
$r_e$  - радіус-вектор в системі інструмента

(математична модель інструмента).

$A_{01} = A^6(Q) \cdot A^2(Y)$  - матриця перетворень координат.

$$A_{01} = \begin{vmatrix} \cos.\theta & -\sin.\theta & 0 & 0 \\ \sin.\theta & \cos.\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos.\theta & -\sin.\theta & 0 & -y \sin.\theta \\ \sin.\theta & \cos.\theta & 0 & y \cos.\theta \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

## Математична модель інструмента.



$$A_{oi} = A^6(Q_i) \cdot A^1(Y) \cdot e^4$$

$$r_l = \begin{vmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x \cdot \cos \theta_i \\ x \cdot \sin \theta_i \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix}$$

### Математична модель формуючої частини

$$r_o = \begin{vmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & -y \sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & y \cos \theta \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x \cdot \cos \theta \\ x \cdot \sin \theta \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \theta \cdot x \cdot \cos \theta_i + (-\sin \theta \cdot x \cdot \sin \theta_i) + (-y \sin \theta) \\ \sin \theta \cdot x \cdot \cos \theta_i + \cos \theta \cdot x \cdot \sin \theta_i + y \cos \theta \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix}$$

Подамо відхилення реальної поверхні від номінальної як:

$$\Delta r'_o = \sum_{i=0}^e A_{oi} \cdot E_i \cdot A_{il} \cdot r'_e,$$

де  $E_i$  - похибка положення ланки формоутворюючої частини верстата.

$$\varepsilon = \begin{vmatrix} 0 & -\gamma & \beta & \delta x \\ \gamma & 0 & -\alpha & \delta y \\ -\beta & \alpha & 0 & \delta z \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix},$$

де -  $\delta_x, \delta_y, \delta_z$  - зміщення початку системи координат (ці величини незначні) відносно номінальної величини;

$\alpha, \beta, \gamma$  - кути повороту системи координат відносно (ці величини незначні) осей номінальної

### 3.4. Проектування свердлильної головки

#### 3.4.1. Опис конструкції та принципу роботи головки

Конструктивно свердлильні головки виконані як автономні модулі, що встановлюються у верхній частині приводних коробок. Обертний момент на їхні шпинделі передається від окремих асинхронних електродвигунів фланцевого виконання. Кінематика головки забезпечує шість ступенів частоти обертання в діапазоні від 238 до 1125 об/хв. Налаштування потрібної швидкості відбувається шляхом перестановки змінних шестерень, блок яких знаходиться на задньому торці вузла. Поздовжнє переміщення (подача) пінолей реалізується гідравлічними циліндрами, які відпрацьовують стандартний автоматичний цикл: прискорене підведення, робоча подача та швидке повернення. Керування гідравлікою здійснюється за допомогою індивідуальних гідропанелей. Для фіксації центрувальних свердел застосовуються цангові патрони з функцією самоцентрування.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

### 3.4.2. Вибір двигуна головки

Згідно розрахованих значень потужностей вибираємо електродвигун А03-22-4, який має наступні параметри  $N = 1,1$  кВт,  $n = 1400$  об/хв,  $\eta = 0,87$ .

Здійснимо перевірку електродвигуна по нагріванню використавши методом еквівалентних потужностей.

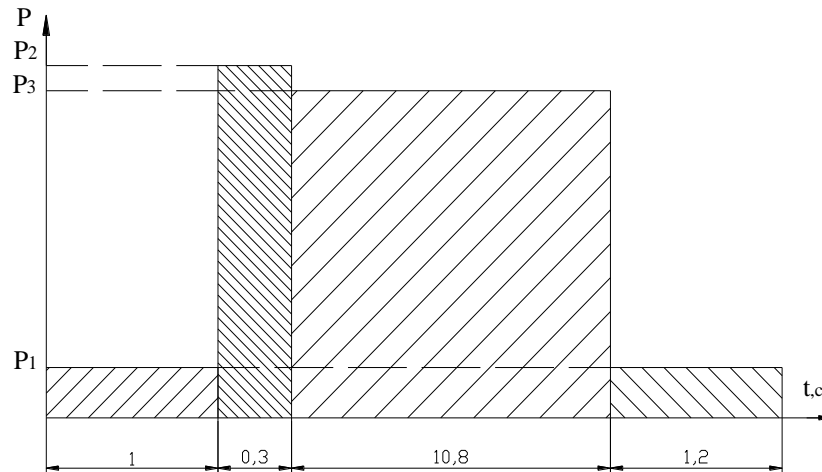


Рисунок 3.21 - Графік потужності електродвигуна

Потужність холостих ходів свердильної головки:

$$P_1 = (d_{cp} / 10^6) (\Sigma n + k_1 \cdot d_{ш} / d_{cp} \cdot n_{шп}) \cdot k_2 =$$

$$= (33,3 / 10^6) \cdot (2142 + 1,750 \cdot (50 / 33,30) \cdot 238) \cdot 4 = 0,4 \text{ кВт.}$$

Робоча потужність  $P_3 = 0,5$  кВт

Потужність врізання  $P_2 = 1,40 \cdot P_3 = 1,40 \cdot 0,50 = 0,7$  кВт.

Еквівалентна потужність

$$P_o = 1,1 \cdot \sqrt{(\Sigma P_e^2 \cdot t / \Sigma t)} =$$

$$= 1,1 \cdot \sqrt{(0,40^2 \cdot 1 + 0,70^2 \cdot 0,30 + 0,50^2 \cdot 10,80 + 0,4^2 \cdot 1,20) / 13,3} = 0,73 \text{ кВт}$$

$P_e < P_{ном}$ , отже двигун вибрано вірно.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

### 3.4.3. Кінематичний розрахунок вузла.

Розглядуваний верстат дозволяє обробляти центровочні отвори наступними свердлами 4x11 - 6x15 мм. Тому для проведення необхідних розрахунків прийемо:  $D_{\min} = 4$  мм та  $D_{\max} = 6$  мм,. В такому випадку швидкості різання будуть  $V_{\min} = 4,5$  м/хв та  $V_{\max} = 14,1$  м/хв. відповідно.

Мінімальна частота обертання свердлильної головки визначаються за формулою [38]:

$$n_{\min} = 1000 \cdot 4,5 / 3,14 \cdot 6 = 238 \text{ об/хв};$$

Максимальна частота обертання головки:

$$n_{\max} = 1000 \cdot 14,3 / 3,14 \cdot 4 = 1125 \text{ об/хв};$$

Діапазон регулювання частот обертання:

$$R_n = n_{\min} / n_{\max} = 1125 / 238 = 4,73.$$

Для визначення числа ступеней частот обертання шпинделя приймаємо  $\varphi = 1,26$ . Тоді:

$$t = 1 + \lg R_n / \lg \varphi = 1 + \lg 4,73 / \lg 1,26 = 6,$$

де  $t$  - число ступенів швидкості різання.

Для переналагодження верстата на інші режими обробки знову д таки будемо використовувати гітару змінних коліс. Врахувавши вище зазначене будемо структурну сітку.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

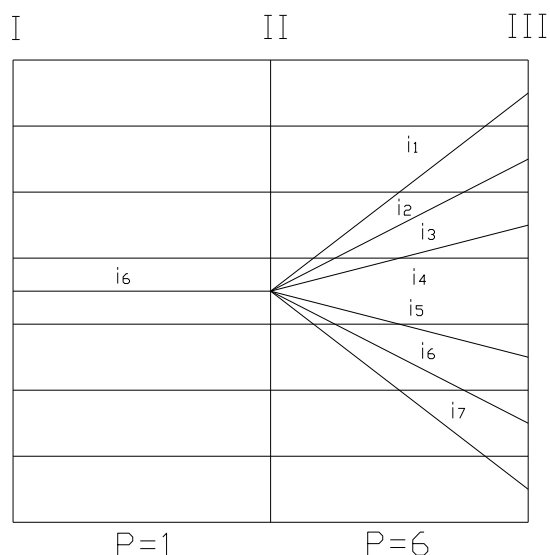


Рисунок 3.22 - Структурна сітка.

Так як сітка симетрична, то кожна пара коліс може використовуватись два рази: як прискорююча і як сповільнююча.

З структурної сітки:

$$i_1; i_2; i_3; i_4; i_5; i_6 = \varphi$$

$$\text{тоді } i_3 = \varphi = 1,26; i_2 = \varphi^2 = 1,58; i_1 = \varphi^3 = 2,0; i_4 = 1/\varphi^2 = 1/1,26;$$

$$i_5 = 1/\varphi^2 = 1/1,58; i_6 = 1/\varphi^3 = 1/2.$$

Вибрані значення передаточних відношень задовольняють умову  $1/4 \leq i \leq 2$ . Приймаєм  $i_0 = 1/\varphi^4 = 1/1,26$ .

Для визначення чисел зубів знаходимо по таблиці таку суму  $Z$ , яка б задовольняла три передаточних відношення:  $i_1(i_6)$ ,  $i_3(i_5)$ ,  $i_3(i_4)$   $\Sigma Z = 108$ .

Для передаточного відношення  $i_0$   $\Sigma Z = 111$ .

Результати вибору чисел зубів коліс зводимо в таблицю:

Таблиця 4.4 - Числа зубів зубчастих коліс.

I	$i_0=1/1,26$	$i_1=2,0$	$i_2=1,58$	$i_3=1,26$	$i_4=1/1,26$	$i_5=1/1,58$	$i_6=1/2$
Z1:Z2	30:84	74:34	62:40	57:51	51:57	42:66	34:74
$\Sigma Z$	111	108	108	108	108	108	108

Отримавши числа зубів зубчастих коліс будуюмо графік чисел обертів

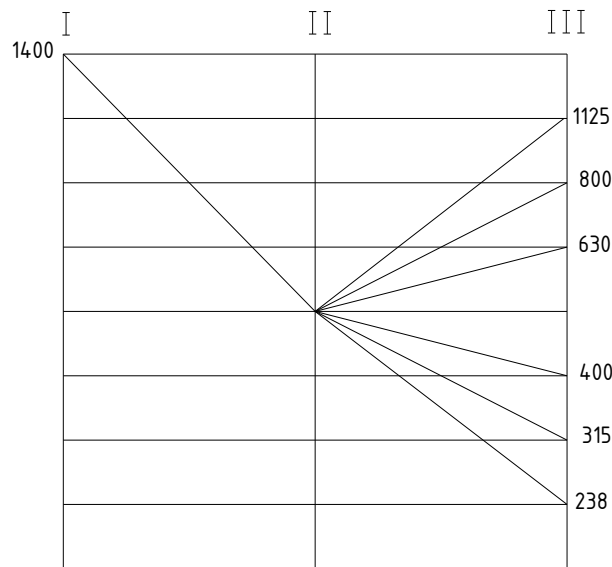


Рисунок 3.23 - Графік чисел обертів.

### 3.4.4. Розрахунок осьової жорсткості шпиндельного вузла свердлильної головки

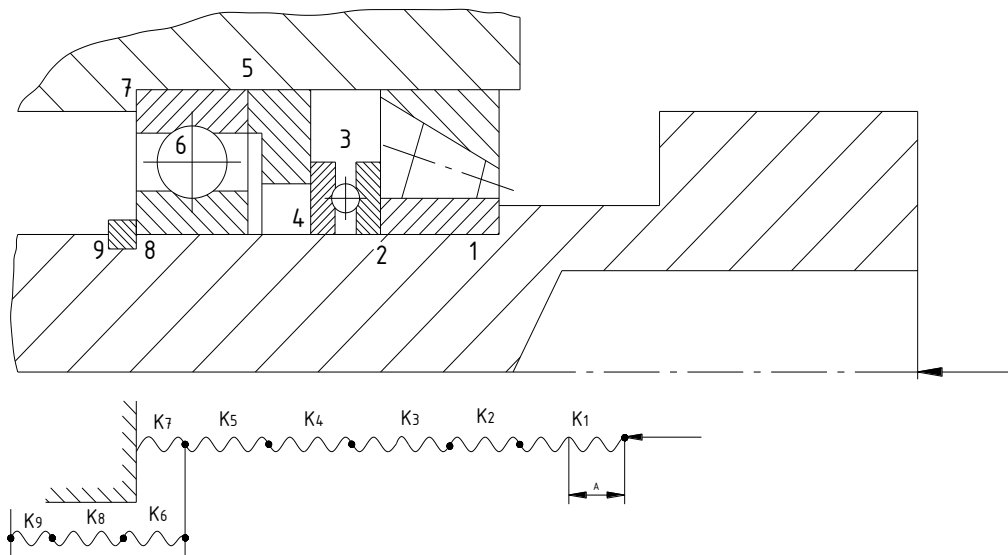


Рис. 3.24 Схема навантаження ШВ

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			93

Проаналізувавши проведену вище схему бачимо, що гілка К<sub>6</sub>, К<sub>8</sub>, К<sub>9</sub> розвантажується, тобто осьове зусилля сприймається гілкою К<sub>1</sub>, К<sub>2</sub>, К<sub>3</sub>, К<sub>5</sub>, К<sub>6</sub>, К<sub>7</sub>.

Осьова деформація шпинделя визначається за формулою:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n P / K_i, \text{ де } P - \text{осьова сила, Н;}$$

$K$  - жорсткість стику;

$N$  - кількість стиків.

Осьова жорсткість шпиндельного вузла

$$K_{\text{ос.ш.}} = P / \Delta = 1 / \sum_{i=1}^n 1 / K_i = 1 / \sum_{i=1}^n e_{K_i}$$

Обчислимо податливість кожного стику. Для плоских нерухомих стиків 1, 2, 4, 5, 7 лінійна податливість:

$$e^{\wedge} = C\delta / (2F^{0.5} \cdot P^{0.5}),$$

де  $C\delta = 1,9 \cdot 10^{-9}$  - для контакту сталь-сталь;

$P$  - осьова сила, Н;  $P = 200,0$  Н;

$P$  - площа контакту, мм<sup>2</sup>.

Площі стиків:  $F_1 = 1500$  мм<sup>2</sup>;  $F_2 = 1688$  мм<sup>2</sup>;  $F_4 = 1394$  мм<sup>2</sup>;  $F_5 = 1825$  мм<sup>2</sup>;  $F_7 = 1320$  мм<sup>2</sup>.

Підставляючи значення в формулу для визначення податливості отримаємо:  $e^{\wedge}_1 = 2,0 \cdot 10^{-6}$ ;  $e^{\wedge}_2 = 1,9 \cdot 10^{-6}$ ;  $e^{\wedge}_4 = 2,1 \cdot 10^{-6}$ ;  $e^{\wedge}_5 = 1,8 \cdot 10^{-6}$ ;  $e^{\wedge}_7 = 2,1 \cdot 10^{-6}$ .

Для підшипника 3 лінійна податливість

$e^{\wedge} = K_y$ , де  $K_y = 1,5 \cdot 10^{-6}$  - коефіцієнт, що враховує контактну податливість упорного підшипника.

Осьова жорсткість ШВ буде становити:

$$K_{\text{ос.ш.}} = 1 / \sum e^{\wedge}_i = 1 / 11,4 \cdot 10^{-6} = 87719 \text{ Н/мкм.}$$

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

## 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Характеристика виробничої дільниці з точки зору охорони праці та заходи по покращенню умов праці.

Загальна характеристика об'єкта та технологічного процесу

Виробнича металообробна дільниця призначена для виконання комплексу робіт із механічної обробки деталей і заготовок. Основними технологічними процесами на дільниці є точіння, фрезерування, свердління, шліфування та слюсарна доводка виробів.

Планування дільниці виконано з урахуванням забезпечення безпечних зон для роботи персоналу, проходів для людей та проїздів для внутрішньоцехового транспорту. Виробничі приміщення розташовані в одноповерховій будівлі другого ступеня вогнестійкості. Стіни приміщення виконані з негорючих матеріалів, що забезпечує належну пожежну стійкість конструкцій.

Підлога на дільниці має рівну, неслизьку поверхню, стійку до механічних навантажень та хімічного впливу мастильних матеріалів і технологічних рідин. Вона виконана з легким ухилом для забезпечення ефективного вологого прибирання та збирання випадкових проливів технологічних речовин.

До складу основного технологічного обладнання дільниці входять токарно-гвинторізні, вертикально-фрезерні, радіально-свердлильні та плоскошліфувальні верстати, а також обладнані слюсарні верстаки. Кожна одиниця обладнання встановлена на індивідуальний фундамент або віброізолюючі опори, що запобігає поширенню структурного шуму та вібрацій по будівлі.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>						
<i>Розроб.</i>		<i>Данилюк В.</i>			<b>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</b>					
<i>Розроб.</i>		<i>Лукашук І</i>						<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник В.</i>							95	14
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.</i>						<i>ТНТУ, МВс-41 м.Тернопіль</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.</i>								

Розміщення верстатів та слюсарних робочих місць відповідає послідовності технологічних операцій. Це виключає виникнення зустрічних або перехресних потоків заготовок і готової продукції, які могли б створити додаткову небезпеку для працівників дільниці.

#### Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

У процесі експлуатації металообробного обладнання на персонал діє комплекс факторів, які за певних умов можуть призвести до травмування або розвитку професійних захворювань.

#### Рухомі елементи та механічна небезпека

Найбільшу пряму загрозу становлять обертові та рухомі частини верстатів: шпинделі, затискні патрони, фрези, ходові гвинти та абразивні круги. Небезпека полягає у ризику захоплення одягу, волосся або затягування кінцівок працівника в зону обробки. Особливу увагу привертають відкриті ділянки приводних механізмів, пасових та зубчастих передач.

#### Відлітаючі частинки та гаряча стружка

Під час різання металу утворюється велика кількість стружки та дрібних уламків інструменту. Зливна або елементна стружка має високу температуру та гострі краї. При швидкому обертанні деталі вона розлітається на значну відстань, що створює ризик важких термічних і механічних пошкоджень шкіри та органів зору верстатника.

#### Пил та аерозолі мастильно-охолоджувальних рідин

Робота шліфувальних та заточувальних верстатів супроводжується виділенням дрібнодисперсного металевого та абразивного пилу. Одночасно з цим, використання мастильно-охолоджувальних рідин у зоні різання під дією високих температур призводить до утворення стійких аерозолів та масляного туману. Потрапляючи в органи дихання, ці речовини викликають подразнення слизових оболонок та хронічні захворювання дихальних шляхів.

#### Шум та вібрація

Основними джерелами шуму є робота електродвигунів, коробок швидкостей, дисбаланс обертових частин верстатів та безпосередній контакт

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різального інструменту з металом. Постійний підвищений рівень шуму викликає втому слухового апарату, знижує концентрацію уваги та веде до загального перевтомлення. Локальна вібрація від органів керування верстатами (важелів, маховиків) негативно впливає на нервово-судинну систему рук.

#### Електробезпека

Все металообробне обладнання живиться від промислової електричної мережі. Небезпека ураження електричним струмом виникає при пошкодженні ізоляції струмопровідних частин, пробої на металевий корпус верстата або неелектричні конструкції під дією вологи, масел чи механічного зносу.

#### Параметри мікроклімату та освітлення

Невідповідність температури, вологості чи швидкості руху повітря нормативним вимогам призводить до переохолодження або перегріву організму працюючих. Недостатнє, нерівномірне або надто пульсуюче освітлення робочих зон викликає зорове напруження, заважає чітко бачити рухомі деталі та значно підвищує ймовірність помилкових дій і травматизму.

#### Психофізіологічні фактори

Робота на металообробній дільниці пов'язана з тривалим перебуванням працівників у положенні стоячи, що створює статичне навантаження на опорно-руховий апарат. Підняття та переміщення важких заготовок вручну викликає фізичне перенапруження. Повторюваність однотипних операцій призводить до монотонності праці та зниження пильності в кінці робочої зміни.

#### Санітарно-гігієнічні вимоги до умов праці

Для запобігання негативному впливу шкідливих факторів, робоче середовище на дільниці організовується відповідно до чинних санітарних норм та гігієнічних класифікацій праці України.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

## Мікроклімат

За показниками важкості праці роботи на дільниці відносяться до категорії середньої важкості. Робота виконується стоячи і вимагає постійної ходьби та перенесення помірних вантажів.

- У холодний період року в приміщенні підтримується стабільна температура повітря, яка запобігає переохолодженню рук станочників при контакті з металом. Обмежується швидкість руху повітря для уникнення протягів.

- У теплий період року забезпечується відведення надлишкового тепла від робочого обладнання, підтримується оптимальний рівень відносної вологості повітря для створення комфортних умов життєдіяльності.

## Стан повітряного середовища

Повітря робочої зони повинно залишатися чистим від шкідливих домішок. Вміст металевих пилю, елементів абразивів та масляного туману суворо контролюється. Концентрація цих речовин у приміщенні не повинна перевищувати встановлених державних санітарних лімітів для запобігання токсичного чи фіброгенного впливу на організм персоналу.

## Акустичний режим та захист від вібрації

Рівні звукового тиску на робочих місцях не повинні перевищувати санітарних норм для виробничих приміщень. Параметри загальної вібрації, яка передається через підлогу, та локальної вібрації на рукоятках верстатів підтримуються в межах, що виключають виникнення професійної вібраційної патології.

## Штучне та природне освітлення

Механічна обробка металів вимагає високої точності зорового сприйняття. На дільниці реалізується система комбінованого штучного освітлення, де загальні стельові світильники доповнюються індивідуальними лампами місцевого освітлення на кожному верстаті.

Світловий потік спрямовується так, щоб не створювати прямого чи відбитого блиску в очах працівника і не утворювати глибоких тіней у зоні

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

різання. Особлива увага приділяється виключенню стробоскопічного ефекту, при якому обертові деталі верстата можуть здаватися нерухомими.

#### Технічні заходи та засоби забезпечення безпеки

Технічний захист працівників є пріоритетним напрямком і реалізується безпосередньо через конструктивні особливості обладнання та інженерні системи дільниці.

#### Колективний захист та безпека обладнання

- **Захисні кожухи та екрани:** Усі зони обробки, де існує ризик вильоту стружки або руйнування інструменту, закриваються міцними захисними пристроями. Патрони токарних верстатів обладнуються відкидними екранами з прозорого матеріалу високої міцності.

- **Системи блокування:** Захисні екрани та кожухи інтегруються в електричну схему керування верстатом. При відкритому або піднятому захисному пристрої запуск робочого шпинделя стає неможливим, а під час роботи верстата відкриття кожуха призводить до його негайної автоматичної зупинки.

- **Органи керування:** Кнопки, важелі та маховики пуску обладнання проектується так, щоб унеможливити їх випадкове або самовільне ввімкнення під дією вібрації чи випадкового дотику. Кнопки екстреної зупинки мають збільшений розмір, червоний колір та встановлюються у зонах швидкого доступу на кожному верстаті.

#### Електробезпека

Приміщення металообробної дільниці характеризується підвищеною небезпекою ураження струмом через наявність металевого пилю та провідної підлоги. Для захисту персоналу впроваджуються такі заходи:

- Застосування сучасної п'ятипровідної системи електропостачання з роздільними нульовими робочими та захисними провідниками.

- Виконання надійного захисного заземлення всіх металевих частин верстатів, корпусів щитів керування, які в нормальному стані не перебувають під напругою.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

- Встановлення пристроїв захисного вимкнення та диференційних автоматів високої чутливості на лініях живлення розеткових груп та ручного електроінструменту. Ці пристрої миттєво знеструмлюють мережу у разі виникнення струму витоку на корпус або при прямому дотику людини до струмопровідних елементів.

- Регулярний інструментальний контроль стану ізоляції кабелів та перевірка цілісності контуру заземлення.

#### Вентиляція та пиловловлювання

Для підтримання належної якості повітря приміщення обладнується припливно-витяжною вентиляцією з механічним спонуканням. Вона забезпечує постійний обмін повітря, видаляючи забруднення та подаючи свіже очищене повітря в робочу зону.

Окрім загальної вентиляції, заточувальні та шліфувальні верстати забезпечуються місцевими відсосами. Локальні пиловловлюючі агрегати забирають забруднене повітря безпосередньо з місця утворення абразивного пилу, очищують його за допомогою фільтрів і запобігають його поширенню по всьому об'єму дільниці.

#### Заходи зниження шуму та вібрації

Для зменшення шумового та вібраційного навантаження впроваджуються такі інженерні рішення:

- Встановлення обладнання на пружні амортизуючі опори, які поглинають динамічні коливання під час роботи верстатів.
- Своєчасний технічний огляд, змащування та регулювання зубчастих передач і підшипникових вузлів для зниження механічних звуків.
- Нанесення звукопоглинальних матеріалів на внутрішні поверхні захисних кожухів обладнання.
- Облицювання стін та стелі приміщення матеріалами з високим коефіцієнтом звукопоглинання.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

## Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Засоби індивідуального захисту застосовуються як обов'язковий додатковий захід, коли можливості колективного чи конструктивного захисту не дозволяють повністю виключити вплив небезпечних факторів.

- **Спецодяг:** Працівники забезпечуються костюмами з щільної тканини. Рукави та поли костюма повинні щільно прилягати до тіла, а всі гудзики мають бути застебнуті, щоб виключити ризик захоплення одягу обертовими частинами верстата. Обов'язковим є використання головних уборів для захисту волосся.

- **Спецвзуття:** Для захисту ніг від травмування гострою стружкою або при випадковому падінні важких деталей, інструменту чи заготовок використовуються шкіряні черевики з міцною підошвою та металевими захисними підносками.

- **Захист органів зору та обличчя:** Під час виконання операцій, що супроводжуються утворенням стружки або пилу, працівники зобов'язані використовувати захисні окуляри закритого типу з міцними лінзами або прозорі захисні щитки.

- **Захист органів слуху:** При використанні шумних режимів обробки металу персоналу видаються протишумові вкладиші (беруші) або навушники, які знижують рівень звукового тиску до безпечних значень.

- **Обмеження щодо рукавиць:** Під час безпосередньої роботи на токарних, фрезерних та свердлильних верстатах категорично забороняється використання текстильних чи шкіряних рукавиць. Це пов'язано з високим ризиком зачеплення тканини рухомим інструментом, що може призвести до важкого травмування рук. Захисні рукавички дозволяється використовувати лише під час слюсарних, вантажно-розвантажувальних робіт або при прибиранні стружки гачками.

Пожежна безпека

Приміщення дільниці за характером технологічного процесу відноситься до категорій з низькою пожежною небезпекою, оскільки метал обробляється у

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

холодному стані. Проте наявність мастил, гідравлічних рідин, обтиральних матеріалів та електричного обладнання вимагає суворого дотримання протипожежного режиму.

#### Первинні засоби пожежогасіння

Дільниця забезпечується первинними засобами пожежогасіння у необхідній кількості. На території встановлюються пожежні щити, укомплектовані порошковими вогнегасниками для універсального застосування та вуглекислотними вогнегасниками, які є ефективними для гасіння пожеж в електроустановках без ризику пошкодження обладнання чи ураження струмом.

#### Системи виявлення та оповіщення

У приміщенні монтується автоматична пожежна сигналізація з датчиками, що реагують на появу диму або різке підвищення температури. Сигнал тривоги автоматично передається на пульт пожежної охорони та активує систему оповіщення людей про евакуацію.

#### Евакуаційні шляхи

Шляхи евакуації та виходи утримуються вільними від заготовок, готової продукції чи відходів виробництва. Ширина проходів забезпечує безперешкодний рух людей у разі виникнення надзвичайної ситуації. Двері евакуаційних виходів відкриваються в напрямку виходу з приміщення. На стінах встановлюються світлові покажчики напрямку руху, підключені до системи аварійного живлення.

#### Технічні правила протипожежного режиму

- Використане обтиральне ганчір'я, просочене олією чи розчинниками, негайно збирається у спеціальні металеві ящики з кришками, що щільно закриваються. Наприкінці кожної робочої зміни ці ящики звільняються, що виключає можливість самозаймання матеріалу.
- Пролиті мастильно-охолоджувальні рідини або масла негайно засипаються піском або сорбентом, після чого збираються та видаляються з приміщення.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

- Проведення вогневих робіт (зварювання, різання) на території дільниці допускається лише за спеціальним нарядом-допуском після виконання всіх підготовчих безпекових заходів.

#### Організаційні заходи

Ефективність технічних засобів безпеки безпосередньо залежить від правильної організації праці та високої дисципліни персоналу.

- **Навчання та інструктажі:** Усі працівники дільниці допускаються до самостійної роботи лише після проходження вступного інструктажу, первинного інструктажу безпосередньо на робочому місці, стажування та успішної перевірки знань з питань охорони праці. Оскільки дільниця належить до об'єктів з підвищеною небезпекою, повторні інструктажі проводяться з періодичністю не рідше одного разу на три місяці.

- **Медичні огляди:** Персонал дільниці проходить обов'язкові періодичні медичні огляди. Це дозволяє вчасно виявляти початкові ознаки професійних захворювань та визначати відповідність стану здоров'я працівника специфіці його праці.

- **Режим праці та відпочинку:** Графік роботи передбачає регламентовані перерви протягом зміни для зниження втоми, відновлення працездатності та профілактики психофізіологічних навантажень. Робота в понадурочний час обмежується відповідно до законодавства про працю.

- **Контроль та відповідальність:** Керівництво дільниці здійснює щоденний контроль за станом обладнання, справністю захисних пристроїв та правильним використанням засобів індивідуального захисту. Працівники, які порушують правила безпеки, усуваються від роботи та притягуються до відповідальності.

Комплексне поєднання технічних засобів (блокування екранів, ефективне освітлення, місцеве пиловловлювання) та чітких організаційних заходів (регулярні інструктажі, контроль протипожежного режиму) забезпечує створення оптимальних та безпечних умов праці на виробничій

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

металообробній дільниці, повністю мінімізує ризики виробничого травматизму і відповідає сучасним вимогам законодавства України у сфері охорони праці.

## 4.2 Розрахунок освітлення

Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях для компенсації нестачі природного світла та для освітлення приміщення в темний період доби. Від того, наскільки кваліфіковано воно спроектовано залежить безпека праці та самопочуття працівників, продуктивність їхньої праці та якість продукції. Відомо, що раціонально виконане штучне освітлення приміщень при одній і тій же витраті електроенергії підвищує продуктивність праці на 15-20%. Разом з тим неправильно вибране та недостатнє освітлення робочих місць може бути причиною функціональних зорових порушень у працівників.

Найчастіше для освітлення виробничих та адміністративних приміщень використовують люмінесцентні лампи, які енергетично є більш економнішими. Окрім того, вони за спектральними характеристиками максимально наближаються до природного світла, що важливо при використанні суміщеного освітлення.

Штучне освітлення приміщення, в якому виконуються роботи високої точності розряду Шв відповідно до таблиці 2.10 [9, 11], становить 300лк. Як світлові пристрої приймаємо світильники ЩОД (з чотирма лампами), які доцільно використовувати в даному випадку. Оскільки світильники кріпляться до стелі, то їх висота над підлогою майже рівна висоті приміщення  $h = 3,5$  м, що не суперечить вимогам СНиП II-4-79, відповідно до яких  $h_{\min} = 2,6-4$ м, коли в світильнику менше 4-ох ламп, і  $h_{\min} = 3,2-4,5$ м – при 4-ох і більше лампах.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

Площа ділянки визначена в пункті 3.1. даного дипломного проекту відповідно до корисної площі, що займають верстати і допоміжної площі. Отже площа ділянки становить 35 кв.м.

Визначимо висоту світильника над робочою поверхнею:

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

$$h = 3,5 - 1,1 = 2,4 \text{ (м)}$$

Показник приміщення ( $i$ ) становить

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

$$i = \frac{7 \cdot 5}{2,4 \cdot (7 + 5)} = 1,21$$

де,  $a$  і  $b$  – довжина і ширина приміщення, м;

$$a = 7 \text{ м;}$$

$$b = 5 \text{ м;}$$

$h$  - висота світильника над робочою поверхнею, м.

Згідно таблиці 2.7 [9, 11] приймаємо  $i=1,25$ . При  $i= 1,25$ ,  $\rho_{стел}=70\%$ ,  $\rho_{стін} = 50\%$  для світильника ЩОД коефіцієнт використання дорівнює  $\eta = 0,46$ , [9, 11] табл.2.8.

Визначаємо необхідну кількість світильників ( $N$ ), для забезпечення необхідної нормованої освітленості робочих поверхонь, якщо відомо, що в кожному світильнику встановлено по чотири лампи ДРЛ-80, світловий потік однієї такої лампи становить  $\Phi_l = 3200$  лм, потужність 125 Вт таблиця 2.6, [9, 11].

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot \Phi_l \cdot \eta} \quad (4.3)$$

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

де,  $E$  – нормована освітленість, лк; [9, 11] С.139. таблиці 2.10  $E = 300$  лк;

$S$  – площа приміщення, що освітлюється, м<sup>2</sup>;  $S = 36$  м<sup>2</sup>;

$K_z$  – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;  $K_z = 1,5$ ; [9, 11] таблиця А6.

$Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення;  $Z = 1,1$ ; [13], С.138.

$\Phi_l$  – світловий потік,  $\Phi_l = 3200$  лм; таблиця 2.6, [12].

$\eta$  – коефіцієнт використання;  $\eta = 0,46$ .

$$N = \frac{300 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{4 \cdot 3200 \cdot 0,46} = 3,03$$

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 нього, то загальна довжина усіх світильників ( $\sum L_{CB}$ ) у ряді становить:

$$\sum L_{CB} = l \cdot n \quad (4.4)$$

де,  $l$  – довжина люмінесцентної лампи, м;  $l = 1,2$  м;

$n$  – кількість ламп, шт.;  $n = 2$  шт.

$$\sum L_{CB} = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ м}$$

Визначимо сумарну електричну потужність ( $\sum P_{CB}$ ) усіх світильників, встановлених в приміщенні визначаємо за формулою:

$$\sum P_{CB} = P_l \cdot N \cdot n \quad (4.5)$$

$$\sum P_{CB} = 80 \cdot 4 \cdot 4 = 1280 \text{ Вт}$$

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

Схема визначення підвісу світильників вказана на рис.4.1

Схема розташування світильників на ділянці вказана на рис.4.2.

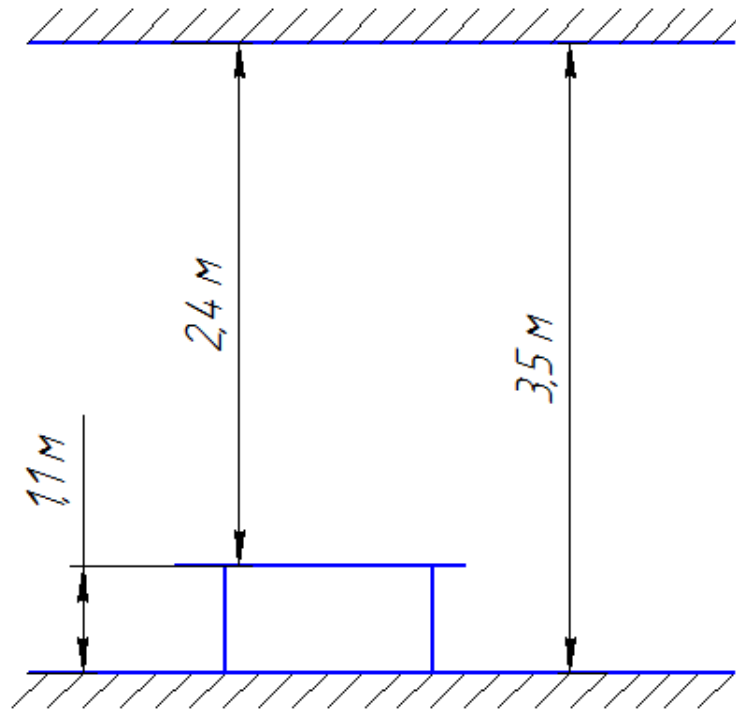


Рисунок 4.1 - Схема визначення підвісу світильників

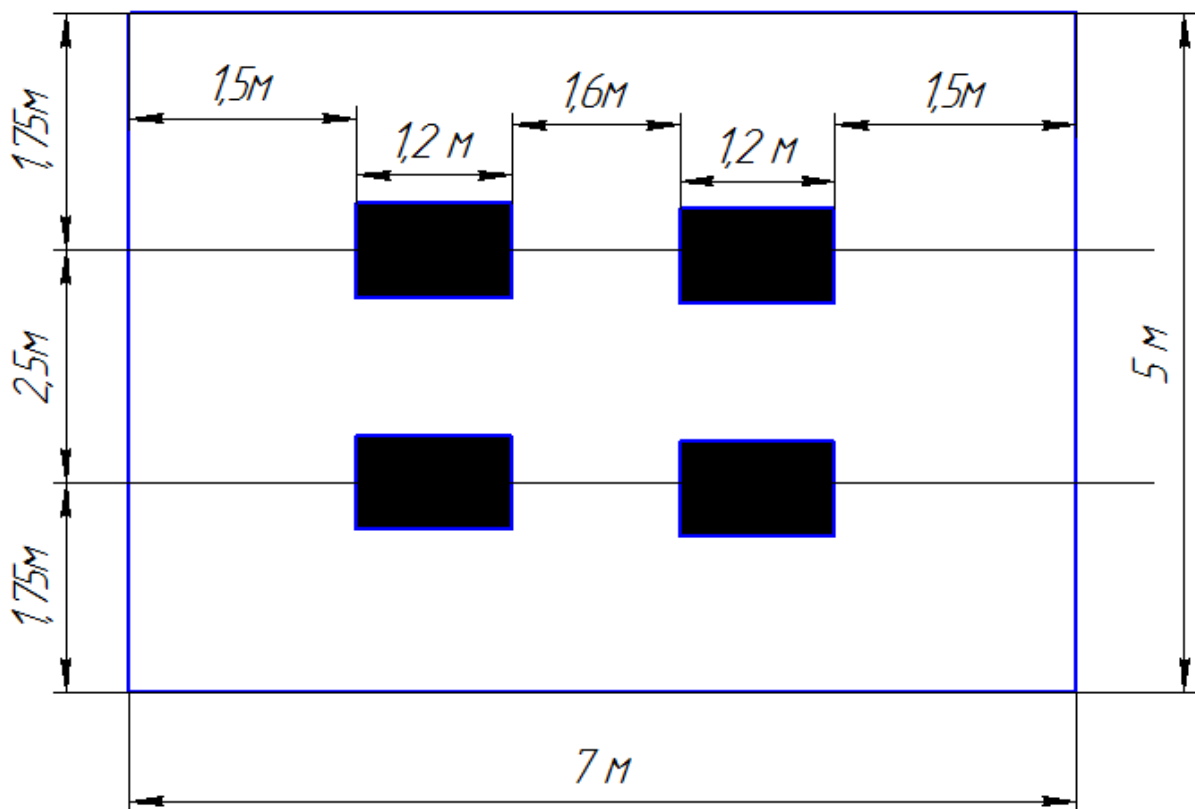


Рисунок 4.2 - Схема розташування світильників

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

### **Висновок до розділу.**

У розділі охорона праці подано вимоги щодо дотримання вимог охорони праці, виробничої безпеки та пожежної безпеки. Описано влаштування дільниці з точки зору охорони праці, освітлення, вентиляції, мікроклімату робочої зони, температури повітря. Вказано вимоги до виробничого обладнання.

Здійснено розрахунок освітлення для виробничої дільниці. Для забезпечення відповідного рівня освітленості спроектовано схеми розміщення світильників та їх підвісу. Кількість світильників для дільниці – 4 одиниці, тип ламп в них - ДРЛ-80.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено комплексне інженерне завдання з розробки технологічного процесу виготовлення деталі «Вихідний вал мотор-редуктора», а також здійснено проектування спеціальних вузлів - фрезерної та свердлильної головок для фрезерно-центрувального верстата. За результатами виконання роботи можна сформулювати наступні основні висновки:

1. На основі детального аналізу службового призначення об'єкта виробництва та технічних умов на його виготовлення розроблено раціональну технологічну схему складання вузла. Це дозволило чітко визначити послідовність складальних етапів та забезпечити виконання заданих експлуатаційних вимог до готового виробу.

2. У технологічній частині спроектовано вискоелективний маршрутний та операційний технологічний процес механічної обробки вала мотор-редуктора. На основі розрахунків визначено тип виробництва та розмір партії деталей, економічно та технічно обґрунтовано вибір оптимального методу одержання заготовки. Проведено розрахунки міжопераційних припусків, проміжних розмірів, режимів різання та технічних норм часу. Здійснено обґрунтований вибір технологічного обладнання, різального і контрольовано-вимірювального інструменту. Крім того, розроблено конструкцію верстатного пристосування, для якого обрано схему базування, розраховано похибку базування та зусилля затиску, що гарантує надійність фіксації та задану точність обробки деталі.

3. У конструкторській частині на основі аналізу схем формоутворення та вибору комплексу рухів розроблено загальну структурно-кінематичну схему фрезерно-центрувального верстата. Здійснено глибоке проектування двох ключових вузлів - фрезерної та свердлильної головок. Для

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Загальні висновки	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Данилюк В.					109	1
Розроб.		Лукашук І				ТНТУ, МВс-41		
Перевір.		Кобельник В.				м. Тернопіль		
Н. Контр.		Кобельник В.						
Затверд.		Крупа В.						

обох вузлів виконано вибір електродвигунів та кінематичні розрахунки. У процесі конструювання фрезерної головки визначено конструктивні й геометричні характеристики шпиндельного вузла (ШВ), розраховано оптимальну міжопорну відстань, радіальну жорсткість ШВ, а також параметри напрямних, що забезпечує необхідний модуль точності. Для свердлильної головки проведено розрахунок осьової жорсткості шпиндельного вузла, що підтверджує здатність вузла витримувати розрахункові робочі навантаження.

4. Проведено аналіз виробничої ділянки з точки зору безпеки життєдіяльності та охорони праці. Розроблено комплекс заходів щодо покращення умов праці персоналу та мінімізації впливу шкідливих виробничих факторів. Виконаний розрахунок основного показника з техніки безпеки засвідчив повну відповідність спроектованого технологічного процесу та обладнання чинним нормам і стандартам безпеки.

Загалом, прийняті у кваліфікаційній роботі технологічні та конструкторські рішення є логічно взаємопов'язаними, технічно обґрунтованими і можуть бути успішно впроваджені у виробництво.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кваліфікаційна робота бакалавра: структура, вимоги до виконання та захист. Методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування галузі знань 13 Механічна інженерія для здобувачів всіх форм здобуття освіти / уклад.: Р. А. Склярів, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Р. Я. Лещук, А. А. Сенік, В. В. Шанайда, А. В. Гагалюк, В. М. Буховець. – Тернопіль : ТНТУ, 2025. 78 с.
2. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок.: Львів: Світ, 1996. 368 с.
3. Бочков В. М., Сілін Р. І., Гаврильченко О. В. Металорізальні верстати : навч. посіб.: Львів Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. 268 с.
4. Бочков В.М., Сілін Р.І.,Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: підручник. Львів: Бескд Бі, 2008. 448 с.
5. Гейчук В.М. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor (Частина I): навч. посіб. Навчальне мережне електронне видання. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 394 с.
6. Данильченко Ю.М., Шевченко О.В., Ковальов В.А., Волошин В.Н. Металообробне обладнання. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів: навч. посіб.: К.: НТУУ «КПІ», 2007. 60 с.
7. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці: навчальний посібник.: Львів: Афіша, 2000. 350 с.
8. Залога В. О. Розрахунок режимів різання при точінні, свердлінні, фрезеруванні : навчальний посібник. Київ : ІСІ, 1994. 176 с.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Перелік посилань					
Розроб.		Данилюк В.						Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Лукашук І							110	6
Перевір.		Кобельник В.						ТНТУ, МВс-41 м.Тернопіль		
Н. Контр.		Кобельник В.								
Затверд.		Крупа В.								

9. Запорожець О. І., Протосрейський О. С., Франчук Г. М., Боровик І. М. Основи охорони праці : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 264 с.
10. Кальченко В. І., Кологойда А. В., О. С. Следнікова. Розрахунок та конструювання коробок швидкостей металорізальних верстатів. Методичні вказівки до виконання практичних та розрахунково-графічної робіт : Чернігів: ЧНТУ, 2016. 111 с.
11. V. Krupa et al. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952>.
12. Brailo, M. V., Buketov, A. V., Kobelnyk, O. S., Yakushchenko, S. V., Sapronova, A. V., Sapronov, O. O., & Vasilenko, A. O. (2018). Оптимізація вмісту добавок у епокси-поліефірному зв'язувачі для підвищення когезійної міцності композитів. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(11), 71-77. <https://doi.org/10.15421/40281114>
13. Кобельник В. Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. Тернопіль : [б. в.], 2013. 21 с.с
14. Кобельник В.Р, Кривий П.Д. Жорсткість вертикально-свердлильних верстатів. *Вісник ЖДТУ. Технічні науки.* : Житомир : ЖДТУ, 2007. Вип. № 1 (40). С. 34–40.
15. Кобельник В.Р, Кривий П.Д. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118. *Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць.* : Житомир : ЖДТУ, 2010. Вип. 8. С. 99–108.
16. Кобельник В.Р, Крупа В.В., Тимошенко Н.М. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів. *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї : наука : виробництво: тези допов.* : Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

17. Кобельник В.Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем* : зб. наук. праць.: Краматорськ, 2012. – Вип. № 31. С. 47–56.

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

19. Кобельник О.С. Оліховський В.І., Кобельник В.Р. Пристрій для забезпечення зміни подачі при свердлінні наскрізних отворів. Матеріали XIV Міжнародна науково-практична конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (11–12 грудня 2025 р.). Тернопіль: ТНТУ, 2025. С. 278 – 279.

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

21. Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М.І. Про характер зміни подачі при виході інструменту із тіла заготовки в процесі свердління наскрізних отворів. *Вісник ТНТУ : Науковий журнал.*: Тернопіль : ТНТУ, 2012. № 4 (68). С. 114–127.

22. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу свердління наскрізних отворів. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем* : зб. наук. праць. : Краматорськ, 2011. Вип. № 28. С. 77–85.

23. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем* : зб. наук. праць.: Краматорськ, Київ, 2006. Вип. № 19. С. 58–64.

24. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення зменшення задирок при наскрізному свердлінні. *Всеукраїнська*

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих : прогресивні ідеї – наука – виробництво, 22 – 25 жовтня 2012 р. : тези допов. : К. : КПІ, 2012. Том 1. С. 71–73.

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

26. 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.

27. Кривий П.Д., Тимошенко Н.М., Дзюра В.О., Кобельник В.Р. Уточнений метод апріорно-емпіричних функцій визначення закону розподілу та його характеристик на основі малої вибірки. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року.*: ТНТУ, 2020. С. 132–133.

28. 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>.

29. Крупа В.В., Кобельник В.Р. Призначення режимів різання при точінні табличним методом : Навчальний посібник - практикум. Тернопіль : ФОП ПАЛЯНИЦЯ, 2025. 144 с.

30. Розточувальні інструменти з попарно-асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких циліндричних отворів П. Д. Кривий, В. Р.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		113

Кобельник, В. В. Крупа, В. Г. Яковлєв. Технічні науки та технології. 2016. № 2 (4). С. 28-35.

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

32. Кухарський О. М., Кушак І. В. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з предмету: «Технологія машинобудування». Тернопіль, 2001. 280 с.

33. Кухарський О.М., Кузьмін М.І. Визначення припусків табличним методом.: Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.

34. Мазур М. П. та ін. Основи теорії різання матеріалів. Львів : Новий Світ–2000, 2010.

35. Мархель І. І. Деталі машин : навчальний посібник. Київ : Алерта, 2005. 368 с.

36. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: «Вища школа», 1993. 560 с.

37. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки: навчальний посібник.: Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

38. Паливода Ю.Є., Кухарський О.М. Визначення припусків розрахунково аналітичним методом: Тернопіль, 2003. 81 с.

39. Розрахунок та конструювання коробок швидкостей металорізальних верстатів. Методичні вказівки до виконання практичних та розрахунково-графічної робіт : Чернігів: ЧНТУ, 2016. 111 с.

40. Senyk A., Kobelnyk V., Gagaliuk A., Plavutska I., Matviyishyn A., Larochnik A., Dubyniak T. New technology for the manufacturing and use of rolling kingpin bushings in the undercarriage of certain vehicles. Procedia Structural Integrity. 2024. Vol. 59. P. 508–515.

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
						114
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

41. Senyk A., Kovalov V., Klymenko G., Vasylchenko Y., Shapovalov M., Kobelnyk O. Harmonic-dispersion analysis of the shape accuracy of the rolling bushings of drive roller and bushing chains. Procedia Structural Integrity. 2024. Vol. 59. P. 502–507.

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

43. Стискін Г.М. Технологічні основи програмування обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням. Львів: Видавництво “Оріяна Нова”, 2002. 208 с.

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

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		115

# ДОДАТКИ

					КРБ 15-159/23-358.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		116