

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

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**бакалавр**

(назва освітнього ступеня)

на тему Конструювання свердлильної головки фрезерно-центрувального  
верстата для забезпечення технологічного процесу виготовлення  
деталі "Вал КС6Б 31.629"

Виконав: студент 4 курсу, групи МВ-41

напряму підготовки (спеціальності) 133 –

Галузеве машинобудування

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Студент Петрик М.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник Шанайда В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Кобельник В.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Крупа В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)  
Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Володимир КРУПА  
(підпис) (прізвище та ініціали)  
« » січня 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

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

1. Тема роботи Конструювання свердлильної головки фрезерно-центрувального верстата для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі "Вал КС6Б 31.629"

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

Затверджені наказом ректора від «21» січня 2026 року № 4/9-45.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Робоче креслення деталі; базовий технологічний процес виготовлення деталі; паспорти багатоцільових верстатів; складальні креслення основних вузлів верстатів.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)  
Аналітична частина. Аналіз конструкторсько-технологічних особливостей деталі.  
Аналіз базового технологічного процесу механічної обробки деталі.  
Провести аналіз схем налагодження. Обґрунтування раціонального маршруту оброблення деталі. Розрахунок режимів оброблення. Конструкторська частина: Кінематичний розрахунок верстата; конструювання свердлильної головки. Розробити заходи БЖД та основ охорони праці.

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

Оброблювана деталь – 1 арк. ф. А3; Кінематична схема верстата – 1 арк. ф. А1;  
Наладка на фрезерно-центрувальну операцію – 1 арк. ф. А2;  
Конструкція свердлильної головки – 2 арк. ф. А1, Технологічна приспособа – 1 арк. ф. А1;  
Інструментальне забезпечення – 2 арк. ф. А3



## ВСТУП

### Продуктивність і автоматизація операції

Фрезерно-центрувальна операція є однією з перших у технологічному маршруті обробки валів. Вона суміщає фрезерування обох торців заготовки та свердління центрових отворів за один установ, що суттєво скорочує загальний час обробки порівняно з роздільним виконанням цих переходів.

Продуктивність фрезерно-центрувальних верстатів визначається передусім ступенем суміщення переходів і рівнем автоматизації. На верстатах послідовної дії фрезерування і центрування виконуються по черзі, тоді як агрегатні верстати паралельної дії здійснюють обидві операції одночасно з двох боків. Останні забезпечують значно вищу продуктивність і широко застосовуються в умовах серійного та масового виробництва.

Сучасні фрезерно-центрувальні верстати з ЧПК дозволяють автоматично регулювати довжину заготовки, глибину центрування та режими різання. Завантажувально-розвантажувальні пристрої, лоткові подавачі та промислові маніпулятори перетворюють їх на автоматизовані комплекси, здатні працювати в режимі «без оператора». Це особливо актуально під час обробки великих партій однотипних валів в автомобілебудуванні та редукторобудуванні.

Автоматизація операції також охоплює активний контроль довжини заготовки після фрезерування та глибини центрових отворів. Вбудовані вимірювальні системи фіксують відхилення від заданих параметрів і коригують положення інструменту в реальному часі, що підвищує стабільність якості та зменшує відсоток браку.

### Порівняння з альтернативними методами базування

Центрові отвори є найпоширенішою технологічною базою при обробці валів, однак існують і альтернативні методи базування: по зовнішній

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Вступ</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Петрик</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Шанайда</i>						
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа</i>				<i>ТНТУ, ФМТ</i> <i>каф. ВІ, гр. МВ-41</i>		

циліндричній поверхні (у призмах або патроні) та по торцю і отвору (для порожнистих валів).

Базування по центрових отворах має низку суттєвих переваг. По-перше, воно забезпечує незмінну базу протягом усього маршруту — від токарної до шліфувальної операції, що реалізує принцип єдності баз. По-друге, похибка базування за такої схеми мінімальна, оскільки вісь заготовки збігається з віссю обертання верстата. По-третє, центрові отвори допускають багаторазове переустановлення деталі без втрати точності.

Базування в патроні або в призмах застосовується переважно для коротких і жорстких заготовок, де прогин під дією сил різання незначний. Цей метод простіший у підготовці, проте менш точний через похибки форми зовнішньої поверхні. Крім того, при переустановленні деталі виникає похибка взаємного розташування поверхонь, що неприпустимо для точних валів.

Для порожнистих валів інколи використовують базування по внутрішньому отвору на оправці. Цей метод забезпечує добру точність, але потребує попередньої обробки отвору з жорсткими допусками. Загалом, фрезерно-центрувальна підготовка баз залишається найуніверсальнішим і найточнішим рішенням для суцільних валів у серійному виробництві.

#### Місце операції в технологічному маршруті обробки валів

Фрезерно-центрувальна операція, як правило, виконується однією з перших після заготівельних операцій — відрізання прокату або кування. Логіка її розміщення на початку маршруту визначається фундаментальним принципом технології машинобудування: спочатку необхідно підготувати технологічні бази, а вже потім виконувати всі наступні операції з використанням цих баз.

Типовий маршрут обробки ступінчастого вала виглядає так: заготівельна операція → правка (за необхідності) → фрезерно-центрувальна операція → чорнове токарне оброблення → термічна обробка (покращення) → чистове токарне оброблення → шліфування шийок → контроль. Фрезерно-центрувальна операція стоїть безпосередньо перед токарними, забезпечуючи

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надійні бази для подальшого закріплення у центрах токарного верстата.

Особливого значення набуває якість центрування після термічної обробки. Нагрівання та охолодження деталі можуть призводити до деформації центрових отворів. Тому в точних маршрутах передбачають операцію відновлення (зачищення) центрів спеціальними конічними зенкерами або шліфування центрових отворів, що гарантує геометричну точність баз перед фінішним шліфуванням шийок вала.

Таким чином, фрезерно-центрувальна операція є базовою у технологічному процесі: від якості її виконання безпосередньо залежить точність усіх наступних операцій і, зрештою, якість готового виробу в цілому.

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

## АНОТАЦІЯ

Петрик Максим. Конструювання свердлильної головки фрезерно-центрувального верстата для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі "Вал КС6Б 31.629". : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 133 – галузеве машинобудування / наук. кер. В.В. Шанайда. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026. 78 с.

Ключові слова: конструювання, свердління, фрезерно-центрувального верстат, технологічного процес.

Мета роботи: сформувати технологічний маршрут для механічної обробки деталі типу "Вал", виконати аналіз конструктивних особливостей фрезерно – центрувального верстата, охарактеризувати способи налагодження на окремі технологічні операції, виконати конструювання його основних вузлів.

При виконанні кваліфікаційної роботи виконані наступні завдання :

- проведено аналіз деталі на технологічність та обрано раціональну геометрію заготовки для виготовлення деталі;
- розроблено раціональний технологічний маршрут для механічної обробки деталі «Вал КС6Б-31.629» та проведено вибір металообробного обладнання, різального та контрольованого інструменту;
- проведено розрахунок раціональних значень режимів різання;
- сформовано структурно-кінематичну та кінематичну схеми верстату;
- проведено кінематичний та силовий розрахунок приводу головного руху верстату;
- обґрунтовано технічні рішення у відповідності до вимог охорони праці та безпеки життєдіяльності.

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>					
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>						
<i>Розроб.</i>	<i>Петрик</i>				<i>Анотація</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>		
<i>Перевір.</i>	<i>Шанайда</i>					<i>Т</i>	4	2		
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ, ФМТ каф. ВІ, гр. МВ-41</i>				
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник</i>									
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа</i>									

Petryk Maksym. Design of a drilling head for a milling-and-centering machine to support the manufacturing process of the part "Shaft KS6B 31.629". : Thesis for the bachelor's degree of specialty 133 - Industrial machinery engineering / Supervisor V.V. Shanaida. Ternopil : Ivan Puluj Ternopil National Technical University, 2026. 78 p.

Keywords: design, drilling, milling-and-centering machine, manufacturing process.

The purpose of the work: to form a technological route for mechanical processing of a part of the "Shaft" type, to perform an analysis of the design features of the milling-centering machine, to characterize the methods of adjustment for individual technological operations, to design its main components.

When performing the qualification work, the following tasks were performed:

- the part was analyzed for manufacturability and the rational geometry of the workpiece for manufacturing the part was selected;
- a rational technological route was developed for mechanical processing of the part "Shaft KS6B-31.629" and the selection of metalworking equipment, cutting and control and measuring tools was carried out;
- the calculation of rational values of cutting modes was carried out;
- the structural-kinematic and kinematic schemes of the machine were formed;
- the kinematic and force calculation of the drive of the main movement of the machine was carried out;
- technical solutions were substantiated in accordance with the requirements of labor protection and life safety.

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						5
<i>З.м.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

# З М І С Т

стор.

	Вступ	8
1.	АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1	Конструктивно-технологічний аналіз деталі-представника	11
1.1.1	Функціональне призначення деталі	11
1.2	Оцінювання технологічності конструкції	11
1.3	Обґрунтування вибору заготовки	15
1.4	Характеристика процесів механічної обробки при виконанні фрезерно-центрувальних операцій	19
1.5	Висновки по розділу	23
2.	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	24
2.1	Формування та обґрунтування раціонального технологічного маршруту обробки деталі	24
2.2	Обґрунтування та вибір металообробного обладнання	30
2.3	Розрахунок режимів різання та вибір електродвигуна	32
2.4	Висновки за технологічним розділом	39
3	КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	40
3.1	Формування структурно – кінематичної схеми верстата	40
3.2	Формування графіка чисел обертів та кінематичної схеми	42
3.3	Конструкція та розрахунок виконавчого механізму верстата	46
3.3.1	Опис конструкції і принципу роботи вузла	46
3.3.2	Загальний силовий розрахунок	47
3.3.3	Розрахунок затискного пристрою	54
3.4	Опис конструкції та принципу роботи пристосування	57

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	<i>Петрик</i>				<b>Зміст</b>	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>	<i>Шанайда</i>						6	2
<i>Рецензент</i>						<i>ТНТУ, ФМТ</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник</i>					<i>каф. ВІ, гр. МВ-41</i>		
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа</i>							

4	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	59
4.1	Психологічні чинники небезпеки	59
4.2	Аналіз потенційних небезпек верстату чи обладнання. Заходи щодо їх зниження	62
	Висновки	67
	Перелік посилань	68
	Додатки	72

# 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Конструктивно-технологічний аналіз деталі-представника

### 1.1.1. Функціональне призначення деталі

Деталь під назвою «Вал» (позначення КС6Б-31.629) виготовляють із легованої сталі 40Х згідно з ДСТУ 7806:2015. Вихідним матеріалом слугує гарячекатаний прокат діаметром 45 мм. На кресленні [1] деталі проставлено всі необхідні лінійні та радіальні розміри, а також параметри шорсткості, які варіюються від Ra 1,6 до Rz 40. Поверхні, які не підлягають механічній обробці, мають шорсткість Rz 40.

Сфера застосування вала - привод вкопуючого коренезабірника, який входить до складу коренезбиральної машини КС6Б. Конструктивно [2] деталь виконує такі функції: дві ділянки діаметром  $\varnothing 30h8(-0,033)$  призначені для фіксації напівмуфт; різьбова частина  $M36 \times 1,5-8g$  забезпечує встановлення регулювальної втулки муфти; шліцева ділянка передає крутний момент на ведучу зірочку коренезабірника.

Відповідно до класифікатора ЄСКД (ДСТУ ГОСТ 2.104:2006), ця деталь належить до 71-го класу «тіла обертання», куди входять кільця, диски, шківни, блоки, стрижні, втулки, склянки, колонки, вали, осі, штоки, шпинделі тощо. У межах цього класу всі вироби розподіляються на три діапазони за співвідношенням довжини L до найбільшого зовнішнього діаметра D. Для нашого випадку  $L = 315$  мм,  $D = 45$  мм, отже  $L/D = 7$ , що перевищує 2, тому деталь ідентифікується як вал.

## 1.2. Оцінювання технологічності конструкції

Метою аналізу є пошук резервів [3] для зниження трудомісткості та витрати металу, а також визначення можливості застосування високопродуктивних методів обробки. Використовуються два підходи: якісний і кількісний.

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Аналітична частина</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Петрик</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Шанайда</i>						
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа</i>				<i>ТНТУ, ФМТ каф. ВІ, гр. МВ-41</i>		

### *Якісний аналіз технологічності*

Конструкція вала є відносно простою і не потребує змін навіть у разі переходу до іншого типу виробництва [2, 3]. Матеріал (сталь 40Х) повністю відповідає експлуатаційним вимогам до деталі. Отримання заготовки з каліброваного прокату — раціональне рішення з огляду на тип виробництва, марку сталі, конструктивні особливості та економічну доцільність.

У конструкції передбачені зручні технологічні бази: центрові отвори, зовнішні циліндричні та торцеві поверхні. Точні поверхні ( $\varnothing 40e8$ ,  $\varnothing 35h8(-0,033)$ ) оброблювані, важкодоступні або складні для обробки елементи відсутні. Контроль усіх поверхонь не викликає ускладнень.

Вал має недостатню жорсткість через співвідношення  $L/d = 7$ . Проте це не перешкоджає використанню високопродуктивного спеціалізованого обладнання та оснащення. Отже, за якісними ознаками деталь визнається технологічною [5].

### *Кількісна оцінка технологічності*

Згідно з ДСТУ 14.205-13, кількісними показниками технологічності можуть бути: трудомісткість, технологічна собівартість, точність обробки, шорсткість, коефіцієнт використання матеріалу, коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів. Порівняльну оцінку за трудомісткістю та собівартістю можна зробити лише після розроблення нормованого техпроцесу. Аналіз коефіцієнта використання матеріалу порводять після вибору способу отримання заготовки та розрахунку припусків. Тому на цьому етапі проектування застосовують лише три критерії: коефіцієнт точності, коефіцієнт шорсткості та коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів.

Для розрахунків складено зведену таблицю 1, де наведено всі поверхні деталі з їхніми параметрами.

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

Таблиця 1 – Кількісні показники технологічності

Назва поверхні/ Позначення	Кіл-ть поверхонь	Кіл-ть уніфікованих поверхонь	Квал-т точності	Параметр шорсткості по ГОСТ 2789-73
1	2	3	4	5
Торці в розмір 315h14	2	2	14	Rz 40
Фаска зовнішня 2×45°	5	5	14	Rz 40
Поверхня циліндрична зовнішня ∅ 30h8 (-0,033),	2	2	8	Ra 1,25
Паз шпонковий 8P9 <sup>(-0.015)</sup> <sub>(-0.051)</sub> мм, l=36мм, Rz 40	1	1	9	Rz 40
Паз шпонковий 8P9 <sup>(-0.015)</sup> <sub>(-0.051)</sub> мм, l=40мм, Rz 40	1	1	9	Rz 40
Канавка 4,7H14	1	-	14	Rz 40
Поверхня торцева 175h14	1	1	14	Rz 40
Поверхня циліндрична зовнішня ∅ 40e8	1	1	8	Ra 2,5
Канавка -10H14	1	-	14	Rz 40
поверхня різьбова M36×1,5-8g	1	1	11	Rz 40



Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів.

$$K_{y.e.} = \frac{N_{y.e.}}{N_e} = \frac{24}{26} = 0,92,$$

де:  $N_{y.e.}$  – кількість уніфікованих типорозмірів та конструктивних елементів.

$N_e$  – загальна кількість конструктивних елементів.

Обчислене значення  $K_{y.e.} > 0,6$  відповідає технологічним виробам.

Висновок: і якісний, і кількісний аналізи підтверджують технологічність деталі «Вал». Замінювати конструкцію недоцільно.

### 1.3. Обґрунтування вибору заготовки

Вибір методу отримання заготовки визначається конструкцією, матеріалом деталі та обсягом випуску (типом виробництва) [4]. Коли можливі декілька способів, виконують техніко-економічний аналіз для знаходження оптимального.

Застосовують два підходи: техніко-економічне обґрунтування (розрахунок технологічної собівартості) та розрахунок коефіцієнта використання матеріалу. Пріоритет надають варіанту з меншою технологічною собівартістю; за рівності собівартості виграє варіант із вищим коефіцієнтом використання матеріалу.

#### *Спрощений розрахунок собівартості*

Через те, що повний розрахунок технологічної собівартості потребує детального опрацювання техпроцесу (обладнання, оснащення, нормативи), на даному етапі застосовуємо наближений метод. Він дозволяє порівняти різні варіанти без аналізу всіх складових собівартості.

Для порівняння обрано два способи: 1) лиття в кокіль; 2) гарячекатаний прокат.

Відповідно до ДСТУ 8981:2020, для лиття в кокіль, прийнято: клас точності розмірів і мас - 6-й; ряд припусків на механічну обробку - 2-й. Для прокату використано гарячекатаний прокат звичайної точності (діаметр 45 мм).

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Перед розрахунком об'єму необхідно визначити загальні табличні припуски на механічну обробку для кожної поверхні. Результати зведено в таблицю 2.

Таблиця 2 – Загальні припуски і розміри заготовки

Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
1) Лиття в кокіль 6 кл. точності розмірів і мас, 2 ряд припусків				
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 30h8 (-_{0,033})$ , Ra 1,25	Ra 1,25	0,56	$1,6 \times 2 = 3,2$	$\varnothing 32,2 \pm 0,28$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 40e8 (-_{-0,089}^{-0,05})$ , Ra 2,5	Ra 2,5	0,56	$1,6 \times 2 = 3,2$	$\varnothing 43,2 \pm 0,28$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 30h8 (-_{0,033})$ , Ra 2,5	Ra 2,5	0,56	$1,6 \times 2 = 3,2$	$\varnothing 32,2 \pm 0,28$
Торцева поверхня 315h14; Ra 10	Ra 10	1	$1,4 \times 2 = 2,8$	$317,8 \pm 0,5$
Торцева поверхня 92 h14; Ra 10	Ra 10	0,7	$1,3 \times 2 = 2,6$	$94,6 \pm 0,35$
2) Прокат гарячекатаний $\varnothing 45$ , звичайної точності прокатки				
Торцева поверхня 315h14; Ra 10	Ra 10	1	7	$322 \pm 0,5$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 40e8 (-_{-0,089}^{-0,05})$ , Ra 2,5	Ra 2,5	1,1	5	$\varnothing 45 (+_{-0,7}^{+0,4})$

На основі цих даних побудовано ескізи заготовок (рис. 1.1 – прокат, рис. 1.2 – вилівок), які враховані при обчисленні об'ємів. Для визначення маси заготовки використовують формулу:

$$Q = V_3 \cdot \rho,$$

де:  $V_3$  – об'єм заготовки;

$\rho$  – густина матеріалу, згідно  $\rho = 7,85 \text{ г/см}^3$ .

Визначаємо об'єм заготовки для першого методу отримання заготовки за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot H}{4}.$$

Об'єм вилівка (лиття в кокіль): для спрощення заготовку розбито на елементарні геометричні тіла, після чого підсумовано їхні об'єми.

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 43,2^2 \cdot 94,6}{4} = 138,6 \text{ см}^3,$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot 33,2^2 \cdot 175,1}{4} = 152 \text{ см}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi \cdot 33,2^2 \cdot 48,1}{4} = 41,6 \text{ см}^3$$

$$V_{\text{заг}} = V_1 + V_2 + V_3.$$

$$V_{\text{заг}} = 138,6 + 152 + 41,6 = 332,2 \text{ см}^3.$$

Об'єм заготовки з прокату:.

$$V_{\text{заг.}} = \frac{\pi \cdot 45^2 \cdot 322}{4} = 512 \text{ см}^3.$$

Визначаємо масу заготовок по приведеним варіантам.

$$Q_1 = 332,2 \cdot 7,85 = 2607,77 \text{ г} = 2,6 \text{ кг}.$$

$$Q_2 = 512 \cdot 7,85 = 4019,2 \text{ г} = 4,1 \text{ кг}.$$

Подальше порівняння собівартості та вибір оптимального варіанту проводять на отриманні значення маси та технологічні витрати.

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

#### 1.4. Характеристика процесів механічної обробки при виконанні фрезерно-центрувальних операцій

Фрезерно-центрувальна операція є однією з ключових у технологічних процесах виготовлення деталей типу валів, осей, шпинделів та інших тіл обертання. Вона призначена для створення технологічної бази, яка забезпечує точність і стабільність подальшої обробки [6]. Доцільно зробити характеристику процесів механічної обробки, які мають місце при виконанні фрезерно-центрувальних операцій.

Центрові отвори використовуються як технологічна база для установаження деталі в центрах токарних, шліфувальних або інших верстатів, що забезпечує співвісність оброблюваних поверхонь. Якість виконання цієї операції [7] безпосередньо впливає на точність та продуктивність всього подальшого процесу виготовлення деталі.

##### Процес фрезерування торців

Першим переходом операції є фрезерування торців. Цей процес може виконуватись за різними схемами залежно від конструкції обладнання [8]:

- Послідовне фрезерування – торці обробляються один за одним, що є характерним для простіших верстатів.

- Одночасне фрезерування – обидва торці заготовки фрезеруються симетрично двома фрезами, що значно підвищує продуктивність і забезпечує паралельність торців.

При фрезеруванні торців головний рух – обертальний, виконується фрезою, встановленою на шпинделі верстата [9]. Рух подачі – поступальний, може виконуватись як за рахунок переміщення фрези, так і переміщенням самої заготовки. У сучасних фрезерно-центрувальних верстатах частіше застосовується схема, коли заготовка нерухома, а подачу виконують фрезерні головки. Така конструкція дозволяє досягти високої точності позиціонування.

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

## Процес центрування (свердління центрових отворів)

Центрування є технологічною операцією, яка передбачає свердління центрових отворів на торцях вала. Для цього використовується спеціальний центрувальний інструмент – центрувальне свердло [10, 11]. Конструкція центрувального свердла має напрямний елемент (конус), який забезпечує точне позиціонування інструменту відносно осі заготовки, та власне свердло для утворення отвору.

Ключові аспекти процесу центрування [12]:

- Формування отвору. Глибина центрального отвору зазвичай регламентується та залежить від маси заготовки та зусиль, що виникають при подальшій обробці.

- Забезпечення співвісності. Точність розташування центрових отворів на обох торцях є критичною для правильної установки деталі. Одночасне центрування з двох сторін забезпечує високу співвісність.

- Захист від пошкоджень. Центрові отвори виконують функцію базових поверхонь, тому важливо, щоб вони не мали задирок, тріщин або інших дефектів. Для захисту центрових отворів під час термічної обробки або тривалого зберігання застосовуються захисні ковпачки.

Свердління центрових отворів є чистовою операцією, тому до неї висуваються підвищені вимоги щодо точності та якості поверхні [11].

## Особливості процесів на різних типах верстатів

Аналіз фрезерно-центрувальних операцій неможливий без розгляду обладнання, на якому вони виконуються. Розрізняють наступні основні типи верстатів та їх характеристики:

- а. Фрезерно-центрувальні напівавтомати (наприклад, моделі 2Г942) призначені для обробки торців деталей типу валів у серійному та масовому виробництві. Основні операції, що виконуються на такому напівавтоматі:

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фрезерування торців, свердління центрових отворів з двох сторін, а також обточування шийок на кінцях валів.

Конструктивні особливості процесу:

- Фрезерні та свердлильні шпинделі розташовані горизонтально.
- Оброблювана деталь нерухома, переміщуються фрезерні та свердлильні головки.

- Ліві та праві головки не мають механізмів синхронізації, їх одночасність роботи забезпечується гідроприводом.

- Приводи подач, затискання деталі та упору заготовок – гідравлічні.

- Обробка за одну установку забезпечує високу точність [13] баз для подальшої обробки.

Клас точності такого обладнання – Н, що свідчить про нормальну точність [14], достатню для виконання даного виду обробки [15].

б. Багатоцільові фрезерно-центрувальні верстати є більш універсальними і можуть працювати з широким спектром заготовок. Вони забезпечують високий рівень автоматизації та гнучкості виробництва [16], особливо в умовах серійного виробництва. Основна перевага – можливість швидкої переналадки на інший тип деталей за рахунок програмованого керування.

Технологічне оснащення та параметри різання

Для виконання фрезерно-центрувальної операції використовується спеціальне технологічне оснащення:

- Пристрої для установки та закріплення заготовок [17]. Заготовка фіксується в спеціальних лещатах або патронах, що забезпечують її нерухомість під час обробки.

- Різальний інструмент:

- Для фрезерування – торцеві фрези, часто оснащені твердосплавними пластинами для підвищення стійкості.

- Для центрування – центрувальні свердла. Розміри центрових отворів

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

беруться за ДСТУ ISO 2540:2018 із врахуванням припуску на подальшу обробку торців.

Призначення режимів різання є критичним для забезпечення продуктивності та якості обробки [4]. Основні параметри включають:

- Глибина різання ( $t$ ). Визначає товщину шару матеріалу, що видаляється фрезою. При фрезеруванні торців, особливо на чорнових етапах, глибина різання може бути значною. Наприклад, фрезерування торців  $\varnothing 100$  мм може виконуватись з глибиною різання  $t=4,5$  мм.

- Швидкість різання ( $V$ ). Вибирається в залежності від матеріалу заготовки та інструменту. Висока швидкість підвищує продуктивність, але зменшує стійкість інструменту.

- Подача ( $S$ ). Для фрезерування розрізняють подачу на зуб, на оберт фрези та хвилину подачу. Вибір подачі впливає на шорсткість поверхні та зусилля різання.

Розрахунок режимів різання проводиться на основі довідникових нормативів з урахуванням конкретних умов обробки: матеріалу заготовки, інструменту, жорсткості системи верстат-пристрій-інструмент-деталь.

Шляхи підвищення ефективності фрезерно-центрувальних операцій  
Аналіз характеристик процесів [18] дозволяє виділити напрямки підвищення їх ефективності:

- Автоматизація завантаження та вивантаження. Використання маніпуляторів або роботів для подачі заготовок скорочує допоміжний час та зменшує вплив людського фактору.

- Застосування інструменту з покриттями. Сучасні фрези та центрувальні свердла з нано-структурними покриттями дозволяють збільшити швидкості різання та стійкість інструменту.

- Оптимізація режимів різання. Використання систем автоматизованого розрахунку та адаптивного керування режимами різання в реальному часі

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє підтримувати оптимальні умови обробки.

- Впровадження багатоцільових верстатів. Виконання фрезерування та центрування на одному верстаті з ЧПК сумісно з іншими операціями (наприклад, токарною) дозволяє зменшити кількість перевстановлення та підвищити точність за рахунок єдності технологічних баз.

### 1.5. Висновки по розділу

Фрезерно-центрувальна операція є складним технологічним процесом, що поєднує два принципово різних методи обробки різанням – фрезерування та центрування. Від її якісного виконання залежить точність та продуктивність всього подальшого виготовлення деталі.

Основні технологічні особливості операції включають одночасну або послідовну обробку двох торців, застосування спеціального центрувального інструменту, необхідність забезпечення високої співвісності центрових отворів та використання гідравлічних приводів подач для синхронізації рухів інструментальних головок.

Сучасні фрезерно-центрувальні верстати представляють собою високопродуктивне обладнання для серійного та масового виробництва, а в умовах гнучкого автоматизованого виробництва доцільним є використання багатоцільових верстатів з ЧПК. Подальше підвищення ефективності фрезерно-центрувальних операцій лежить у площині комплексної автоматизації, використання сучасного інструменту та оптимізації режимів різання.

Об'єктом дослідження у кваліфікаційній роботі є розробка технологічного процесу обробки деталі «Вал КС6Б-31.629», а також окремого силового вузла спеціального фрезерно – центрувального напівавтомата.

Мета роботи: сформулювати технологічний маршрут для механічної обробки деталі типу "Вал", виконати аналіз конструктивних особливостей фрезерно –

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

центрувального верстата, охарактеризувати способи налагодження на окремі технологічні операції, виконати конструювання його основних вузлів.

Для виконання кваліфікаційної роботи поставлено завдання :

- провести аналіз деталі на технологічність та вибрати раціональну геометрію заготовки для виготовлення деталі;
- розробити раціональний технологічний маршрут для механічної обробки деталі «Вал КС6Б-31.629» та провести вибір металообробного обладнання; різального та вимірювального інструменту;
- провести розрахунок раціональних значень режимів різання;
- сформулювати структурно-кінематичну та кінематичну схеми верстату;
- провести кінематичний та силовий розрахунок приводу головного руху верстату;
- обґрунтувати розроблені технічні рішення у відповідності до вимог охорони праці та безпеки життєдіяльності.

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		24

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Формування та обґрунтування раціонального технологічного маршруту обробки деталі

Передумовою для побудови повної технології виготовлення є попереднє визначення послідовності обробних операцій, яку прийнято називати маршрутом. Останній вибудовується шляхом підбору можливих технологічних методів впливу на кожен окрему поверхню заготовки.

При виборі способів обробки враховують точнісні характеристики, стан поверхонь вихідної заготовки, її габарити, необхідну якість готового виробу, масштаб виробництва та інші чинники. Як правило, для досягнення однакових кінцевих параметрів можна запропонувати кілька альтернативних технологічних рішень, які відрізняються кількістю переходів. Оптимальним визнають той маршрут, який уможливує отримання заданих розмірів, точності та шорсткості за найменшої кількості переходів — тобто з мінімальним технологічним ланцюгом.

Водночас запропоновані маршрутні схеми слід перевіряти на технологічну сумісність, зокрема на можливість обробляти кілька поверхонь в одному встановленні. Виконання цього завдання реалізовано за таким алгоритмом:

1. Ідентифікують усі поверхні заготовки, які потребують механічної обробки;
2. Для кожної з них намічають можливі методи та стадії обробки, які здатні забезпечити необхідні технічні вимоги ( у відповідності до таблиць економічної точності, які наведені у додатках [4])

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Технологічна частина</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Петрик</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Шанайда</i>						
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа</i>				<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
						25	15
<i>ТНТУ, ФМТ</i>							
<i>каф. ВІ, гр. МВ - 41</i>							







маршрутного варіанта. Паралельно з маршрутом визначають типи обладнання. Короткий аналіз альтернатив дозволяє обґрунтувати прийнятну схему.

005. Відрізання заготовки.

Реалізується на фрезерно-відрізному напівавтоматі моделі 8Г642, забезпечуючи розмір 322h14.

010. Фрезерно-центрувальна.

На агрегаті МР-71М виконують фрезерування торців (поверхні 1, 18) та одночасне свердління центрових отворів (19, 21).

015. Токарно-копіювальна (перша).

На токарно-копіювальному напівавтоматі моделі 1712 проводять попереднє точіння поверхонь 2, 3, 5, 7, 8, 9 за копіром; з поперечного супорта одночасно обробляється поверхня 4.

020. Токарно-копіювальна (друга).

Аналогічне обладнання (мод. 1712) використовується для попереднього точіння за копіром поверхонь 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, при цьому з поперечного супорта обробляють поверхню 11.

025. Термічна обробка (перша).

У електроіндукційній печі СНОЛ-7 виконують гартування поверхні 5.

030, 035, 040. Шпонково-фрезерні.

На верстатах моделей 692Р (дві операції) та 692М (одна) фрезерують шпонкові пази 6, 16 та 20 відповідно.

045. Шліцефрезерна.

Шліцева ділянка 22...30 обробляється на верстаті мод. 5350.

050. Різьбонакатна.

Накочування різьби на поверхні 12 виконують на різьбонакатному напівавтоматі А9524.

055. Термічна обробка (друга).

Гартування поверхні 9 проводиться в тій самій печі СНОЛ-7.

060, 065, 070. Круглошліфувальні.

Чистове шліфування поверхонь 9, 15 та попередньо-чистове поверхні 5

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

виконують на круглошліфувальному напівавтоматі 3М151. Для поверхні 5 передбачено два етапи: попереднє та остаточне шліфування.

075. Контроль.

Завершальна перевірка відповідності деталі креслярським вимогам.

## 2.2. Обґрунтування та вибір металообробного обладнання

Вибір верстатного парку здійснюється паралельно з маршрутним проектуванням, з урахуванням типу виробництва. Головним критерієм слугує функціональне призначення верстата, тобто вид обробки, для якого він призначений. Другим за значущістю критерієм є відповідність габаритних розмірів робочої зони розмірам заготовки разом із пристосуванням. Третім — забезпечення необхідної точності обробки.

Після виконання цих вимог аналіз продовжують у напрямку продуктивності, можливостей механізації та автоматизації, тобто відповідності типу виробництва. Результати зведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Вибір обладнання

№ операції	Назва операції	Назва і модель верстату
1	2	3
005	Відрізна	Фрезерно-відрізний напівавтомат мод. 8Г642
010	Фрезерно - центрувальна	Фрезерно-центрувальний напівавтомат мод. МР-71М
015	Токарно - копіювальна	Токарно – копіювальний напівавтомат мод. 1712.
020	Токарно - копіювальна	Токарно – копіювальний напівавтомат мод. 1712.

025	Термічна обробка.	Електроіндукційна печ СНОЛ-7
030	Шпонково - фрезерна	Шпонково-фрезерний напівавтомат мод. 692Р
035	Шпонково - фрезерна	Шпонково-фрезерний напівавтомат мод. 692Р
040	Шпонково - фрезерна	Шпонково-фрезерний напівавтомат мод. 692М
045	Шліцефрезерна	Шліцефрезерний напівавтомат мод. 5350
050	Різьбонакатна.	Різьбонакатний напівавтомат мод. А9524.
055	Термічна обробка.	Електроіндукційна печ СНОЛ-7
060	Круглошліфувальна	Круглошліфувальний напівавтомат мод. 3М151
065	Круглошліфувальна	Круглошліфувальний напівавтомат мод. 3М151
070	Круглошліфувальна	Круглошліфувальний напівавтомат мод. 3М151
075	Контроль	

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

## 2.3. Розрахунок режимів різання та вибір електродвигуна

### Вихідні дані

- базова модель МР-71М;
- матеріал оброблюваних заготовок: сталь, чавун;
- максимальний діаметр – 125мм.

Розрахунок виконано для операції свердління (сталь 40Х, НВ=217, свердло з Р6М5, діаметр 10 мм, осьова подача  $s=0,23s=0,23$  мм/об, стійкість інструменту  $T=25$  хв).

#### 1. Глибина різання:

$$t = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ мм}$$

#### 2. Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot s^y} \cdot K_v,$$

де:  $C_v = 9,8$ ;  $q = 0,4$ ;  $y = 0,5$ ;  $m = 0,2$ , [6 табл. 30, ст.278];

$$T = 25 \text{ хв}; s = 0,23 \text{ мм/об}$$

$K_v$  – поправочний коефіцієнт на швидкість різання;

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{lv}$$

$K_{mv}$  – вплив матеріалу заготовки;

$K_{iv}$  – матеріал інструмента;

$K_{lv}$  – враховує глибину свердління.

$$K_{mv} = K_z \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}$$

$\sigma_B = 1000$  МПа;  $K_z = 1,0$ ;  $n_v = 0,9$ ;

$$K_{mv} = 1,0 \cdot \left( \frac{750}{1000} \right)^{0,9} = 0,77$$

$K_{iv} = 1,0$ ;  $K_{lv} = 1,0$ ;  $K_v = 0,77 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,77$

$$V = \frac{9,8 \cdot 10^{0,4}}{25^{0,2} \cdot 0,23^{0,5}} \cdot 0,77 = 20,8 \text{ м/хв}$$

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

3. Крутний момент:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p,$$

де:  $C_m = 0,0345$ ;  $q = 2,0$ ;  $y = 0,8$ ;  $K_p = K_{mp}$

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n,$$

$n = 0,75$  [4];

$$K_{mp} = \left( \frac{1000}{750} \right)^{0,75} = 1,2$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 10^2 \cdot 0,23^{0,8} \cdot 1,2 = 12,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

4. Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 20,8}{3,14 \cdot 10} = 662,4 \text{ об/хв}$$

5. Потужність різання:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{12,8 \cdot 662,4}{9750} = 0,87 \text{ кВт}$$

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Таблиця 2.3 – Зведена таблиця режимів різання

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T <sub>m</sub> , хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S <sub>m</sub> , мм/хв	T <sub>о</sub> , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 Фрезерно – відрізна										
Перехід 2										
Відрізати заготовку, в розмір 332±0,5мм	2,0	100	1	0,5	0,035 мм/ зуб	210	34	–	1,88	0,24
010 Фрезерно – центрувальна										
Перехід 2										
Фрезерувати торці 1, 14, в розмір 322±0,5мм	3,5	240	2	0,12	1,5	510	125	–	0,62	1,34
Перехід 3										
Центрувати два центрові отвори, в розмір Ø5; l=7,5 мм										
	2,5	10	2	0,15	0,3	900	122	–	0,72	0,56
015 Токарно – копіювальна										
Перехід 2										
Точити поверхню 9, в розмір Ø 40,4h11(-0,16), l=225 мм, точити фаску 8, в розмір 2×15°	2,3	225	1	6	0,43	1000	127	–	0,52	3,88
Перехід 3										
Точити поверхні	4,98	178	1	11,4	0,23	1000	95,5	-	0,62	3,2

3,5, в розмір Ø 30,15h11(-0,16), l = 175мм; точити фаски 2 і 8 в розмір 2×45°;										
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

020 Токарно – копіювальна

Перехід 2

Точити фаску 10, в розмір 2×45°; точити поверхню 12 в розмір Ø 34,94h11(-0,16), l = 91мм.	5,02	95	1	6,0	0,44	1000	110	-	0,23	7,0
--	------	----	---	-----	------	------	-----	---	------	-----

Перехід 3

Точити фаски 13, 17 в розмір 2×45°; точити поверхню 15 в розмір Ø 30,4h11(-0,16), l = 48мм	4,52	52	0,25	11,4	9,5	1000	95,5	-	0,24	0,75
---	------	----	------	------	-----	------	------	---	------	------

030 Шпонково – фрезерна

Перехід 2

Фрезерувати паз 6, в розмір 8P9 <sup>(-0,015)</sup> <sub>(-0,051)</sub> мм, l=36мм, Ra 10	0,2	32	22	6,0	-	315	80	252	2,84	1,71
---	-----	----	----	-----	---	-----	----	-----	------	------

035 Шпонково – фрезерна

Перехід 2

Фрезерувати паз 16, в розмір 8P9 <sup>(-0,015)</sup> <sub>(-0,051)</sub> мм, l=28мм, Ra 10	0,22	34	24	6,0	-	315	8	252	2,52	1,71
040 Шпонково-фрезерна										
Перехід 2										
Фрезерувати шпонковий паз 20, витримуючи розміри Ø 6мм, l=36мм, Ra 10	0,2	32	15	6,0	-	475	8,9	250	2,16	1,7
045 Шліцефрезерна										
Перехід 2										
Фрезерувати шліци D-8×36×e8×7 .		70	1	10,0	0,63	85	21,2	-	11,5	
050 Різьбонакатна										
Перехід 2										
Накатати різьбу M36×1,5-8g		44	1	10,0	1,5	2500	-	-	0,16	
055 Круглошліфувальна										
Перехід 2										
Шліфувати поверхню 5, в розмір Ø30h8 <sup>(-0,062)</sup> ; l = 175мм.	0,35	175	2,2	-	0,7	160	15,5	-	1,06	8,3

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						36

060 Круглошліфувальна

Перехід 1

Шліфувати поверхню

8, в розмір  $\varnothing 40\text{e}8$ ;  $l = 50\text{мм}$

0,42	56	1	-	0,72	160	20,3	-	0,36	8,41
------	----	---	---	------	-----	------	---	------	------

065 Круглошліфувальна

Перехід 2

Шліфувати

остаточно поверхню

15 витримуючи  
розміри  $\varnothing 30\text{h}8(-0,033)$ ;  
 $l = 48\text{мм}$

0,42	49	1	-	0,72	160	15,5	-	0,36	10,6
------	----	---	---	------	-----	------	---	------	------

Визначення потужності електродвигуна

Визначаємо момент різання при свердлінні з врахуванням самого важкого режиму роботи:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p;$$

де  $C_M = 0,0345$ ;  $q = 2,0$ ;  $y = 0,8$ ; [4];

$$K_p = K_{mp} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n;$$

$n = 0,75$  [4];

$$K_p = K_{mp} = \left( \frac{1000}{750} \right)^{0,75} = 1,2$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 10^2 \cdot 0,23^{0,8} \cdot 1,2 = 12,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначаємо активну потужності :

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{12,8 \cdot 662,4}{9750} = 0,87 \text{ кВт}.$$

Визначаємо потужність електродвигуна:

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						37

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_e}{\eta};$$

де  $\eta$  – ккд приводу верстата;

$$\eta_{\text{св}} = \eta_{\text{з.п}}^2 \cdot \eta_n^6;$$

$\eta_{\text{з.п}} = 0,97$  – ккд закритої зубчастої передачі;

$\eta_n = 0,99$  – втрати пар підшипників кочення;

$$\eta_{\text{св}} = 0,97^2 \cdot 0,99^6 = 0,89$$

$$N_{\text{дв}} = \frac{0,87}{0,89} = 0,98.$$

Приймаємо електродвигун типу: 4AM90L4УЗ з номінальною потужністю:

$N_n = 2,2 \text{ кВт}$  та номінальним числом обертів:  $n_n = 1425 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ ;

Для фрезерного верстата (найважчий режим — фрезерування):

активна потужність різання за емпіричною формулою:

$$N_e = E \cdot \frac{V \cdot t \cdot z}{1000} \cdot K_1 \cdot K_2.$$

$E = 1,0$ ;

$K_1 = 1,0$  коефіцієнт оброблюваного матеріалу;

$K_2 = 1,0$  коефіцієнт типу фрези і швидкості різання

$$N_e = 1,0 \cdot \frac{282,2 \cdot 3,5 \cdot 12}{1000} \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 11,9 \text{ кВт}.$$

Визначаємо потужність електродвигуна:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_e}{\eta};$$

де  $\eta$  – ккд приводу верстата;

$$\eta_{\text{св}} = \eta_{\text{з.п}}^3 \cdot \eta_n^9;$$

$\eta_{\text{з.п}} = 0,97$  – ккд закритої зубчастої передачі;

$\eta_n = 0,99$  – ккд що враховує втрати пар підшипників кочення;

$$\eta_{\text{св}} = 0,97^3 \cdot 0,99^9 = 0,83$$

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$N_{дв} = \frac{11,9}{0,83} = 14,3кВт.$$

Обираємо електродвигун типу: 4АМ160S4У3 з  $N_n = 15кВт$  та  $n_n = 1455 \frac{об}{хв}$ .

#### 2.4. Висновки за технологічним розділом

Запропонований маршрут обробки вала враховує всі конструктивні особливості, вимоги до точності та якості поверхонь, а також тип виробництва. Виконано порівняльний аналіз методів обробки, обрано раціональне обладнання, розраховано режими різання для всіх основних операцій. На основі розрахунків потужності підібрано стандартні електродвигуни, які забезпечують необхідний силовий режим з резервом продуктивності.

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

### 3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1. Формування структурно – кінематичної схеми верстата

Структурно – кінематичну схему верстату призначено для відображення всіх рухів, які необхідні для забезпечення процесу формотворення.

Структурно – кінематичну схему фрезерно – центрувального напівавтомата подано на рис. 3.1.

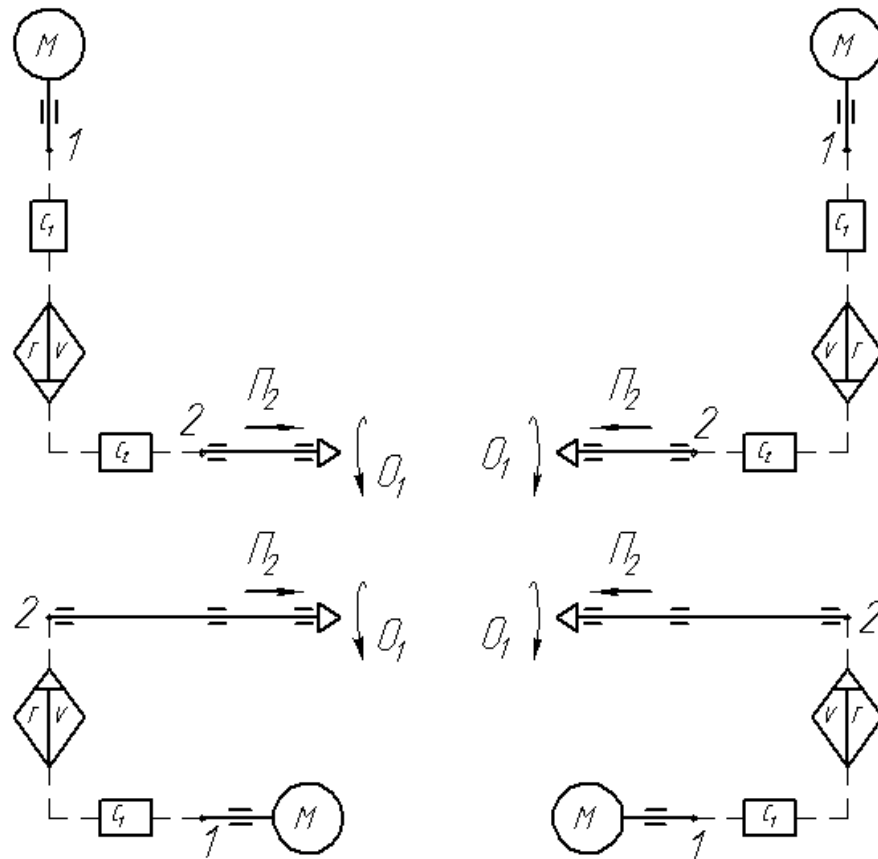


Рисунок 3.1 - Структурно – кінематична схема фрезерно – центрувального напівавтомата

1) стосовно фрезерної операції (кінематичні зв'язки)  $\Phi_V(O_1)$  :

(ЗКЗ) -  $M - 1 - C_1 - i_v - C_2 - 2$ ;

(ВКЗ) - Шпіндель-опори;

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Петрик				Конструкторська частина	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Шанайда						40	19
Реценз.						ТНТУ, ФМТ		
Н. контр.	Кобельник					каф. ВІ, гр. МВ - 41		
Зав. каф.	Крупа							

Погодження рухів -  $n_{\text{дв}} \rightarrow n_{\text{ун}} \text{ об/хв}$ .

2) стосовно свердлильної операції  $\Phi_V(O_1)$ :

(ЗКЗ) -  $M - 1 - C_1 - i_v - 2$ ;

(ВКЗ) - Шпиндель-опори;

Погодження рухів (УП) -  $n_{\text{дв}} \rightarrow n_{\text{ун}} \text{ об/хв}$ .

### 3.2. Кінематичний розрахунок фрезерно – центрувального верстата

#### 1. Визначення діапазону регулювання:

На фрезерному шпинделі

$$n_{\text{min}} = 127 \text{ об/хв. (див. нижче)}$$

$$n_{\text{max}} = 720 \text{ об/хв. (див. нижче)}$$

Діапазон регулювання:

$$D = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}} = 5,7.$$

На свердлильному шпинделі

$$n_{\text{min}} = 240 \text{ об/хв. (див. нижче)}$$

$$n_{\text{max}} = 1134 \text{ об/хв. (див. нижче)}$$

Діапазон регулювання:

$$D = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}} = 4,7$$

Враховуючи, що значення діапазонів регулювання мають достатньо не великі числові значення, то приймаємо для подальшого використання найближче допустиме значення.

На фрезерному шпинделі

$$Z = 6 = 6_{(1)}$$

На свердлильному шпинделі

$$Z = 6 = 6_{(1)}$$

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

### 3.2. Формування графіка чисел обертів та кінематичної схеми

Побудову структурної сітки виконуємо у наступній послідовності дій: формуємо кілька горизонтальних паралельних ліній, які розміщені з інтервалом  $I g \varphi$ ; кількість таких ліній рівна числу швидкостей обертання шпинделя.

Для кожної групи передач відведено поля між двома вертикальними лініями. На лівій вертикалі наносять відмітку  $-0$ , яка симетрично розміщена стосовно горизонтальних ліній. З цієї точки проводять промені у кількості, яка відповідає кількості передач групи, а відстань між променями рівна характеристиці групи.

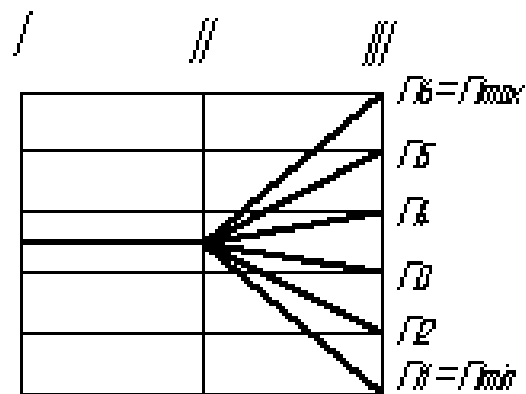


Рисунок 3.2 – Структурна сітка для свердлильної головки

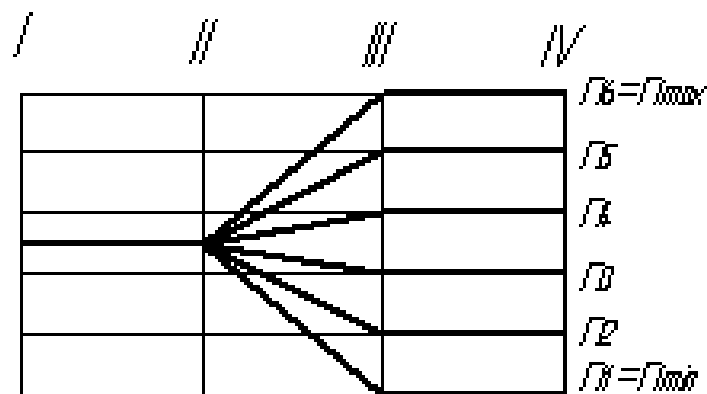


Рисунок 3.3 – Структурна сітка для фрезерної головки

Графік чисел обертів будують у відповідності до кінематичної схеми приводу. Для кожного валу приводу призначено вертикальну лінію на графіку.

На горизонтальних лініях з рівними інтервалами отримують значення чисел обертів, які є характерними для даного вала. Функціонування передачі для визначеного значення числа обертів на ведучому і веденому валах відображено променем, котрий проходить через відмітки таких обертів по лініях валів.

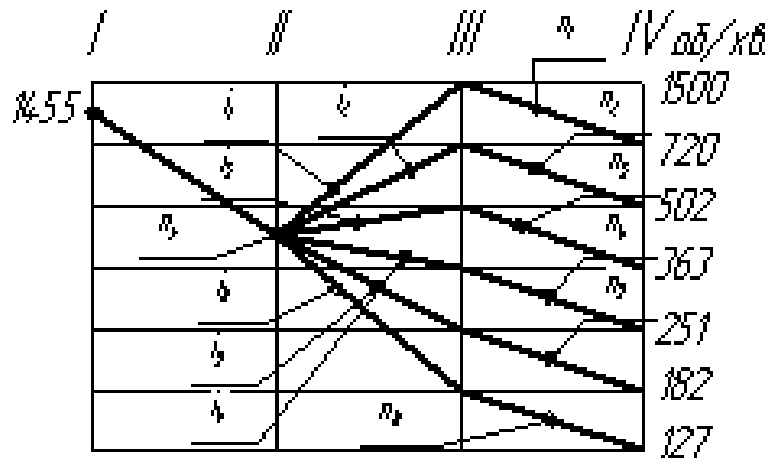


Рисунок 3.4. – Графік чисел обертів фрезерної головки

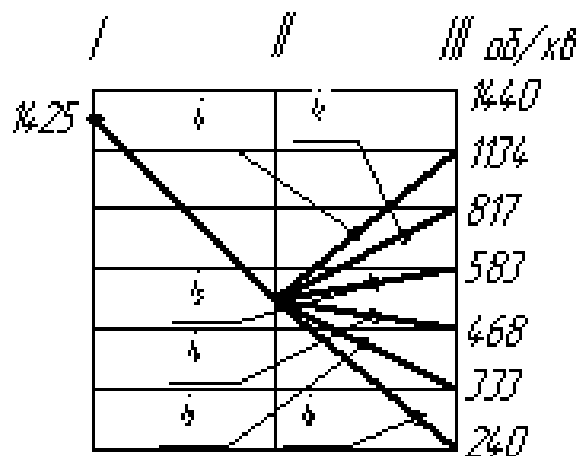


Рисунок 3.5 – Графік чисел обертів свердильної головки

Для призначення режимів різання, слід використати значення чисел обертів, які будуть отримані з врахуванням чисел зубів передач. Відповідно до графіку чисел обертів слід приймати зубчасті передачі із числами зубів  $z_1 = 24$ ,  $z_2 = 46$ ,  $z_3 = 25$ ,  $z_4 = 63$ . Для забезпечення необхідної частоти обертів на валу також використовують змінні передачі з врахуванням співвідношення:

$$n_n = \frac{n_i}{n_{ном}}$$

$$n_1 = \frac{127}{1455} = 0,087, \text{ відповідно: змінні зубчасті колеса: } a = 26, b = 62;$$

$$n_1 = 1455 \cdot \frac{24}{46} \cdot \frac{26}{62} \cdot \frac{25}{63} = 127 \text{ об/хв};$$

$$n_2 = \frac{182}{1455} = 0,125, \text{ змінні зубчасті колеса: } a = 33, b = 55;$$

$$n_2 = 1455 \cdot \frac{24}{46} \cdot \frac{33}{55} \cdot \frac{25}{63} = 182 \text{ об/хв};$$

$$n_3 = \frac{251}{1455} = 0,173, \text{ змінні зубчасті колеса: } a = 40, b = 48;$$

$$n_3 = 1455 \cdot \frac{24}{46} \cdot \frac{40}{48} \cdot \frac{25}{63} = 251 \text{ об/хв};$$

$$n_4 = \frac{363}{1455} = 0,249, \text{ змінні зубчасті колеса: } a = 48, b = 40;$$

$$n_4 = 1455 \cdot \frac{24}{46} \cdot \frac{48}{40} \cdot \frac{25}{63} = 363 \text{ об/хв};$$

$$n_5 = \frac{502}{1455} = 0,345, \text{ змінні зубчасті колеса: } a = 55, b = 33;$$

$$n_5 = 1455 \cdot \frac{24}{46} \cdot \frac{55}{33} \cdot \frac{25}{63} = 502 \text{ об/хв};$$

$$n_6 = \frac{720}{1455} = 0,495, \text{ змінні зубчасті колеса: } a = 62, b = 26;$$

$$n_6 = 1455 \cdot \frac{24}{46} \cdot \frac{62}{26} \cdot \frac{25}{63} = 720 \text{ об/хв}.$$

Для операції свердління. Відповідності до графіку чисел обертів приймаємо зубчасту передачу із числами зубів  $z_5 = 27$ ,  $z_6 = 74$ . Для забезпечення необхідної частоти обертів на валу також використовують змінні передачі з врахуванням співвідношення:

$$n_1 = \frac{240}{1425} = 0,168, \text{ змінні зубчасті колеса: } a = 34, b = 74;$$

$$n_1 = 1425 \cdot \frac{27}{74} \cdot \frac{34}{74} = 240 \text{ об/хв};$$

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_2 = \frac{333}{1425} = 0,234, \text{ змінні зубчасті колеса: } a = 42, b = 66;$$

$$n_2 = 1425 \cdot \frac{27}{74} \cdot \frac{42}{66} = 333 \text{ об/хв};$$

$$n_3 = \frac{468}{1425} = 0,328, \text{ змінні зубчасті колеса: } a = 51, b = 57;$$

$$n_3 = 1425 \cdot \frac{27}{74} \cdot \frac{51}{57} = 468 \text{ об/хв};$$

$$n_4 = \frac{583}{1425} = 0,409, \text{ змінні зубчасті колеса: } a = 57, b = 51;$$

$$n_4 = 1425 \cdot \frac{27}{74} \cdot \frac{57}{51} = 583 \text{ об/хв};$$

$$n_5 = \frac{817}{1425} = 0,573, \text{ змінні зубчасті колеса: } a = 66, b = 42;$$

$$n_5 = 1425 \cdot \frac{27}{74} \cdot \frac{66}{42} = 817 \text{ об/хв};$$

$$n_6 = \frac{1134}{1425} = 0,796, \text{ змінні зубчасті колеса: } a = 74, b = 34;$$

$$n_6 = 1425 \cdot \frac{27}{74} \cdot \frac{74}{34} = 1134 \text{ об/хв}.$$

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		45



Подачу пінолі забезпечують гідравлічні циліндри.

Свердлильна головка забезпечує регулювання чисел обертів по 6 ступенях  $240 - 1134 \frac{об}{хв}$ .

Зміну кількості обертів шпинделя забезпечують змінними шестернями. Ці шестерні розміщені в нижній частині свердлильних головок по задньому торцю. Подачу регулюють дроселями гідро панелей.

Центрувальні сверла затискаються в самоцентруючих зажимних цангах.

### 3.3.2. Загальний силовий розрахунок

Розрахунок модуля зубчатих коліс розпочинають із визначення міжосьової відстані між найбільш навантаженими валами.

Розрахунок модуля конічних зубчастих коліс  $z_1$  і  $z_2$  [19] порводимо в наступній послідовності:

$$m_n = m_{te} \left( 1 - 0,5 \cdot \frac{b}{R_e} \right) \cdot \cos \beta;$$

$$m_{te} = \frac{d_{e2}}{z_2} = \frac{160,5}{62} = 2,6$$

$$\delta_2 = \arctg u_\phi; \delta_1 = 90^\circ - \delta_2.$$

$$u_\phi = \frac{z_2}{z_1} = \frac{62}{26} = 2,38$$

$$\delta_2 = \arctg 2,38 = 67,2$$

$$\delta_1 = 90^\circ - 67,2^\circ = 22,8$$

$$m_n = 2,6 \left( 1 - 0,5 \cdot \frac{24}{91,17} \right) \cdot \cos 35^\circ = 2,1 \text{ мм}$$

Прийнято значення стандартного модуля  $m = 2,5$  мм.

Допустиме значення контактного напруження

$$[\sigma]_к = 12000 \text{ кг/см}^2; [19];$$

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

відстань між валами II – III :

$$A = [i + 1] \sqrt[3]{\left(\frac{340000}{[\sigma]_k \cdot i}\right)^2 \cdot \frac{N_p}{n_c \cdot \psi_A}};$$

де  $i$  – значення передаточного числа;

$N_p$  – величина розрахункової потужності:

$$N_p = N_{piz} \cdot K_K \cdot K_d;$$

$K_K = 1,15$  коефіцієнт;

$K_d = 1,3$  коефіцієнт за динамічним навантаженням [19];

$$N_p = 11,9 \cdot 1,05 \cdot 1,15 = 14,4 \text{ кВт.}$$

$n_c = 720$  об/хв – число обертів на шпинделі;

$\psi_A = 0,12 \dots 0,15$  [5] (ст.203);

$$A = (2,38 + 1) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{340000}{12000 \cdot 2,38}\right)^2 \cdot \frac{14,4}{720 \cdot 0,14}} = 128,8 \text{ мм.}$$

Прийнято  $A = 130$  мм

З умови  $m \cdot (a + b) = 2 \cdot A$  визначено модуль :

$$m = \frac{2A}{a + b} = \frac{2 \cdot 130}{88} = 2,95;$$

Прийнято стандартне значення модуля  $m = 3,0$  мм.

Відстань між валами III – IV:

$$A = (2,52 + 1) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{340000}{12000 \cdot 2,52}\right)^2 \cdot \frac{14,4}{720 \cdot 0,14}} = 148,8 \text{ мм.}$$

Прийнято  $A = 150$  мм

З умови  $m \cdot (z_3 + z_4) = 2 \cdot A$  визначено модуль :

$$m = \frac{2A}{z_3 + z_4} = \frac{2 \cdot 150}{88} = 3,4;$$

Прийнято значення стандартного модуля  $m = 3,5$  мм

Відстань між валами V – VI:

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$A = (0,365 + 1) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{340000}{12000 \cdot 0,365}\right)^2} \cdot \frac{1,3}{1134 \cdot 0,14} = 104,56 \text{ мм.}$$

$$N_p = 0,87 \cdot 1,15 \cdot 1,3 = 1,3 \text{ кВт.}$$

$n_c = 1134$  об/хв – число обертів;

$\psi_A = 0,12 \dots 0,15$  [20];

Прийнято  $A = 105$  мм

З умови  $m \cdot (z_5 + z_6) = 2 \cdot A$  визначено значення модуля:

$$m = \frac{2A}{z_5 + z_6} = \frac{2 \cdot 105}{101} = 2,07;$$

Прийнято стандартне значення модуль  $m = 2,0$  мм

Відстань між валами VI – VII:

$$A = (0,46 + 1) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{340000}{12000 \cdot 0,46}\right)^2} \cdot \frac{1,3}{1134 \cdot 0,14} = 111,81 \text{ мм.}$$

Прийнято  $A = 112$  мм

З умови  $m \cdot (a + b) = 2 \cdot A$  визначено значення модуля:

$$m = \frac{2A}{a + b} = \frac{2 \cdot 112}{108} = 2,07;$$

Прийнято стандартне значення модуля  $m = 2,0$  мм.

Крутні моменти по валах

Визначаємо найбільші значення крутних моментів по валах для процесу фрезерування:

$$T_{i\dot{a}.} = 9550 \cdot \frac{N_{\ddot{a}\dot{a}.} \cdot \eta}{n_{\delta\dot{i}\zeta\delta.}}$$

де:  $N_{\delta\dot{e}.} = 15 \text{ кВт}$  – номінальне значення потужності електродвигуна;

$\eta$  – ККД механічної передачі від електродвигуна до вала;

$n_{\delta\dot{i}\zeta\delta.}$  - значення частоти обертання на валу, об/хв;

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

На валу електродвигуна

$$\eta_I = \eta_{з.н} \cdot \eta_{нід} = 0,97 \cdot 0,99 = 0,96$$

$\eta_{з.н} = 0,97$  – ккд в закритій зубчастій передачі;

$\eta_{нід} = 0,99$  – ккд з врахуванням втрат у парах підшипників кочення;

$$T_{об.1} = 9550 \cdot \frac{15 \cdot 0,96}{1455} = 94,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

II вал

На другий вал момент передано з першого вала конічною зубчастою передачею. На валу встановлено пару підшипників. Тому ККД приводу:

$$\eta_{II} = \eta_I \cdot \eta_{з.н} \cdot \eta_{нід} = 0,96 \cdot 0,97 \cdot 0,99^2 = 0,91$$

Визначаємо крутний момент на цьому валу ( $n=760$  об/хв)

$$T_{об.2} = 9550 \cdot \frac{15 \cdot 0,91}{760} = 171,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

III вал

На третій вал момент передано з другого вала зубчастою передачею. На валу встановлено пару підшипників. Тому ККД приводу

$$\eta_{III} = \eta_{II} \cdot \eta_{з.н} \cdot \eta_{нід} = 0,91 \cdot 0,97 \cdot 0,99^2 = 0,87$$

Визначаємо крутний момент на цьому валу ( $n=1800$  об/хв).

$$T_{об.3} = 9550 \cdot \frac{15 \cdot 0,87}{1800} = 69,2 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

IV вал

На четвертий вал момент передано з третього вала зубчастою передачею. На валу встановлено пару підшипників. Тому ККД приводу:

$$\eta_{IV} = \eta_{III} \cdot \eta_{з.н} \cdot \eta_{нід} = 0,87 \cdot 0,97 \cdot 0,99^4 = 0,83$$

Визначаємо крутний момент на цьому валу ( $n=720$  об/хв).

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$T_{об.4} = 9550 \cdot \frac{15 \cdot 0,83}{720} = 165 H \cdot м;$$

Визначаємо значення максимальних крутних моментів на валах при виконанні операції свердління ( $N_{об.} = 2,2 кВт$  – номінальна потужність електродвигуна):

На валу електродвигуна

$$\eta_V = \eta_{з.н} \cdot \eta_{нід} = 0,97 \cdot 0,99^2 = 0,95$$

$\eta_{з.н} = 0,97$  – ккд у закритій зубчастій передачі;

$\eta_{нід} = 0,99$  – ккд з врахуванням втрат у парах підшипників кочення;

$$T_{об.5} = 9550 \cdot \frac{2,2 \cdot 0,95}{1425} = 14 H \cdot м;$$

VI вал

На шостий вал момент передано з п'ятого вала зубчастою передачею. На валу встановлено пару підшипників. Тому ККД приводу:

$$\eta_{VI} = \eta_V \cdot \eta_{з.н} \cdot \eta_{нід} = 0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,99^2 = 0,9$$

Визначаємо крутний момент на цьому валу ( $n=456$  об/хв)

$$T_{об.6} = 9550 \cdot \frac{2,2 \cdot 0,9}{456} = 41,5 H \cdot м;$$

VII вал

На сьомий вал момент передано з шостого вала зубчастою передачею. На валу встановлено пару підшипників. Тому ККД приводу:

$$\eta_{VII} = \eta_{VI} \cdot \eta_{з.н} \cdot \eta_{нід} = 0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,99^4 = 0,89$$

Визначаємо крутний момент на цьому валу ( $n=1134$  об/хв)

$$T_{об.7} = 9550 \cdot \frac{2,2 \cdot 0,89}{1134} = 16,5 H \cdot м;$$

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

## Розрахунок діаметрів валів

Розрахунок слід проводити на кручення з призначенням понижених допустимих напружень за формулою [21]:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot [\tau_k]}}$$

де  $T$  – найбільший діючий момент на валу;

$[\tau_k]$  – допустиме напруження (кручення).

Прийнято для валів використати сталь 40Х. Понижене значення становить  $[\tau_k]=20$  МПа.

Розрахункове значення діаметру вала на електродвигуні:

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 94,5}{3,14 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,029 \text{ м};$$

Розрахункове значення слід заокруглити до найближчого більшого стандартного значення. Звідси прийнятий конструктивний діаметр шийки на першому валу  $d_1=38$  мм. Решта параметрам призначено більші конструктивні значення.

Розрахункове значення діаметру другого валу:

$$d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 171,5}{3,14 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,035 \text{ м};$$

Розрахункове значення слід заокруглити до найближчого більшого стандартного значення. Звідси прийнятий конструктивний діаметр шийки на першому валу  $d_2=50$  мм. Решта параметрам призначено більші конструктивні значення.

Розрахункове значення діаметру третього валу:

$$d_3 \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 69,2}{3,14 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,026 \text{ м};$$

Розрахункове значення слід заокруглити до найближчого більшого стандартного значення. Звідси прийнятий конструктивний діаметр шийки на

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

першому валу  $d_3=38$  мм. Решта параметрам призначено більші конструктивні значення.

Розрахункове значення діаметру четвертого валу:

$$d_4 \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 165}{3,14 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,035 м;$$

Розрахункове значення слід заокруглити до найближчого більшого стандартного значення. Звідси прийнятий конструктивний діаметр шийки на першому валу  $d_4=50$  мм. Решта параметрам призначено більші конструктивні значення

Розрахункове значення діаметру п'ятого валу:

$$d_5 \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 14}{3,14 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,015 м;$$

Розрахункове значення слід заокруглити до найближчого більшого стандартного значення. Звідси прийнятий конструктивний діаметр шийки на першому валу  $d_5=25$  мм. Решта параметрам призначено більші конструктивні значення

Розрахункове значення діаметру шостого валу:

$$d_6 \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 41,5}{3,14 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,022 м;$$

Розрахункове значення слід заокруглити до найближчого більшого стандартного значення. Звідси прийнятий конструктивний діаметр шийки на першому валу  $d_6=25$  мм. Решта параметрам призначено більші конструктивні значення

Розрахункове значення діаметру сьомого валу:

$$d_7 \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 16,5}{3,14 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,016 м;$$

Розрахункове значення слід заокруглити до найближчого більшого стандартного значення. Звідси прийнятий конструктивний діаметр шийки на

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

першому валу  $d_5=25$  мм. Решта параметрам призначено більші конструктивні значення

Підшипники призначають з врахуванням навантаженості та геометричних параметрів валів конструктивно.

### 3.3.3. Розрахунок затискного пристрою

Фіксація заготовки у затискному пристрої проходить при прикладанні достатнього зусилля [22]:

$$Q = \frac{k \cdot M_k}{f_1 \cdot R + \frac{f_2 \cdot R}{\sin \alpha/2}},$$

$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$  – коефіцієнти запасу за різними критеріями.

$k_0 = 1.5$  - фіксований коефіцієнт запасу;

$k_1 = 1.2$  – для врахування затуплення різальних інструментів;

$k_2 = 1.4$  – при зміні величини припуску за чорнової обробки;

$k_3 = 1.0$  – при збільшенні сили різання;

$k_4 = 1.0$  – за типом приводу;

$k_5 = 1.0$  – враховує показники ручного затиску.

$$k = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,52$$

$f_1 = 0.16$  – коефіцієнт тертя на поверхні притискачів;

$f_2 = 0.16$  – коефіцієнт тертя на установчих поверхнях призм;

Значення крутного моменту:

$$M_k = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100};$$

Значення силм різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp},$$

де:  $C_p = 825$ ;  $x = 1,0$ ;  $y = 0,75$ ;  $u = 1,1$ ;  $q = 1,3$ ;  $w = 0,2$  [4];

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54



Складові сили затиску:

$$P = \frac{P_1}{\cos \alpha};$$

$$P_1 = Q \cdot \frac{l_1}{l_2};$$

$$P_1 = 793 \cdot \frac{52,5}{52,5} = 793H;$$

$$P = \frac{793}{\cos 90^\circ} = 793H;$$

$$Q = P;$$

$$F = P \cdot \cos \beta;$$

$$F = 793 \cdot \cos 40^\circ = 607,4H$$

Крутний момент

$$M_{кр} = P \cdot L;$$

$$M_{кр} = 793 \cdot 33 = 26169H \cdot мм$$

Необхідна сила на штоку приводу

$$Z = \frac{M_{кр}}{l'};$$

$$Z = \frac{26169}{54} = 485H.$$

В цьому пристрої силовим механізмом є гідроциліндр.

Діаметр поршня визначаємо за [22]:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot P}}, \text{ мм};$$

де: P=0.4 ... 0.6 МПа – тиск у системі повітропроводу;

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{485 \cdot 2}{3,14 \cdot 0,5}} = 103,2, \text{ мм};$$

Нормативне значення діаметра поршню циліндра 105 мм.

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

### 3.4. Опис конструкції та принципу роботи пристосування

Фрезерно – центрувальний напівавтомат оснащений гідравлічним затискним механізмом, що працює від індивідуальної панелі.

При застосуванні нерухомих затискних механізмів, забезпечується велика стійкість оброблюваної деталі.

З переходом на обробку деталей іншої довжини, одночасно з правою фрезерною головкою переміщається вздовж станини і затискні механізми, для чого слід послабити гвинти притискних планок.

Гідросистема затискних тисків призначена для затиску і розтиску оброблюваного виробу в призмах. Гідросистема забезпечує наступні елементи циклу затиску-розтиску:

1. Затискання виробу.
2. звільнення виробу.

Гідросистема для затиску містить наступні елементи:

1. Панель керування затиском.
2. Циліндр затиску Ø105/40-68.
3. Запірний кран та манометр.

Підсистема контролю затиску містить:

1. Реверсивний розподілювач.
2. Реле тиску.
3. Зворотній клапан.
4. Редукційний клапан.

Процес затиску деталі:

Після включення електромагніту (7Э1/7Э) відбувається переміщення золотника керування. Насос створює тиск масла, яке проходить через запобіжний клапан, золотник керування в праву порожнину торця на реверсивному золотнику. Останній здійснює переміщення до граничного лівого позиціонування. У цьому положенні відкрито доступ масла до штокової

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

порожнини у циліндрі затиску. Масло зливається в бак з порожнини циліндра через реверсивний золотник

Звільнення виробу:

Вимикають електромагніт (7Э1/7Э) і золотник керування під дією зворотньої пружини займає крайнє праве положення. Масло через зворотній запобіжний клапан, проточку золотника керування переходить у ліву порожнину по торцю реверсивного золотника, який під тиском займає крайнє праве положення. В такий спосіб стає відкритим доступ масла до штокої порожнини у затискному циліндрі. З цієї порожнини масло перетікає через реверсивний золотник у бак.

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		58

## 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1. Психологічні чинники небезпеки

Психологія безпеки вивчає, чому індивідуми, знаючи правила, все одно їх порушують або діють собі на шкоду.

Аналіз психологічних чинників небезпеки [23, 24]:

#### 1. Стійкі індивідуальні особливості (Психічні властивості)

Ця група чинників закладена в структуру особистості. Це те, з чим людина живе постійно - її характер, темперамент і базові психологічні установки. Змінити їх швидко неможливо, тому їх треба враховувати заздалегідь.

- Схильність до ризику (авантюризм): Існують люди з високою потребою в пошуку гострих відчуттів (*sensation seeking*). Для них безпечно, передбачуване середовище здається нудним. Вони підсвідомо шукають небезпеку (швидка їзда, робота без страховки), щоб отримати викид дофаміну та адреналіну.
- Вплив темпераменту (сила і швидкість нервових процесів):
  - *Холерики* мають сильний, але неврівноважений тип нервової системи. У критичній ситуації вони діють миттєво, але часто хаотично, роблячи багато зайвих, руйнівних рухів.
  - *Меланхоліки* мають слабку нервову систему. Будь-який раптовий чинник небезпеки викликає у них сильне гальмування (психологічний шок, ступор), через що вони втрачають здатність захищатися.
- Егоцентризм та гіперкомпенсація: Деякі люди через внутрішні комплекси намагаються довести оточенню свою "сміливість" чи "крутість", демонстративно нехтуючи правилами безпеки (наприклад, не одягають захисну каску чи маску, щоб не виглядати "слабкими").

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Петрик				Безпека життєдіяльності, Основи охорони праці	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Окіпний					Т	59	8
Реценз.						ТНТУ, ФМТ		
Н. контр.	Кобельник					каф. ВІ, гр. МВ-41		
Зав. каф.	Крупа							

Рівень локусу контролю: Люди з *екстернальним* (зовнішнім) локусом контролю вважають, що від них нічого не залежить («якщо судилося померти, то помру», «це все доля»). Вони безвідповідально ставляться до безпеки, бо не вірять, що їхні дії можуть щось змінити.

## 2. Тимчасові психічні стани

Ці чинники є мінливими. Людина може бути надзвичайно дисциплінованою та спокійною зазвичай, але під впливом конкретної ситуації її внутрішній стан різко змінюється, блокуючи інстинкт самозбереження.

- Стрес, дистрес та криза: Короткочасний стрес помірної сили (*еустрес*) навпаки мобілізує сили. Але якщо стрес занадто сильний або тривалий (*дистрес*), нервова система виснажується. Виникає явище «тунельного зору» — психіка фокусується лише на одній деталі (джерелі стресу), повністю ігноруючи все, що відбувається збоку чи ззаду.
- Динаміка втоми та перевтоми: Втома розвивається у кілька етапів. На етапі *початкової втоми* людина ще може зусиллям волі тримати концентрацію. На етапі *перевтоми* вольовий контроль зникає. Сповільнюється швидкість передачі нервових імпульсів: час реакції збільшується з 0,2 секунди до 1–2 секунд. У високошвидкісних умовах (наприклад, керування авто) ці секунди коштують життя.
- Психічне пересичення та монотонія: Виникає під час виконання одноманітної роботи в тихому середовищі. Психіка переходить у так званий "режим очікування" (подібно до напівсну). Активність кори головного мозку знижується, людина впадає в стан гіпнозу від монотонності, зіниці розширюються, а реагування на раптову загрозу запізнюється.
- Афекти та емоційне вигорання: В стані гніву чи паніки раціональне мислення (кора мозку) повністю вимикається, управління поведінкою перехоплює лімбічна система (емоційний мозок), яка дає лише примітивні команди: "біжи", "бий" або "замри".

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. Психічні процеси та їх порушення

Психічні процеси — це інструменти, за допомогою яких ми сприймаємо реальність, обробляємо її, аналізуємо та приймаємо рішення. Якщо інструмент працює з дефектом, дія буде помилковою.

- Порушення сприйняття (ілюзії та помилки): Людина сприймає світ не таким, яким він є. Наприклад, через погане освітлення, оптичні ілюзії чи психологічну готовність побачити одне, вона бачить зовсім інше. Сюди ж відноситься неправильна оцінка швидкості транспортних засобів, напруги струму "на око" чи токсичності газу за відсутності запаху.
- Помилки мислення (неправильна оцінка обстановки):
  - *Евристика доступності*: Людина приймає рішення на основі того, що першим спало на думку, а не на основі фактів.
  - *Помилка оптимізму*: Схильність недооцінювати ймовірність негативних подій щодо себе порівняно з іншими людьми.
- Проблеми з увагою: Увага має такі характеристики, як об'єм, стійкість, розподіл та переключення. Якщо робота вимагає стежити за 5 приладами одночасно, а об'єм уваги людини обмежений 3 об'єктами, трапляється пропуск важливого сигналу (небезпека розподілу уваги). Другий аспект — *відволікання* (внутрішні думки про проблеми, сімейні негаразди, які забирають на себе весь ресурс уваги).
- Помилки пам'яті: особливо небезпечні в екстремальних ситуаціях. Людина може діяти за старим, неактуальним алгоритмом, забути специфічне правило безпеки для нового обладнання або просто механічно "забути" заземлити прилад чи вимкнути живлення.

### 4. Психофізіологічні чинники (Особливі стани)

Ці чинники знаходяться на стику фізіології тіла та психіки. Вони грубо і примусово змінюють біохімічні процеси в мозку, руйнуючи природні механізми захисту.

- Алкогольне та наркотичне сп'яніння:
  - Алкоголь, у першу чергу, блокує центри гальмування та

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

критичного мислення в корі головного мозку. Людина відчуває ейфорію, суб'єктивно вважає себе всесильною та дуже влучною/швидкою.

- Насправді ж об'єктивно: звужується кут зору, порушується координація рухів, а час реакції збільшується в кілька разів. Людина просто нездатна фізично адекватно оцінити масштаб загрози.
- Медикаментозний вплив: Величезна кількість поширених ліків (заспокійливі, протиалергічні/антигістамінні, деякі знеболювальні та навіть капсули від застуди) викликають сонливість, млявість та уповільнюють процеси мислення. Люди часто ігнорують маркування на упаковці "заборонено керувати транспортними засобами".
- Патологічні соматичні стани (хвороба): Підвищений тиск, спазм судин головного болю, напад мігрені, лихоманка при грипі — все це змушує мозок витратити величезний ресурс на боротьбу з внутрішнім болем. На аналіз зовнішнього середовища просто не залишається "обчислювальної потужності" психіки.
- Біоритмологічні збої (десинхроноз): Робота в нічні зміни, різка зміна часових поясів (джетлаг). Організм на гормональному рівні налаштований на сон (виділяється мелатонін), а від людини вимагають максимальної концентрації. У такі періоди (особливо між 2-ю та 5-ю годинами ночі) кількість помилок через психофізіологічний спад є максимальною.

#### 4.2. Аналіз потенційних небезпек верстату чи обладнання. Заходи щодо їх зниження

Аналіз потенційних небезпек обладнання є ключовим елементом охорони праці (ОП). Будь-який виробничий верстат — це комплекс механічних, електричних та термічних систем, кожна з яких несе приховану або явну

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

загрозу для оператора [25, 26].

Нижче наведено детальний аналіз небезпек та систему заходів щодо їх зниження згідно з сучасними стандартами охорони праці.

### I. Аналіз потенційних небезпек верстату чи обладнання

Усі небезпеки, що виникають під час експлуатації обладнання, класифікують на кілька основних груп:

#### 1. Механічні небезпеки

Це найпоширеніша група ризиків, пов'язана з рухомими частинами обладнання:

- Небезпека затягування та намотування: Обертові деталі (вали, шпинделі, зубчасті передачі, шків, фрези, свердла) можуть захопити одяг, волосся або пальці працівника.
- Небезпека порізу та відрізання: Гострі кромки інструментів, рухомі ножі, пили.
- Небезпека роздавлювання та розчавлювання: Виникає у вузлах, де деталі рухаються назустріч одна одній (преси, лещата, вальці) або наближаються до нерухомих частин станини.
- Відлітання елементів: Викид оброблюваної деталі (наприклад, зворотний удар деревини на циркулярній пилі), виліт стружки, осколків інструменту або частин самого верстату у разі його руйнування.

#### 2. Електричні небезпеки

- Прямий контакт: Дотик до відкритих струмоведучих частин під напругою (оголені дроти, клеми).
- Непрямий контакт: Дотик до металевого корпусу верстату, який опинився під напругою внаслідок пробію або пошкодження ізоляції.
- Електрична дуга: Виникає під час комутації потужних кіл або короткого замикання.

#### 3. Термічні небезпеки

- Опіки від контакту з гарячими поверхнями обладнання (нагрівальні елементи, екструдери, деталі після інтенсивної механічної обробки).

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Дія розпечених бризок металу або пари.
- 4. Шкідливі виробничі фактори (ергономічні та екологічні)
- Шум і вібрація: Тривалий вплив руйнує слух (глухота) та викликає вібраційну хворобу (порушення судин і суглобів).
- Емісія шкідливих речовин: Виділення пилу, газів, масляного туману або парів змащувально-охолоджувальних рідин (ЗОР).
- Недостатнє або неправильне освітлення: Викликає стробоскопічний ефект (коли обертовий вал через пульсацію світла здається нерухомим) та втому очей.

## II. Заходи щодо зниження небезпек (Побудова системи захисту)

В охороні праці діє жорстка ієрархія заходів управління ризиками. Захист має впроваджуватися від найбільш ефективного (конструктивного) до найменш ефективного (ЗІЗ).

### THE HIERARCHY ON CONTROLS

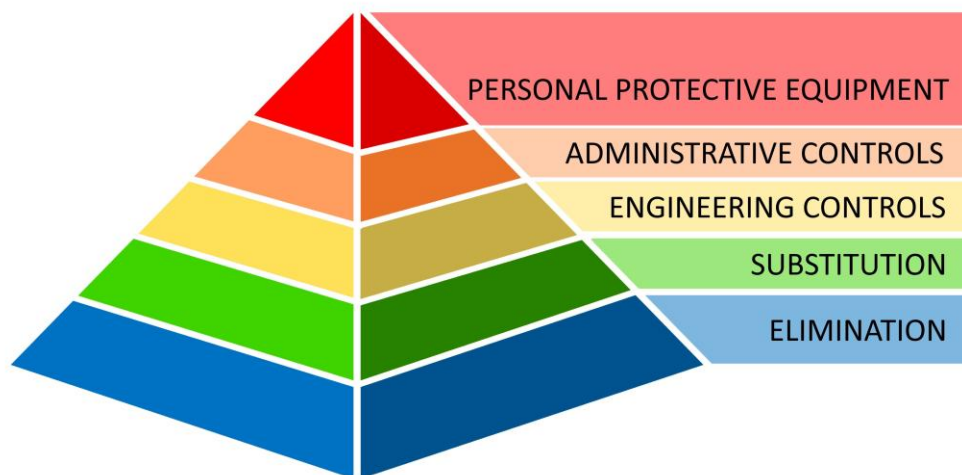


Рисунок 4.1 - Ієрархія заходів управління ризиками

#### 1. Інженерні та конструктивні заходи (Найвища ефективність)

Ці заходи закладаються ще на етапі проектування або модернізації верстату:

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Захисні огороження: Нерухомі або рухомі кожухи, які фізично перекривають доступ до небезпечної зони (оберткових шківів, зони різання).
- Блокувальні пристрої (Інтерлоки): Механічні чи електричні системи, які унеможливають запуск верстату, якщо захисний кожух відчинений, або миттєво зупиняють його у разі спроби відкрити захист під час роботи.
- Дворучне управління: Застосовується на пресах або гільютинах. Щоб обладнання зробило робочий хід, оператор повинен одночасно натиснути дві кнопки двома руками. Це гарантує, що його руки фізично перебувають поза зоною роздавлювання.
- Світлові завіси та оптичні бар'єри: Інфрачервоні промені перед небезпечною зоною. Якщо рука працівника перетинає промінь, верстат миттєво зупиняється.

## 2. Технічні заходи електро- та віробезпеки

- Заземлення та занулення: Металевий корпус верстату обов'язково з'єднується із контуром заземлення для миттєвого спрацювання автоматів захисту у разі пробією ізоляції.
- Застосування ПЗВ (пристроїв захисного відключення): Знеструмлюють систему при виявленні витоку струму.
- Віброізоляція: Встановлення верстатів на віброгасильні фундаменти, пружинні або гумові амортизатори (віброопори).
- Місцева вентиляція: Вбудовані відсмоктувачі (аспіраційні системи) для видалення пилу та газів безпосередньо з зони їх утворення.

## 3. Організаційні та адміністративні заходи

- Система LOTO (Lockout/Tagout - Заблокуй та познач): Світовий стандарт обслуговування обладнання. Під час ремонту чи налаштування верстату його енергетичні канали (електрика, пневматика, гідравліка) перекриваються, а на вимикачі вішається замок і бирка конкретного майстра. Ніхто інший не може випадково ввімкнути верстат.
- Навчання та допуски: Проведення інструктажів (вступний, первинний,

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повторний), навчання безпечним методам праці, стажування під керівництвом досвідченого наставника.

- Маркування та сигналізація: Фарбування небезпечних зон у сигнальні кольори (жовто-чорні смуги), встановлення знаків безпеки ("Обережно! Обертові деталі", "Висока напруга"), світлова та звукова сигналізація перед запуском ліній.

#### 4. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Застосовуються тоді, коли технічні заходи не усунули ризик повністю:

- Окуляри або захисні щитки (захист від стружки).
- Навушники або протишумні вкладиші.
- Спецодяг припасованого крою (без звисаючих елементів, манжети на гумці, волосся прибрано під головний убір: категорично заборонено працювати в рукавицях біля обертових шпинделів, оскільки трикотаж легко затягує у верстат).
- Захисне взуття з металевим підноском (захист від падіння важких деталей).

Важливий принцип ОП: Жоден засіб індивідуального захисту (наприклад, захисні окуляри) не повинен замінювати технічний засіб (наприклад, захисний екран на верстаті). Вони мають працювати в комплексі, де пріоритет завжди віддається безпеці самої конструкції обладнання.

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		66

## ВИСНОВКИ

1. Фрезерно-центрувальна операція є складним технологічним процесом, що поєднує два принципово різних методи обробки різанням – фрезерування та центрування. Від її якісного виконання залежить точність та продуктивність всього подальшого виготовлення деталі.
2. Основні технологічні особливості операції включають одночасну або послідовну обробку двох торців, застосування спеціального центрувального інструменту, необхідність забезпечення високої співвісності центрових отворів та використання гідравлічних приводів подач для синхронізації рухів інструментальних головок.
3. Сучасні фрезерно-центрувальні верстати представляють собою високопродуктивне обладнання для серійного та масового виробництва, а в умовах гнучкого автоматизованого виробництва доцільним є використання багатоцільових верстатів з ЧПК.
4. Запропонований маршрут обробки вала враховує всі конструктивні особливості, вимоги до точності та якості поверхонь, а також тип виробництва. Виконано порівняльний аналіз методів обробки, обрано раціональне обладнання, розраховано режими різання для всіх основних операцій. На основі розрахунків потужності підібрано стандартні електродвигуни, які забезпечують необхідний силовий режим з резервом продуктивності.
5. Проведено комплекс кінематичних та конструктивних розрахунків: кінематичний розрахунок приводу головного руху для свердлильної головки; конструктивні розрахунки валів коробки швидкостей.
6. Опрацьовано питання безпеки життєдіяльності та питання з основ охорони праці.

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Петрик</i>				<i>Висновки</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Шанайда</i>					Т	8	3
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ, ФМТ каф. ВІ, гр. МВ-41</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа</i>							

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.
2. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.
3. Кузнецов Ю. М., Скляр Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнецов, Р. А. Скляр; під ред. Ю. М. Кузнецова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. 323 с.
4. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
5. Гевко Р.Б., Хомик Н.І., Жаровський О.С., Довбуш Т.А. Деталі машин та основи автоматизованого конструювання: навчальний посібник до лабораторних робіт Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. 256 с.
6. Орищук Р.М., Чернявський І.В., Шанайда В.В. Дослідження точності позиціонування деталей різної геометричної форми у верстатних механізмах кріплення і силової фіксації. *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво : матеріали ХІХ Міжнародної науково-практичної конференції (м. Суми, 25–26 листопада 2020 року) / редкол.: В. О. Залоза, О. В. Івченко. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 183 с. - С.63-66.*
7. Кривий П. Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення підвищеної якості згортних втулок : монографія / Кривий П. Д., Сенік А. А. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 232 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/27951>

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Петрик</i>				<i>Аналітична частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Шанайда</i>					<i>Т</i>	68	4
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ, ФМТ</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник</i>					<i>каф. ВІ, гр. МВ-41</i>		
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа</i>							

- 8.Кривий П.Д. Підвищення продуктивності процесу і якості плоскої поверхні сформованої комбінаційним торцевим фрезеруванням / Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Крупа В.В., Мимрик Н.П. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць.* – Краматорськ : ДДМА, 2019. – № 3 (47). С.199 - 206.
- 9.Склярів Р., Шанайда В. Розробка критеріальних оцінок для аналізу компоновок верстатів з паралельною кінематикою. *Матеріали ХІХ наукової конференції ТНТУ ім. Ів. Пулюя, 18-19 травня 2016 року* – Т. : ТНТУ, 2016 – С. 74.
10. 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.
11. 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.
12. Склярів Р. А., Шанайда В. В. Прогнозування технічних характеристик металорізальних верстатів з використанням нейронних мереж. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали ХХІІІ Міжнародної науково-технічної конференції 28 – 31 травня 2025 року / за заг. ред. В. Д. Ковальова.* – Краматорськ-Тернопіль-Свалява: ДДМА, 2025. – С. 252.
- 13.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.

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

14. Zubovetska, N. T., Redko, R. H., Chetverzhuk, T. I., Skliarov, R. A., Shanayda, V. V. Experimental study of the process of boring machine parts using a cutter equipped with tensor sensors. *Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*, 2025. №1(58). С. 88–96. [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2025-1\(58\)-88-96](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2025-1(58)-88-96)
15. Скляр Р., Шанайда В. Використання багатofункціонального пакету MathCad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. *Збірник тез доповідей XVI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*. Т.: ТНТУ, 2012. С. 69.
16. Скляр Р. А., Шанайда В.В. Динамічна модель приводу автоматичної заміни інструментів багатоцільових верстатів. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції „Обладнання і технології сучасного машинобудування“*, 11-12 травня 2017 року. Т. : ТНТУ, 2017. С. 155–156.
17. Гагалюк А.В., Паливода Ю.Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування : навчальний посібник Тернопіль: Осадца Ю. В., 2025. – 308 с.
18. Скляр Р. А., Шанайда В. В., Савчук М. А. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій / Р. Скляр, В. Шанайда, М. Савчук. *Вісник ТНТУ*. – 2011. –Том 16. – № 1. – С.117-125.
19. Металорізальні верстати. Кінематичний аналіз. Практикум до виконання практичних та лабораторних робіт [Електронний ресурс]: Навч. посібник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Металорізальні верстати та системи» / О.В. Шевченко, А.Ю. Беляєва ; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 6,5 Мбайт). Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2019. 86 с.

					КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Шанайда В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль: Вид-во ТДТУ, 2001. 163 с.
21. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи / Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, А.В. Бабій, Г.Б. Цьонь, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП ПаляницяВ.А.,2022. 220 с.
22. Гагалюк А.В., Паливода Ю.Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування : навчальний посібник Тернопіль: Осадца Ю. В., 2025. – 308 с.
- 23.Пістун І.П., Кочубей В.І. Практикум з безпеки життєдіяльності. Підручник. Вид-во Університетська книга, 2023. 560 с.
- 24.Атаманчук П.С. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 276 с.
- 25.Андрейчук Н.І. Охорона праці: навч. посіб. / Н.І. Андрейчук, Ю.В. Кіт, С.В. Шибанов, О.В. Шерстньова. Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2021. 276 с.
- 26.Бедрій Я.І. Основи охорони праці: навч. посіб. 4-е вид. перероб. і доп. Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2018. 240 с.

					<i>КРБ 22-073.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		71