

**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: Модернізація шліфувальної бабки круглошліфувального верстата  
для шліфування із швидкістю 80 м/с

Виконав (ла): студент (ка) IV курсу, групи МВ-41  
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

Керівник

\_\_\_\_\_

(підпис)

Нормоконтроль

\_\_\_\_\_

(підпис)

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_

(підпис)

Рецензент

Шалапа А.Р.

(прізвище та ініціали)

Гагалюк А.В.

(прізвище та ініціали)

Кобельник В.Р.

(прізвище та ініціали)

Крупа В.В.

(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2026

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

Крупа В.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«27» січня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавра  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування  
(і назва спеціальності)

студенту Шалапі Андрію Руслановичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація шліфувальної бабки круглошліфувального верстата для шліфування із швидкістю 80 м/с

Керівник роботи старший викладач кафедри ВІ, ГАГАЛЮК Андрій Валерійович, к.т.н  
(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 22 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі та річна програма випуску, паспорт верстата

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ, 1. Аналітичний розділ: аналіз завдання, призначення деталі, характеристика матеріалу деталі та заготованки, визначення типу та організаційної форми виробництва характеристика типу виробництва.

2. Технологічний розділ: аналіз методу отримання заготовки, вибір базування, проектування маршруту оброблення, підбір верстатного обладнання та інструментального забезпечення, аналітичний розрахунок припусків і режимів різання для однієї технологічної операції (для решти ТО табличним методом)

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

Кресленник деталі та заготовки – 1фА1;

Технологічний аналіз обробки деталі або схеми формоутворення – 1фА1;

Кінематична та структурно-кінематична схеми верстата – 1фА1;

Складальний кресленник модернізованого приводу головного руху – 2фА1;



## АНОТАЦІЯ

Шалапа А.Р. «Модернізація шліфувальної бабки круглошліфувального верстата для шліфування із швидкістю 80 м/с» : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавр : спец. 133 – галузеве машинобудування / кер. А. В. Гагалюк. Тернопіль : факультет інженерії машин, споруд та технологій, кафедра конструювання верстатів інструментів та машин, група МВ-41.: ТНТУ, 2026., 72 с.

**В аналітичному розділі** проведено детальний аналіз технічного завдання, надано характеристику об'єкту виробництва та виконано глибокий літературний огляд сучасних науково-технічних джерел за тематикою дослідження.

**У технологічному розділі** досліджено особливості формоутворення поверхонь деталі, обґрунтовано вибір металообробного обладнання та спроектовано заготовку з визначенням операційних розмірів, припусків і допусків. Розраховано оптимальні режими різання та проведено технічне нормування часу.

**У конструкторському розділі** вибрано та обґрунтовано структурно-кінематичну схему верстата, визначено структуру приводів (головного руху, бабки вибору та руху подач), а також розраховано потужність двигунів. Виконано конструювання шпиндельного вузла, підшипникових опор та проведено розрахунок клинопасової передачі.

**Практичне значення:** Результати роботи можуть бути використані у машинобудівному виробництві для оптимізації процесів механічної обробки та модернізації вузлів металорізальних верстатів.

**Ключові слова:** технологічний процес, формоутворення, приводи верстата, режими різання, шпиндельний вузол, кінематична схема, припуски, нормування часу.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ док.м.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шалапа А.Р.			<b>АНОТАЦІЯ</b>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Гагалюк А.В.					4	1
Рецензент						<i>ТНТУ ім.І.Пулюя, гр.МВ-41</i>		
Н. контр.		Кобельник В.Р.						
Затверд.		Крупа В.В.						

## Annotation

Shalapa A.R. "Modernization of the grinding headstock of a cylindrical grinding machine for grinding at a speed of 80 m/s.": work for the qualification degree of bachelor: spec. 133 - industrial mechanical engineering / dir. A. V. Gagalyuk. Ternopil: Faculty of Mechanical Engineering, Structures and Technologies, Department of Design of Machine Tools and Machines, Group MV-41.: TNTU, 2026., 72 p.

In the analytical section, a detailed analysis of the technical task is carried out, a characteristic of the production facility is provided and an in-depth literature review of modern scientific and technical sources on the topic of the study is performed.

In the technological section, the features of the shaping of the surfaces of the part are investigated, the choice of metalworking equipment is justified and the workpiece is designed with the determination of operating dimensions, allowances and tolerances. The optimal cutting modes are calculated and technical time standardization is carried out.

In the design section, the structural and kinematic scheme of the machine tool was selected and substantiated, the structure of the drives (main movement, headstock selection and feed movement) was determined, and the power of the engines was calculated. The spindle assembly, bearing supports were designed and the V-belt transmission was calculated.

Practical significance: The results of the work can be used in machine-building production to optimize the processes of mechanical processing and modernization of metal-cutting machine tool assemblies.

Keywords: technological process, shaping, machine tool drives, cutting modes, spindle assembly, kinematic scheme, allowances, time standardization.

					<i>КРБ 22-029.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						5
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	<b>7</b>
<b>1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	<b>9</b>
1.1 Аналіз завдання .....	9
1.2 Характеристика об'єкту виробництва .....	10
1.3 Літературний огляд щодо тематики роботи .....	14
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	<b>22</b>
2.1 Аналіз формоутворення поверхонь деталі.....	22
2.2 Вибір металообробного обладнання .....	27
2.3 Визначення допусків, припусків і операційних розмірів. Проектування заготовки.....	28
2.4 Розрахунок режимів різання.....	32
2.5 Нормування часу .....	36
<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b> .....	<b>40</b>
3.1 Вибір та обґрунтування структурно-кінематичної схеми верстата.....	40
Рухи у верстаті .....	40
3.2 Кінематичний розрахунок верстата та обґрунтування його кінематичної схеми. ....	44
3.3 Вибір структури приводів верстату .....	45
3.4 Привід головного руху.....	46
3.5 Привід бабки вибору .....	47
3.6 Привід руху подач.....	50
3.7 Вибір потужності і типу двигунів .....	50
3.8 Конструювання та розрахунок окремих вузлів верстата .....	52
3.9 Підшипники опор шпиндельного вузла.....	54
3.10 Розрахунок клино – пасової передачі.....	56
<b>4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	<b>58</b>
4.1 Розрахунок віброізолюючих опор для МРВ .....	58
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b> .....	<b>62</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b> .....	<b>63</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Шалана А.Р.</i>			<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Гагалюк А.В.</i>				6	2
<i>Рецензент</i>					<i>ТНТУ ім.І.Пулюя,</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>			<i>гр.МВ-41</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.В.</i>					

**ЗМІСТ**

## ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне машинобудування вимагає безперервного підвищення продуктивності обробки та якості поверхонь деталей. Шліфування є одним із ключових фінішних процесів, що забезпечує високу точність розмірів та малу шорсткість. Традиційні методи круглого шліфування на швидкостях 30 м/с - 35 м/с уже не повною мірою задовольняють вимоги інтенсифікації виробництва.

Перехід на швидкісне шліфування зі швидкістю 80 м/с дозволяє радикально підвищити продуктивність обробки, зменшити сили різання та покращити якість поверхневого шару деталей. Проте реалізація таких швидкостей на наявному обладнанні неможлива без докорінної зміни конструкції основних вузлів. Найбільш навантаженим елементом верстата в цих умовах стає шліфувальна бабка. Модернізація цього вузла є актуальною науково-технічною задачею, що дозволяє адаптувати чинний парк обладнання до сучасних високопродуктивних технологій без значних капітальних витрат на придбання нових верстатів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Ця робота є частиною тематики кваліфікаційних робіт здобуття освітнього рівня бакалавр галузевого машинобудування кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин за напрямом удосконалення, відновлення та модернізації металорізального обладнання промислових підприємств.

**Мета і задачі дослідження.** Метою бакалаврської роботи є підвищення продуктивності та якості обробки деталей на круглошліфувальному верстаті шляхом модернізації шліфувальної бабки для забезпечення можливості роботи на швидкості 80 м/с.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан технологій швидкісного шліфування та конструкцій шліфувальних бабок;

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>ВСТУП</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Шалапа А.Р.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Гагалюк А.В.</i>					7	6
<i>Рецензент</i>						<i>ТНТУ ім. І.Пулюя, гр.МВ-41</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.В.</i>						

- виконати кінематичні та силові розрахунки головного приводу та шпиндельного вузла;
- обґрунтувати вибір та розрахувати нові підшипникові вузли (гідродинамічні, гідростатичні або прецизійні кочення) для роботи на підвищених обертах;
- розробити модернізовану конструкцію шліфувальної бабки;
- розрахувати параметри системи змащення та охолодження для компенсації підвищеного тепловиділення.
- провести техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації.

**Об'єкт дослідження** – процес швидкісного круглого шліфування та конструктивні елементи круглошліфувального верстата.

**Предмет дослідження** – конструкція, кінематичні, динамічні та експлуатаційні характеристики шліфувальної бабки круглошліфувального верстата при переході на швидкість обробки 80 м/с.

**Методи дослідження.** У роботі використано загальноінженерні методи розрахунку деталей машин, теорію різання матеріалів, аналітичні методи розрахунку шпинделів на жорсткість та вібростійкість, а також сучасні методи комп'ютерного тривимірного моделювання та графічного проектування.

Наукова новизна одержаних результатів **полягає в удосконаленні** конструктивного виконання шпиндельного вузла шліфувальної бабки, що забезпечує стабільність динамічних характеристик верстата при збільшенні швидкості різання до 80 м/с.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено конструкторську документацію на модернізовану шліфувальну бабку, яку можна безпосередньо впроваджувати на машинобудівних підприємствах для модернізації наявних круглошліфувальних верстатів моделей типу 3М151. Це дозволить скоротити основний технологічний час обробки та підвищити точність деталей.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Аналіз завдання

Метою даної кваліфікаційної роботи є модернізація шліфувальної бабки круглошліфувального верстата моделі 3М151 для забезпечення швидкості різання шліфувального круга 80 м/с. Підвищення швидкості шліфування є актуальним напрямком розвитку сучасного машинобудування, оскільки дозволяє суттєво підвищити продуктивність процесу обробки, покращити якість поверхневого шару деталей та знизити питомі енерговитрати на знімання припуску.

Стандартний верстат 3М151 розрахований на швидкість шліфувального круга до 50 м/с. Перехід до швидкості 80 м/с (швидкісне шліфування) вимагає комплексного вирішення таких технічних задач:

- проаналізувати сучасний стан технологій швидкісного шліфування та конструкцій шліфувальних бабок;
- виконати кінематичні та силові розрахунки головного приводу та шпиндельного вузла;
- обґрунтувати вибір та розрахувати нові підшипникові вузли (гідродинамічні, гідростатичні або прецизійні кочення) для роботи на підвищених обертах;
- розробити модернізовану конструкцію шліфувальної бабки;
- розрахувати параметри системи змащення та охолодження для компенсації підвищеного тепловиділення.
- провести техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації.

Об'єктом технологічної частини роботи є важіль трапеції лівий – відповідальна деталь рульового керування автомобіля, яка в умовах серійного виробництва підлягає шліфуванню конічної посадкової поверхні. Підвищення швидкості шліфування дозволяє скоротити машинний час операції та покращити якість оброблюваних поверхонь.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Шалапа А.Р.</i>					9	8
<i>Перевір.</i>		<i>Гагалюк А.В.</i>				<i>ТНТУ ім.І.Пулюя, гр.МВ-41</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.В.</i>						

Завдання роботи передбачає: аналіз конструктивних особливостей деталі та базового верстата; розрахунок режимів шліфування для заданої деталі; розробку кінематичної схеми модернізованого верстата; конструювання модернізованого приводу шліфувального круга із застосуванням засобів САПР.

## 1.2 Характеристика об'єкту виробництва

Вихідними даними на проект є креслення деталі «Важіль», базовий технологічний процес та річна програма її випуску, що становить 30000 штук. Така програма випуску деталей характерна для багатосерійного типу виробництва. Деталь належить до класу важелів і виготовляється зі сталі 40Х [2] з наступною термічною обробкою – загартування та відпуск до твердості 28 – 32 HRC. Така твердість обумовлює необхідність фінішного оброблення циліндричних поверхонь методом шліфування.

Деталь «Важіль» є складовою механізму повороту коліс і призначена для керування поворотними колесами комбайна (рис.1.1). Деталь є асиметричною та має з однієї сторони різьбову поверхню, яка переходить в конічну поверхню, з пазом для сегментної шпонки малої конусності, якою вона закріплюється в іншій деталі за рахунок взаємодії конічних поверхонь та сил тертя, а з іншого боку розміщена «бобишка» з конічним отвором, котрий в керуючому мості з'єднаний з конічним пальцем рульової тяги, а різьбовий хвостовик з керуючою тягою моста.

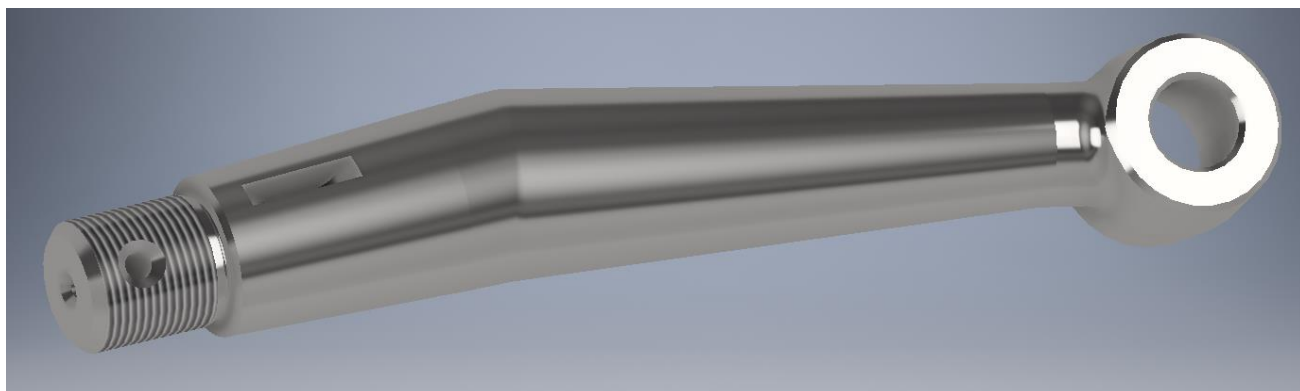


Рис. 1.1 Деталь «Важіль» та його конструктивні поверхні

Найбільш відповідальними в цій деталі є конічні поверхні з конусністю 1:8 та різьбова поверхня M24×2 – 6g, тобто поверхні Д, К та Е котрі забезпечують

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

центрування та взаємну співвісність деталей. Поверхні А, Б, В, Г, Ж, З, І, Л є допоміжними та призначені для побудови профілю деталі. Основні поверхні Е і К виконані з допуском 0,005 – 0,06 мм, різьбова поверхня Д з допуском 6g. Основні технічні вимоги відносяться до точності виконаних основних поверхонь Е і К та шорсткості, яка становить Ra 2,5. Хімічний склад та основні механічні властивості матеріалу Сталь 40Х наведено в таблиці 2.1 і 2.2.

Таблиця 1.1 хімічний склад сталі 40Х ДСТУ 7806:2015

Не більше, %							
Хім. елем	Si	Cu	Mn	Ni	P	Cr	S
Відсоткове відношення	0.17-0.37	0,3	0,5 – 0,8	0,3	0,035	0,08 – 1,1	0,035

Таблиця 1.2 Механічні властивості сталі ДСТУ 7806:2015

Гартування або нормалізація, С	Границя текучості $\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	Границя витривалості $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	Відносне видовження $\delta_s$ , %	Відносне звуження $\psi$ , %	Ударна в'язкість Дж/см <sup>2</sup>
860	785	980	10	45	59

Основні завдання при аналізі технологічності конструкції зводяться до максимального здешевлення технологічного процесу при прийнятній якості. Виходячи з аналізу основних технічних вимог, технологічних методів досягнення якості поверхонь та їх контроль зводимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. Технологічні методи досягнення необхідних параметрів поверхонь та методи їх контролю

Позн. поверхні	Технічна умова або вимога	Метод виконання	Метод контролю
К	Забезпечити точність виконання конічного отвору в гранях 0,05 і шорсткості поверхні Ra 2,5	Забезпечується технол. обробкою свердління, зенкерування, розвертання і розкатування отвору спеціальним конічним інструментом	Контроль здійснюється конічними калібрами відповідного розміру. Прилягання калібрів контролюється фарбою по плямі контакту.
Е	Забезпечити точність виконання конічної поверхні в гранях І 0,05 і шорсткості	Забезпечується технологічної обробного чорнового і чистового точіння по програмі на	Контроль здійснюється конічними калібрами. Точність кута конуса перевіряється фарбою по

	поверхні R <sub>a</sub> 2,5	верстатах з ЧПУ і подальшого шліфування	плямі контакту.
		Конічної поверхні	Шорсткість обробки перевіряється зразками шорсткості.
Д	Забезпечити якість різьби по і точність різьби б q, шорсткість R <sub>a</sub> 2,5	Забезпечується методом накатування різі	Контроль точності різі здійснюється граничними різьбовими калібрами ПР- НЕ
	Забезпечити лінійні розміри деталі в границях креслення	Забезпечується приміщення оснастки в процесі обробки, що забезпечує їх виконання.	Штангенциркуль і спеціальні пристрої

Технологічний контроль креслення і аналіз технологічності конструкції мають на меті встановити відповідність конструкції деталі сучасному рівню розвитку техніки і технології, ступінь економічності обробки, вибір найбільш раціональних методів виготовлення, які забезпечують якість деталі.

Деталь «Важіль трапеції лівий і правий» має достатню жорсткість для обробки її різними різальними інструментами і можливість закріплювати її в різних технологічних пристроях. Штамповка деталі є середньою по складності, вимагає приміщення спеціальної штампової оснастки для її отримання.

Деталь має конічні базові поверхні, виконані по 9 квалітету точності. Їх технологічне виконання можливе методом шліфування зовнішнього конуса і методом розгортання з розкатуванням внутрішнього конуса.

Нетехнологічного в конструкції деталі є ламана вісь деталі, але обробка її є нескладною при застосуванні спеціальних пристроїв на МРВ при її закріпленні та базуванні.

В цілому деталь в достатній мірі є технологічною з можливістю забезпечення технічних вимог універсальним обладнанням нормальної точності з застосуванням спеціалізованого оснащення.

Знаходимо такі показники технологічності деталі:

- коефіцієнт технологічної працездатності:

$$K_{т.п} = \frac{П_{пр}}{П_б},$$

де  $П_{пр}$  – працездатність обробки для проектного варіанту техпроцесу;

					КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$P_6$  – працемісткість обробки для базового варіанту техпроцесу .

$$K_{т.п} = \frac{13,22}{17,9} = 0,74 \text{ – технологічна}$$

- Коефіцієнт технологічної собівартості:  $K_{m.c} = \frac{C_{np}}{C_6}$ ,

де  $C_{np}$  – собівартість обробки для проектного варіанту техпроцесу;

$C_6$  – собівартість обробки для базового варіанту техпроцесу .

$$K_{т.с} = \frac{20,83}{39,22} = 0,53 \text{ – технологічна}$$

- Коефіцієнт використання матеріалу:  $K_m = \frac{m}{M}$ ,

де  $m$  – маса деталі;

$M$  – маса заготовки.

$$K_m = \frac{m}{M} = \frac{1,54}{2,05} = 0,75 > 0,5 \div 0,75 \text{ – технологічна}$$

По даному показнику деталь технологічна оскільки нормативний  $K_m$  для методів пластичного деформування, яким одержується заготовка, становить  $0,5 \div 0,75$ .

- Коефіцієнт точності обробки:  $K_m = 1 - \frac{1}{A_{cp}}$ ,

де  $A_{cp}$  – середня точність обробки, яка визначається за формулою:

$$A_{cp} = \frac{1 \times n_1 + 2 \times n_2 + \dots + 19n_{19}}{\sum_1^{19} n_i},$$

де  $n_i$  – кількість поверхонь з  $i$ -им квалітетом обробки.

$$A_{cp} = \frac{1 \times n_1 + 2 \times n_2 + \dots + 19n_{19}}{\sum_1^{19} n_i} = \frac{3 \times 9 + 2 \times 10 + 2 \times 12 + 4 \times 14}{11} = 11,5$$

$$K_m = 1 - \frac{1}{A_{cp}} = 1 - \frac{1}{11,5} = 0,91 > 0,8 \text{ – технологічна}$$

Це свідчить про широку можливість використання для обробки деталі верстатів нормальної точності.

- Коефіцієнт шорсткості:  $K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}}$ ,

де  $B_{cp}$  – середня шорсткість обробки, яка визначається за формулою:

$$B_{cp} = \frac{0.01 \times n_1 + 0.02 \times n_2 + \dots + 80 \times n_{14}}{\sum_1^{14} n_i},$$

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $n_i$  – кількість поверхонь які мають шорсткість по відповідному параметру ряду  $R_a$ .

$$B_{cp} = \frac{0.01 \times n_1 + 0.02 \times n_2 + \dots + 80 \times n_{14}}{\sum_1^{14} n_i} = \frac{5 \times 1 + 20 \times 7 + 2,5 \times 3}{11} = 13,68$$

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} = \frac{1}{13,68} = 0,1 < 0.32 - \text{технологічна}$$

Це свідчить про широку можливість використання стандартного ріжучого інструменту.

Всі конструктивні елементи деталі, які підлягають обробці мають правильну геометричну форму, що дає можливість використовувати типові технологічні методи обробки типових поверхонь.

На цій підставі робимо висновок, що дана деталь є технологічною у виготовленні.

### 1.3 Літературний огляд щодо тематики роботи

Шліфування є одним із найпоширеніших методів фінішної механічної обробки, що забезпечує високу точність розмірів та якість поверхневого шару деталей машин. Круглошліфувальні верстати займають особливе місце серед металорізального обладнання, оскільки дозволяють обробляти зовнішні циліндричні, конічні та фасонні поверхні з досягненням шорсткості  $R_a$  0,1–0,8 мкм та точності 6–7-го квалітету. Проблематика модернізації шліфувального обладнання для роботи на підвищених швидкостях різання (понад 60 м/с) набула особливої актуальності в умовах сучасного машинобудування.

Питання технологічного забезпечення точності механічної обробки докладно висвітлені у навчальному посібнику Гагалюка А.В. та Паливоди Ю.Є. [11], де систематизовано технологічні основи машинобудування, методи базування та закріплення заготовок, принципи вибору технологічного оснащення. Автори акцентують увагу на взаємозв'язку між параметрами технологічного процесу та якістю одержуваних поверхонь, що є принциповим і для процесів шліфування. Зокрема, у роботі показано, що підвищення швидкості різання сприяє

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшенню сил різання та покращенню якості обробленої поверхні за умови відповідного конструктивного забезпечення верстата.

Технологія обробки на верстатах з числовим програмним керуванням, що описана у монографії Гевка Б.М. та ін. [6], розкриває можливості автоматизованого керування режимами різання, у тому числі швидкістю шліфувального круга. Підвищення швидкості шліфування до 80 м/с і більше потребує принципово нових підходів до проектування шліфувальної бабки: забезпечення динамічного балансування шпиндельного вузла, підбору підшипників підвищеної точності та вдосконалення системи мащення.

Питання вибору інструментальних матеріалів та режимів різання розглянуто у навчально-методичному посібнику Паливоди Ю.Є., Дячуна А.Є. та Лещука Р.Я. [12]. Автори систематизують дані щодо фізико-механічних властивостей абразивних та надтвердих матеріалів, описують методику розрахунку режимів різання з урахуванням матеріалу заготовки, характеристики інструменту та вимог до якості поверхні. Ці дані є базовими при проектуванні шліфувальних операцій на підвищених швидкостях.

Значний внесок у дослідження впливу режимів обробки на якість оброблених поверхонь зробили Кривий П.Д. та Крупа В.В. у серії наукових праць. Зокрема, у роботі [37] представлено геометричні та математичні моделі формування шорсткості циліндричних поверхонь при точінні та розточуванні, а у [24] досліджено вплив випадковості подачі на висоту мікронерівностей поверхні. Хоча ці дослідження стосуються процесів точіння та розточування, викладені підходи до моделювання якості поверхні цілком придатні й для аналізу процесів шліфування на підвищених швидкостях.

Технологія виготовлення та застосування втулок шкворня кочення в ходовій частині транспортних засобів, описана у роботі Сеника А. та ін. [16], демонструє важливість забезпечення точності оброблення циліндричних поверхонь у відповідальних вузлах. Шліфування є завершальною операцією у технологічному маршруті виготовлення таких деталей, тому підвищення швидкості шліфування до 80 м/с дозволяє суттєво підвищити продуктивність та знизити собівартість їх виготовлення.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						15
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.ум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Особливе місце займають дослідження, виконані Крупою В.В. [44], де розроблено металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів. Запропоновані у дисертаційній роботі принципи рівномірного розподілу навантаження між ріжучими елементами можуть бути перенесені на конструювання шліфувальних кругів для швидкісного шліфування, де балансування абразивного інструменту є критично важливим.

Жорсткість верстатних систем є визначальним фактором при роботі на підвищених швидкостях різання. Кобельник В.Р. та Кривий П.Д. у роботі [31] дослідили жорсткість вертикально-свердлильних верстатів, розробивши методику визначення статичної та динамічної жорсткості технологічної системи. Отримані результати свідчать про те, що підвищення жорсткості шпиндельного вузла є першочерговою умовою для стабільної роботи верстата при збільшенні швидкостей обробки. Для круглошліфувального верстата при швидкості 80 м/с вимоги до жорсткості шліфувальної бабки є ще більш жорсткими, ніж при традиційних режимах.

Методику дослідження кінематичної точності механізму подач верстатів висвітлено у праці [32]. Автори розробили алгоритм оцінювання точності кінематичних ланцюгів та запропонували способи підвищення точності позиціонування, що є важливим при проектуванні приводів подач круглошліфувальних верстатів. Метод оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач консольних фрезерних верстатів, описаний у роботі Кривого П.Д. та ін. [49], може бути адаптований для верстатів шліфувальної групи.

Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів, запропоноване Кобельником В.Р., Крупою В.В. та Тимошенком Н.М. [23], забезпечує більш точне визначення параметрів приводу, що особливо актуально при проектуванні верстатів з підвищеними вимогами до стабільності швидкості шліфувального круга. Дослідження розсіювання величин подач токарних верстатів [28] також вказує на необхідність врахування стохастичного характеру кінематичних параметрів при проектуванні та модернізації верстатного обладнання.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						16
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Точність позиціонування деталей у верстатних механізмах кріплення досліджували Орищук Р.М., Чернявський І.В. та Шанайда В.В. [52]. Авторами встановлено, що геометрична форма деталі суттєво впливає на точність її базування, а отже — й на якість оброблення. Дані результати необхідно враховувати при проектуванні пристосувань для встановлення заготовок на круглошліфувальному верстаті при швидкісному шліфуванні.

Аналіз напружено-деформованого стану є обов'язковим етапом при проектуванні та модернізації верстатів. Сташків М.Я., Підгурський І., Підлужній О. та ін. [7] виконали аналіз напружено-деформованого стану рами транспортного засобу методом скінченних елементів. Описана методологія застосування МСЕ для оцінки міцності несучих конструкцій безпосередньо стосується й проектування корпусу шліфувальної бабки, яка при швидкості 80 м/с зазнає значно більших динамічних навантажень порівняно з традиційними конструкціями. Гагалюк А.В. та Крупа В.В. у роботі [8] описали моделювання станини токарного верстата методом топологічної оптимізації. Запропонований авторами підхід дозволяє мінімізувати масу конструкції при забезпеченні необхідної жорсткості, що є важливим при проектуванні шліфувальної бабки: зменшення маси шпинделя та ротора забезпечує зниження динамічних навантажень на підшипникові вузли при роботі на швидкості 80 м/с. Генетичні алгоритми в генеративному дизайні, що розглянуті у роботі Гагалюка А.В. та Склярова Р.А. [26], відкривають можливості для автоматизованого пошуку оптимальної конструкції вузлів верстата.

Опір матеріалів як теоретична основа розрахунку деталей машин систематизовано у навчальному посібнику Довбуша Т.А. та ін. [27]. Методи розрахунку на міцність, витривалість та жорсткість, описані у цій праці, застосовуються при розрахунку шпинделя шліфувальної бабки, підбору підшипників та розрахунку корпусних деталей. Динаміка машин, розглянута у посібнику Бабія А.В. та ін. [21], дозволяє аналізувати власні частоти коливальних шліфувального шпинделя та запобігати виникненню резонансних явищ при роботі на підвищених швидкостях.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						17
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Конструкторсько-технологічне забезпечення якості виробів досліджено у монографії Кривого П.Д. та Сеника А.А. [36], де розглянуто закономірності формування точності циліндричних поверхонь деталей типу втулок. Авторами встановлено взаємозв'язок між технологічною спадковістю та точністю форми і розмірів деталей, що є важливим при розробці технологічного процесу для деталей шліфувальної бабки.

Обґрунтування параметрів спеціального трикулачкового патрона для затиску тонкостінних циліндричних заготовок, виконане Крупою В.В., Кобельником В.Р. та Гагалюком А.В. [45], демонструє важливість правильного вибору пристосування для попереднього оброблення заготовок деталей шліфувального шпинделя. Конструкторсько-технологічні параметри багаторізцевих розточних головок [35, 43], що забезпечують оброблення отворів корпусів з підвищеною точністю, застосовуються при виготовленні посадкових місць підшипників шліфувальної бабки.

Розточувальні інструменти з попарно-асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких циліндричних отворів [54], розроблені Кривим П.Д. та ін., дозволяють підвищити точність і продуктивність оброблення отворів корпусних деталей верстатів. Технологічна спадковість та точність форми поперечного перерізу циліндричних поверхонь гідроциліндрів, досліджені у роботі Кривого П.Д. та ін. [18], вказують на важливість вибору раціональних умов попереднього оброблення деталей перед шліфуванням, що безпосередньо впливає на кінцеву точність виробів.

Методика визначення припусків табличним методом, викладена у посібнику Кухарського О.М. та Кузьміна М.І. [48], а також методичний посібник до курсового проекту [50] є практичним інструментом при розробці технологічного процесу виготовлення деталей шліфувальної бабки. Правильне визначення припусків під шліфування гарантує отримання необхідної точності після фінішної обробки.

Наукові засади прогнозування розвитку технічних систем, розроблені Кузнєцовим Ю.М. та Склярівим Р.А. [46], є теоретичною основою для аналізу тенденцій розвитку металорізальних верстатів. На основі методів прогнозування

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						18
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

можна визначити перспективні напрямки модернізації круглошліфувального обладнання, у тому числі перехід до швидкісного шліфування. Формалізований опис шпиндельного вузла як основної компоненти багатошпиндельного токарного автомата [47] містить методологічні підходи, придатні для математичного опису шпиндельного вузла шліфувальної бабки при підвищених частотах обертання.

Склярів Р.А. та ін. [59] виконали статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів, що дозволяє виявити закономірності зміни точнісних і силових параметрів верстата залежно від умов обробки. Використання методу нейронних мереж для прогнозування характеристик металорізальних верстатів [56] відкриває нові можливості для адаптивного керування процесом швидкісного шліфування, зокрема автоматичного підтримання постійної швидкості різання при зносі шліфувального круга.

Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата [60] є важливим при проектуванні приводу шліфувального шпинделя для роботи при швидкості 80 м/с. При такій швидкості різання для кола діаметром 400 мм необхідна частота обертання шпинделя становить близько 3820 об/хв, що потребує застосування частотно-регульованого електропривода з енергетично ефективними режимами пуску та гальмування.

Математичні моделі для аналізу параметрів каналів при плануванні операцій механічного оброблення та зварювання [10, 20], розроблені у роботах Шанайди В.В. та Склярова Р.А., забезпечують комплексний підхід до оптимізації технологічних процесів. Застосування таких моделей при плануванні процесу модернізації шліфувальної бабки дозволяє мінімізувати обсяг доробочних операцій та скоротити час на переналагодження.

Вдосконалений метод визначення впливу подачі на тангенціальну складову сили різання [9], розроблений Крупною В.В. та ін. на основі теорії малих вибірок, а також ймовірно-статистичний метод оцінювання впливу подачі [17, 19] дозволяють більш точно прогнозувати силові навантаження при обробці деталей шліфувальної бабки, що важливо для правильного вибору режимів різання та проектування верстатного оснащення.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						19
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Вагомий внесок у розвиток теорії та практики технологій механічної обробки зробив Гагалюк А.В. Його наукова діяльність охоплює широке коло питань: від технологічного проектування операцій механічної обробки до застосування сучасних методів комп'ютерного моделювання та оптимізації у верстатобудуванні.

Фундаментальним для даної роботи є навчальний посібник Гагалюка А.В. та Паливоди Ю.Є. «Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування» [11], виданий у 2025 році. У цій праці систематизовано сучасні уявлення про технологічні методи формування точності деталей машин, теорію базування, методи оброблення поверхонь, вибір технологічного обладнання та оснащення. Особливе значення для тематики даної кваліфікаційної роботи мають розділи, присвячені технологічному забезпеченню якості поверхневого шару деталей та взаємозв'язку між параметрами технологічного процесу і експлуатаційними властивостями виробів. Зазначені теоретичні положення є базовими при розробці технологічного процесу виготовлення деталей модернізованої шліфувальної бабки.

У науковій статті Гагалюка А.В. та Крупи В.В. [8] представлено результати моделювання станини токарного верстата із застосуванням методу топологічної оптимізації. Авторами розроблено математичну модель несучої системи верстата та обґрунтовано раціональні параметри її геометрії, що забезпечують мінімальну матеріаломісткість при заданому рівні жорсткості. Запропонована методологія є безпосередньо придатною для оптимізації конструкції корпусу шліфувальної бабки круглошліфувального верстата при переході на швидкість різання 80 м/с: зменшення маси рухомих частин шпindelного вузла знижує динамічні навантаження на підшипники і підвищує ресурс вузла в цілому.

Спільна праця Гагалюка А.В. та Склярова Р.А. [26] присвячена застосуванню генетичних алгоритмів у генеративному дизайні деталей і вузлів машин. Генеративний дизайн із використанням еволюційних алгоритмів оптимізації дозволяє автоматично синтезувати раціональну форму конструкції за заданими критеріями міцності, жорсткості та мінімальної маси. У контексті модернізації шліфувальної бабки такий підхід може бути застосований для

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						20
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

пошуку оптимального профілю ребер жорсткості корпусу та раціонального розташування опорних елементів шпиндельного вузла.

У колективному посібнику Гевка Б.М., Матвійчука А.В., Артюхова А.М. та Гагалюка А.В. [6] «Технологія обробки на верстатах з ЧПК» детально розглянуто особливості програмування та технологічного забезпечення процесів оброблення на верстатах із числовим програмним керуванням. Автори аналізують методи програмування траєкторій інструменту, вибір режимів різання та контроль якості обробленої поверхні в автоматизованому виробництві. Ці матеріали є актуальними при розгляді питань автоматизованого керування частотою обертання шпинделя шліфувальної бабки у процесі швидкісного шліфування, адже стабільність швидкості різання при 80 м/с досягається лише за умови високоточного частотного регулювання приводу.

Крупа В.В., Кобельник В.Р. та Гагалюк А.В. у спільній праці [45] обґрунтували параметри спеціального трикулачкового патрона для затиску тонкостінних циліндричних заготовок. Дослідження показало, що рівномірний розподіл сил затиску по поверхні заготовки є критично важливим для збереження точності форми деталей після оброблення. Цей висновок безпосередньо стосується і технологічного оснащення для оброблення деталей шліфувальної бабки — зокрема, корпусу та кришок, виготовлення яких передбачає чистові токарні та шліфувальні операції з жорсткими вимогами до точності посадкових поверхонь під підшипники.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						21
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Аналіз формоутворення поверхонь деталі

До деталей типу важіль, призматичних деталей, деталей які отримують постійні знакозмінні динамічні навантаження висувають наступні технічні вимоги: точність отворів 7...8, якості (поля допусків поверхонь, по яких базуються ці деталі, 6...8 й класи (к6, h6), допуск на відхилення від циліндричності і круглості поверхонь під підшипники 0,01...0,02мм; допуск на відхилення від співвідносності внутрішніх і зовнішніх циліндричних поверхонь (0,01...0,03); допуск торцевого биття (допуск на відхилення від перпендикулярності торця) відносно осі отвору (зовнішньої циліндричної поверхні) 0,03...0,05.

Прямолінійність поверхонь контролюють рівнем або індикатором. Для вимірювання діаметру отворів використовують універсальні пристосування: індикаторні і мікрометричні нутроміри, штангель циркуля, а також калібри – пробки. Співвісність отворів контролюють гладкими або ступінчастими контрольними оправками. Ці оправки виконують по якості h5 і R=0,63...0,16 мкм.

Правильність розташування осі отвору відносно основної поверхні перевіряють за допомогою індикаторів. Контроль перпендикулярності торцевих поверхонь відносно осі отвору виконують безпосередньо індикатором, шумом і калібром. Радіальне і торцеве биття зовнішніх поверхонь перевіряють індикатором з шкалою ділення 0,01...0,002 мм.

Деталь «Важіль» має 2 найвідповідальніших поверхні – це конічний отвір та різьбова поверхня, яка переходить у конічну. Через ці поверхні деталь з'єднується з іншими деталями.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Шалапа А.Р.</i>			<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Гагалюк А.В.</i>					22	8
<i>Н. контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>			<i>ТНТУ ім.І.Пулюя, гр.МВ-41</i>			
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.В.</i>						

Деталь встановлюють на спеціальному пристосуванні, оскільки він є асиметричним. Точність розмірів зовнішніх поверхонь, виконують по 6...8 – му квалітетах, вимірюють важільними скобами та мікрометрами з шкалою ділення 0,002...0,005 мм. Точність виконання конічного отвору виконують з допуском 0,05 і з шорсткістю поверхні  $R_a$  2,5. Контроль здійснюється конічними калібрами відповідного розміру. Прилягання калібрів контролюється фарбою по плямі контакту.

Забезпечується технологічною обробкою свердління, зенкерування, розвертання і розкатування отвору спеціальним конічним інструментом.

Точність оброблення конічної поверхні в гранях I виконується з допуском 0,05 і з шорсткістю поверхні  $R_a$  2,5. Досягається шляхом чорнового та чистового точіння по програмі на верстатах з ЧПУ і подальшого шліфування. Контроль здійснюється аналогічним пристосуванням та Точність кута конуса перевіряється фарбою по плямі контакту.

Обробка деталі передбачає такі методи формоутворення на верстаті як зовнішнє точіння, нарізання різі, зенкування (нарізання фаски), зенкерування, фрезерування пазу.

Утворення поверхонь деталі залежить від багатьох факторів і рухів, що забезпечують відтворення утворюючих ліній.

Поверхні деталей, які обробляються можна розглядати, як безперервну безліч послідовних положень (слідів) рухомих ліній одна з яких називається твірною, а інша називається напрямною. Відтворюючі лінії на верстатах утворюються матеріальними точками і лініями ріжучих кромek інструмента за рахунок відносних рухів інструменту і заготовки.

В процесі обробки твірні лінії відтворюються комбінацією узгоджених обертових та прямолінійних переміщень інструмента й заготовки. Рухи, які необхідні для цього називаються формоутворюючими робочими рухами. Вони можуть бути простими і відображаються тільки одним рухом  $F_v(O1)$ , а також складними коли узгоджено два, або декілька рухів завдяки яким утворюється поверхня:  $F_v(O1, P2)$ ;  $F_s(P3, P4)$ .

Більшість поверхонь деталей машин можуть бути утворені при

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використанні в якості твірної лінії: прямої, кола, гвинтової лінії або інших. Циліндричні поверхні можуть бути отримані при переміщенні твірної – прямої 1 по напрямній – колу 2, або при русі утворюючого кола 3 вздовж напрямної – прямої лінії 4.

В залежності від виду ріжучого інструменту і форми його ріжучої частини існує чотири методи формоутворення: копіювання, сліду, дотику, обкату.

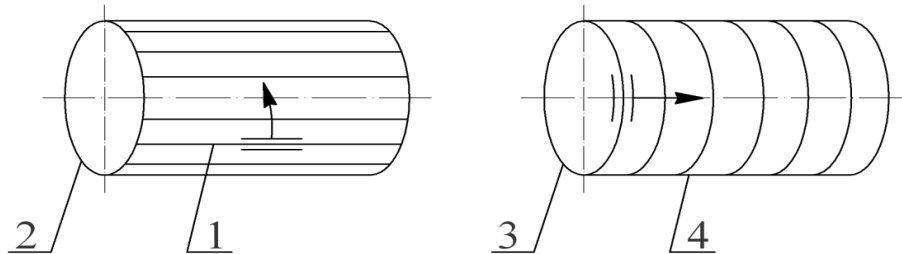


Рис. 2.1 – Схема утворення циліндричної поверхні

Розглянемо методи утворення твірної лінії.

Метод сліду складається з того, що твірна лінія одержується як слід руху точки – вершини різця. Наприклад при точінні різцем твірна 1 (рис.2.2) виникає як слід точки А (вершини різця). Інструмент і заготовка переміщається відносно один одного таким чином, що вершина А ріжучого інструмента весь час дотикається до твірної лінії 1. Напрямна лінія одержується в результаті обертання заготовки.

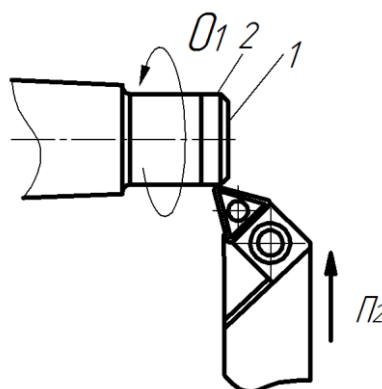


Рис. 2.2 - Утворення твірної лінії методом сліду

В цьому випадку необхідно два формоутворюючих рухи: обертання заготовки  $\Phi_v(O_1)$ , подача інструмента  $\Phi_s(\Pi_2)$ . Саме цей метод формоутворення

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

використовується на верстаті при зовнішньому точінні потрібної поверхні.

1. Твірна лінія – коло. Метод сліду  $\Phi=1$ ,  $\Phi_v = (O_1)$ .
2. Направляюча лінія – пряма. Метод сліду  $\Phi=1$ ,  $\Phi_s(P_3)$ .

Метод копіювання полягає в тому, що ріжуча кромка інструменту по формі співпадає з твірною лінією. Так при нарізанні різі твірна 1 утворюється копіюванням прямолінійної кромки інструмента, а рух різання 2 – обертання заготовки. При різанарізанні різцем використовується метод копіювання (рис. 2.3), рух  $P_3$  є установчим. Уст ( $P_3$ ).  $\Phi_v (O_1, P_2)$  – це складний рух де узгоджено обертання заготовки з подачею інструменту, яка відповідає кроку різі.

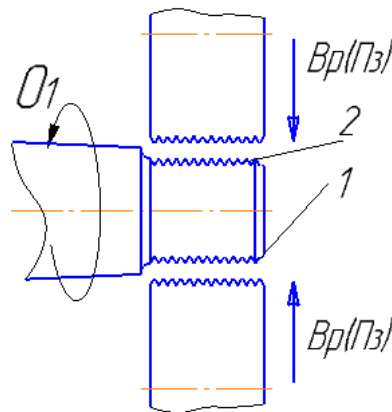


Рис. 2.3 – Утворення твірних ліній методом копіювання

На рисунку 2.4. показано схему формоутворення при свердлінні отворів спіральними свердлами. При цьому свердлу надається обертовий рух  $O_1$  і поступальний  $P_3$ . При цьому заготовка нерухома.

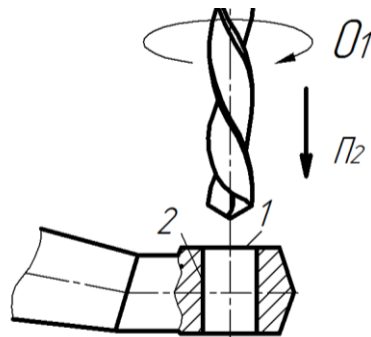


Рис. 2.4 - Схема свердління

1. Твірна – коло Метод сліду  $\Phi_1$ ,  $\Phi_v(O_1)$ .
2. Направляюча відтворююча лінія – Метод сліду  $\Phi=1$ ,  $\Phi_3 = (P_3)$ .

					КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарний рух  $\Phi_{\Sigma} = 2$ ,  $\Phi_v(O_1)$ ,  $\Phi_s(P_3)$ .

Зенкерування отворів (рис. 2.5). Зенкерування проводиться інструментом – зенкер, якому надається обертовий рух  $O_3$  і поступальний рух  $P_3$ .

1. Твірна лінія – коло Метод сліду  $\Phi = 1$ ,  $\Phi_v(O_1)$ .
2. Направляюча лінія – пряма Метод сліду  $\Phi = 1$ ,  $\Phi_s(P_3)$ .

Сумарний рух  $\Phi_{\Sigma} = 2$ ,  $\Phi_v(O_1)$ ,  $\Phi_s(P_3)$ .

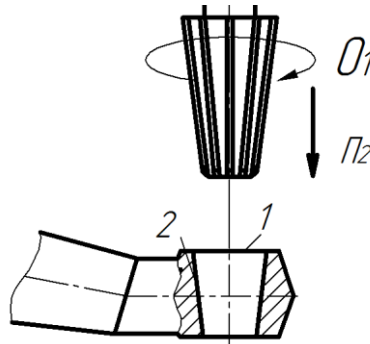


Рис. 2.5 - Схема зенкерування

Зенкування (рис. 2.6). Інструменту надається обертовий рух  $O_1$  і поступальний  $P_3$ . Заготовка нерухома.

1. Твірна лінія – коло.
2. Направляюча лінія – пряма.

Сумарний рух  $\Phi_{\Sigma} = 1$ ,  $\Phi_v(O_1P_2)$ .

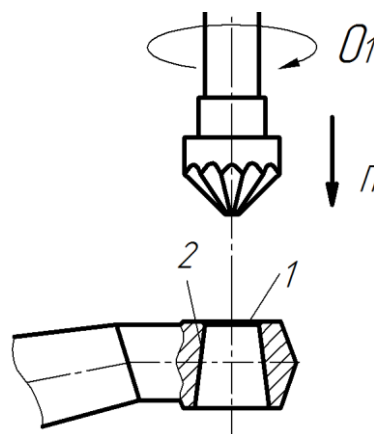


Рис. 2.6 – Схема зенкування

Утворення поверхонь при відтворенні твірної лінії методом копіювання різальної кромки забезпечується фрезеруванням поверхні дисковою фрезою (рис. 2.7). Заготовка нерухома.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Твірна лінія – лінія – метод сліду  $\Phi=1$ .
2. Направляюча лінія – пряма – метод дотику  $\Phi=1$ .

Головний рух  $\Phi_v(O_1)$ . Рух подачі  $\Phi_s(P_2)$ . Установчий рух  $P_3$ . Сумарний рух  $\Phi_\Sigma = 2, \Phi_v(O_1P_2)$ .

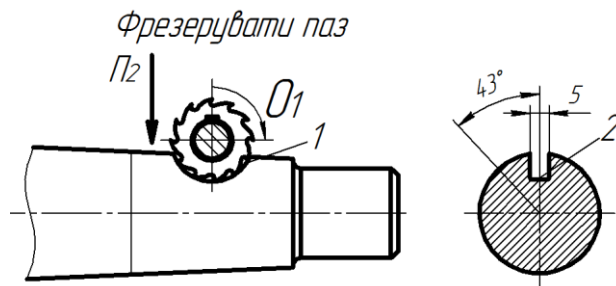


Рис. 2.7 – Схема фрезерування

## 2.2 Вибір металообробного обладнання

Обладнання та ріжучий інструмент для виконання технологічних операцій приведений у таблиці 2.1

Таблиця 2.1

№ п/п	Назва операції, верстат	Різальний інструмент	Вимірювальний інструмент
005	Вертикально свердлильний 2Н125	Свердло $\varnothing 15,5_{-0,2}$ Зенкер конусністю 1:8, Розгортка конусністю 1:8 Розкатка конічна конусністю 1:8, 6649-4010	ШЦ- I-12,5 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Калібри: Конусний $\varnothing 19,5$ к. 1:8 Конусний $\varnothing 19,75 \pm 0,05$ к. 1:8;
010	Вертикально свердлильний 2Н125	Зенківка $\varnothing 32 \times 90^\circ$ 2353-0013 ОСТ 23.5.633-78	ШЦ- I-12,5 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
015	Токарна-гвинторізна 6К20	Різець прохідний 2103-1009 Т15К6 МН3899-82 Свердло центрувальне $\varnothing 3,15$ 2317 – 0014	ШЦ- I-12,5 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
020	Токарна з ЧПК 16А20Ф3	Різець прохідний 2103-1014 Т15К6 МН3899-82 Різець 2101-0016 Т15К6	ШЦ – II-250 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 ШЦ спеціальний Шаблон 8153-4009
025	Різьбонакатна А 2528	Ролики накатні $t = 2$	Кільце різьбове М24×2-6qPP, 8211-0093-6q Кільце різьбове М24×2-6qHE 8211-1093-6q
030	Вертикально свердлильний 2Н125	Свердло $\varnothing 5$ Зенківка $\varnothing 16 \times 90^\circ$ 2353-0011 ОСТ 23.5-633-78	Калібр $\varnothing 5$ 8133-0910 ШЦ- I-12,5 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018

035	Кругло-шліфувальна 3М151	Круг шліфувальний ПП 600×63×305 25А40ПС <sub>1</sub> К550м/с 1кЛА	Шаблон 8153-40091 Кільце перевірки конуса на фарбу 1:8 8211-4003
040	Горизонтально-фрезерна 6Р82Г	Фреза Ø22×5 2234-0165	Калібр пазовий 5ПШ 8154-0061ПШ МН2990-61
045	Горизонтально-фрезерна 6Р82Г	Фреза торцева Ø100 2214-0275 Т15К6	ШЦ-III-125 Пристрій контрольний 8735-4003

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

Розрахуємо припуски та міжопераційні розміри на обробку поверхні Ø22,64<sub>0.14</sub> під різьбу М24×2–6q

Технологічний маршрут обробки поверхні складається з таких переходів:

1. Точіння чорнове.
2. Точіння чистове.

Розрахунок припусків на обробку поверхні ведемо шляхом складання таблиці, в яку записуємо технологічний маршрут обробки поверхні і всі значення елементів припуску.

Для штамповки:  $Rz = 250$  мкм,  $T = 250$  мкм

1. Точіння чорнове:  $Rz = 100$  мкм,  $T = 100$  мкм;
2. Точіння чистове:  $Rz = 30$  мкм,  $T = 30$  мкм;

Сумарне значення просторових відхилень при базуванні деталі на палець і в центрі:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{ЗМ}}^2 + \rho_{\text{П}}^2 + \rho_{\text{Ц}}^2}$$

$$\rho_{\text{ЗМ}} = \delta = 1,0 \text{ мм}$$

$\rho_{\text{П}} = \Delta k \times l$ ,  $\Delta k = 1,5$  мкм на 1 мм довжини

$$\rho_{\text{П}} = 1,5 \times 211 = 316 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{Ц}} = \sqrt{\left(\frac{\delta_{\text{Ц}}}{3}\right)^2 + 0,25^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{3}\right)^2 + 0,25^2} = 0,625 \text{ мм} = 625 \text{ мкм}$$

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$\text{Отже } \rho_3 = \sqrt{1,0^2 + 0,316^2 + 0,625^2} = 1,22 \text{ мм} = 1220 \text{ мкм.}$$

$$\rho_1 = 0,06 \quad \rho_{\text{заг}} = 0,06 \times 1220 = 70 \text{ мкм}$$

$$\rho_2 = 0,05 \quad \rho_1 = 0,05 \times 70 = 3,5 \text{ мкм}$$

$$\text{Похибка установки при першому базуванні: } \varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}, \text{ ст. 75 [1]}$$

де:  $\varepsilon_6$  – похибка базування;

$\varepsilon_3$  – похибка закріплення

Похибка базування при закріпленні на конічний базовий палець і в центрах  $\varepsilon_6 = 0$ .

Похибка закріплення :

$$\varepsilon_3 = 200 \text{ мкм ст. 81 [ 1 ]}$$

$$\varepsilon_1 = 200 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_2 = 0,05 \times \varepsilon_6 = 0,05 \times 200 = 10 \text{ мкм.}$$

Розрахунок мінімальних значень міжопераційних припусків проводимо за формулою:

$$2z \left( R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right)_{\min}$$

Мінімальний припуск для точіння:

$$\text{- чорнове: } 2z_{\min 1} = 2 \times (250 + 250 + \sqrt{1220^2 + 200^2}) = 2 \times 1730 \text{ мкм}$$

$$\text{- чистове: } 2z_{\min 2} = 2 \times (100 + 100 + \sqrt{70^2 + 10^2}) = 2 \times 270 \text{ мкм}$$

Розрахунковий розмір:  $dp_2 = 22,5 \text{ мм}$

$$dp_1 = 22,5 + 0,54 = 23,04 \text{ мм; } dp_{\text{заг}} = 23,04 + 3,46 = 26,5 \text{ мм}$$

Граничний розмір  $d_{\min}$  одержуємо по розрахункових розмірах, закруглюючи до точності допуску відповідного переходу.

$$d_{\min 2} = 22,5 \text{ мм; } d_{\min 1} = 23,04 \text{ мм; } d_{\min \text{ заг}} = 26,5 \text{ мм.}$$

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						29
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$d_{max}$  визначається із найбільших граничних розмірів додаванням допусків відповідних переходів.

$$d_{max 2} = 22,5 + 0,14 = 22,64 \text{ мм}; d_{max 1} = 23,04 + 0,4 = 23,44 \text{ мм};$$

$$d_{max заг} = 26,5 + 2,0 = 28,5 \text{ мм}.$$

Таблиця 2.2 Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних переходах для обробки поверхні  $\varnothing 22.64_{-0,14}$

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2z_{min}$	Розрахунковий розмір $d_p$	Допуск $\delta$ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні припуски, мкм	
	Rz	T	P	$\epsilon$				$d_{min}$	$d_{max}$	$2z_{min}$	$2z_{max}$
Заготовка	250	250	1220	-		26,5	2000	26,5	28,5		
Точіння чорнове	100	100	70	200	2×1730	23,04	400	23,04	23,44	3460	5060
Точіння чистове	30	30	3,5	10	2×270	22,5	140	22,5	22,64	540	800
Всього										4000	5860

Мінімальні граничні значення припусків  $2z_{min}^{pp}$  - різниці найменших граничних розмірів, а максимальні значення -  $2z_{max}^{pp}$  відповідно різниці найбільших граничних розмірів:

$$2z_{min 2}^{pp} = 23,04 - 22,5 = 0,54 \text{ мм} = 540$$

$$2z_{min 1}^{pp} = 26,5 - 23,04 = 3,46 \text{ мм} = 3460 \text{ мкм};$$

$$2z_{max 2}^{pp} = 23,44 - 22,64 = 0,8 \text{ мм} = 800 \text{ мкм}$$

$$2z_{max 1}^{pp} = 28,5 - 23,44 = 5,06 \text{ мм} = 5060 \text{ мкм}$$

Загальний номінальний припуск:

$$Z_{0 \text{ ном}} = Z_{min} + N_z - N_d = 4000 + 1000 - 140 = 4860 \text{ мкм}$$

Номінальний розмір заготовки :

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_{з ном} = d_{д ном} + Z_{о ном} = 22,64 + 4,86 = 27,5 \text{ мм}$$



Рис. 2.8 - Схема графічного розміщення розмірів та припусків для обробки поверхні  $\varnothing 22,64 - 0,14$  під різьбу M24x2 – 6q

Проводимо перевірку правильності розрахункових припусків і розмірів.

$$2z_{max 2}^{пр} - 2z_{min 2}^{пр} = \delta 1 - \delta 2$$

$$800 - 540 = 400 - 140; 260 = 260$$

$$2z_{max 1}^{пр} - 2z_{min 1}^{пр} = \delta 3 - \delta 1$$

$$5060 - 3460 = 2000 - 400$$

$$1600 = 1600$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ

Арк.

31

Розрахунки проведено правильно.

Таблиця 2.3 Зведена таблиця припусків

№ п/п	Розмір	Припуск	Допуск	Розмір заготовки
1	$\varnothing 19,8 \pm 0,05$ ,	1:8 - <del>судильний</del> метал		
2	$\varnothing 32 \pm 0,05$ , 1:8 $\triangleleft$	3	$\pm 0,5$	$\varnothing 38 \pm 1,0$
3	$\varnothing 22,64$	4,86	$\pm 1,0$	$\varnothing 27,5 \pm 1,0$
4	$211 \pm 1,0$	7(техн)	$\pm 1,0$	$218_{-1}^{+2}$

#### 2.4 Розрахунок режимів різання

Режими різання визначаємо аналітичним методом по емпіричних формулах і шляхом підбору по довідникових таблицях.

а) операція 005. Вертикально – свердлильна. Верстат 2Н125. Різальний інструмент – свердло  $\varnothing 15,5$ мм.

Глибина різання при свердлінні:  $t = \frac{D}{2} = \frac{15,5}{2} = 7,75$ мм

Подача при свердлінні  $S = 0,18 \div 0,26$  мм/об [4], ст. 386.

Вибираємо по паспортних даних верстата  $S = 0,2$  мм/об.

Швидкість різання при свердлінні розраховується за формулою:

$$v = \frac{C_V^{Z_v} \cdot D^{X_v}}{T^m \cdot S^{Y_v}} \cdot K_{Mv} \quad \text{м/хв.} \quad [4] \quad \text{ст. 389.}$$

де  $C_V^{Z_v} = 8,9$ ;  $Y_v = 0,7$ ;  $X_v = 0,4$ ;  $m = 0,2$  [4] ст. 390

$T = 25$  хв – стійкість свердла [4] ст. 464

$$K_{Mv} = \frac{48,7}{\sigma_B^{0,9}} = \frac{48,9}{75^{0,9}} = 1,0$$

$$v = \frac{8,9 \cdot 15,5^{0,4}}{25^{0,2} \cdot 0,2^{0,7}} \cdot 1,0 = 16,8 \text{ м/хв}$$

Визначаємо розрахункове число обертів:

$$n_p = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 16,8}{\pi \cdot 15,5} = 267,5 \text{ об/хв}$$

					КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно паспорта верстата коректуємо число обертів :  $n = 250$  об / хв.

Визначаємо дійсну швидкість різання :

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 15,5 \cdot 250}{1000} = 15,7 \text{ м/хв}$$

Силу різання визначаємо за формулою :

$$P = C_p \cdot D^{Z_p} \cdot S^{Y_p} \cdot K_{M_p}, \text{ Н} \quad [4] \text{ ст. 393}$$

$$C_p = 98,8; Z_p = 1,0; Y_p = 0,7 [4], \text{ ст. 394}$$

$$K_{M_p} = \left(\frac{\sigma_B}{75}\right)^{0,75} = \left(\frac{75}{75}\right)^{0,75} = 1,0$$

$$P = 98,8 \cdot 15,5^{1,0} \cdot 0,2^{0,7} \cdot 1,0 = 640,5 \text{ Н}$$

Крутний момент на свердлі визначаємо за формулою :

$$M_K = C_M D^{2,0} S^{Y_M} K_{M_M}, \text{ Нмм}, [4], \text{ ст. 393.}$$

$$C_M = 39; Y_M = 0,8 \quad [4] \text{ ст. 394}$$

$$K_{M_M} = K_{M_p} = 1,0$$

$$M_K = 39 \cdot 15,5^{2,0} \cdot 0,2^{0,8} \cdot 1,0 = 4304 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$\text{Ефективна потужність різання : } N_e = \frac{M_K \cdot n}{975 \cdot 1000} = \frac{3404 \cdot 250}{975 \cdot 1000} = 1,1 \text{ кВт} [4] \text{ ст. 396}$$

Потужність прийнятого верстату 2,2 кВт.

б ) операція 020 - токарна з ЧПК

Верстат – 16А20Ф3, різальний інструмент – різець прохідний з пластинкою твердого сплаву Т15К6.

Подача при токарній обробці  $S = 0,2 \div 0,5$  мм / об [ 4 ] ст.. 360

Вибираємо по паспорту верстата  $S = 0,34$  мм / об

Швидкість різання при обробці різцями із твердого сплаву визначаємо за формулою:  $V = \frac{C_v}{T^{m \cdot t^{X_v} \cdot S^{Y_v}}}$ , м/хв. [ 4 ] ст. 383.

де  $C_v = 349$ ;  $X_v = 0,15$ ;  $Y_v = 0,35$ ;  $m = 0,2$  [ 4 ] ст. 383.

$T = 60$  хв - [4] ст. 462.

$$V = \frac{349}{60^{0,2} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,34^{0,35}} = 60,9 \text{ м/хв}$$

Визначаємо розрахункове число обертів:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 60,9}{\pi \cdot 35} = 554 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспортних даних верстата  $n = 500$  об / хв.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо дійсну швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 35 \cdot 500}{1000} = 55 \text{ м/хв}$$

Сили різання при точінні визначається за формулами [4] ст. 378:

Тангенціальна (вертикальна) сила різання :

$$P_Z = C_{Pz} \cdot t^{Xz} \cdot S^{Yz} \cdot V^{Nz} \cdot K_{MP}, \text{ Н}$$

де  $C_{Pz} = 384$ ;  $X_z = 0,9$ ;  $Y_z = 0,9$ ;  $N_z = -0,15$

Радіальна сила різання :

$$P_Y = C_{Py} \cdot t^{Xy} \cdot S^{Yy} \cdot V^{Ny} \cdot K_{MP}, \text{ Н}$$

де  $C_{Py} = 355$ ;  $X_y = 0,6$ ;  $Y_y = 0,8$ ;  $N_y = -0,3$ .

Осьова сила різання :

$$P_X = C_{Px} \cdot t^{Xx} \cdot S^{Yx} \cdot V^{Nx} \cdot K_{MP}, \text{ Н}$$

де  $C_{Px} = 241$ ;  $X_x = 1,05$ ;  $Y_x = 0,2$ ;  $N_x = -0,4$ .

$$P_Z = 384 \cdot 3^{0,9} \cdot 0,34^{0,9} \cdot 55^{-0,15} \cdot 1,0 = 1137 \text{ Н}$$

$$P_Y = 355 \cdot 3^{0,6} \cdot 0,34^{0,8} \cdot 55^{-0,3} \cdot 1,0 = 866 \text{ Н}$$

$$P_X = 241 \cdot 3^{1,05} \cdot 0,34^{0,2} \cdot 55^{-0,4} \cdot 1,0 = 123 \text{ Н}$$

Ефективна потужність різання розраховується по формулі :

$$N_e = \frac{P_z \cdot n}{60 \cdot 102} = \frac{1137 \cdot 55}{60 \cdot 102} = 7,2 \text{ кВт}$$

Потужність прийнятого верстату 10 кВт. Таким чином прийняті режими різання задовольняють умови обробки.

Режими різання механічної обробки деталі зведені у таблиці 2.4

Таблиця 2.4 Режими різання

№ п/п	Назва операції і переходи	Довжина різання L, мм	Глибина різання t, мм	Кількість проходів,	Подача S, мм/об	Число обертів n об/хв	Швидкість різання, V м/хв	Основний час T <sub>о</sub> , хв.	Потужність різання, кВт	Потужність верстату, кВт
-------	---------------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	-----------------	-----------------------	---------------------------	-----------------------------------	-------------------------	--------------------------

005	<u>Вертикально-свердлильна</u> 1.Свердлити отвір Ø15,5 мм наскрізь. 2. Зенкерувати отв. $\triangle 1:8$ до Ø19,3мм. 3. Розвернути отв. $\triangle 1:8$ до Ø19,75мм. 4. Розкати отв. Ø19,8 мм $\triangle 1:8$ до R <sub>a</sub> 2,5.	30	7,75	1	0,2	250	12,2	0.6	1,1	2,2
		29	1,4	1	0,2	90	5,75	1.7		
		5	0,23	1	0,1	45	28	1.2		
		--	--	1	---	190	11,8	0.2		
010	<u>Вертикально-свердлильна</u> 1. Зенкувати фаску 1,5×45°.	2	1,5	1	0,1	355	22	0,1	0,12	2,2
015	<u>Токарно-гвинторізна</u> 1. Підрізати торець начисто. 2. Точити поверхню до Ø24 <sub>-0.52</sub> в р-р 7±0.3. 3. Центрувати торець Ø3,15* до Ø10 <sup>+0.36</sup> .	16	1	1	0,34	500	51,8	0,09	3,6	10
		8	6	2	0,34	500	51,8	0,09		
		11	5	1	0,05	500	5,0	0,44		
020	<u>Токарна ЧПК</u> 1. Точити фасонну поверхню начорно. 2. Підрізати торець в р-р 211±1.0 (для 7622-2271) р-р 206±1.0 (для 7622-2270) до Ø 18,3 <sub>-0.52</sub> 3. Точити фасонну поверхню начисто. 4. Підрізати торець в р-р 183±0.3 до Ø 22,64 <sub>-0.17</sub> з утворенням радіусу R2(для 7622-2271) р-р 178±0.3 до Ø 22,64 <sub>-0.17</sub> з утворенням радіусу R2 (для 7622-2270)	95	5,2	3	0,4	840	84	0,283	7,2	10
		3	1	1	0,1	840	76	0,036		
		95	0,65	1	0,3	840	84	0,38		
		4	1,28	1	0,1	840	74	0,084		
025	<u>Різнакатна</u> 1. Нарізати різь M24×2-6g в р-р 24*мм.	24	2	1	2.0	20	25	0,09	2,3	3
030	<u>Вертикально-свердлильна</u> 1. Свердлити отв.Ø5 <sup>+0.3</sup> наскрізь. 2. Зенкувати фаску 1,5мм під $\angle 120^\circ$ з двох сторін послідовно.	26,5	2,5	1	0,1	1000	14,9	0,26	0,1	2,2
		2	2,5	1	0,1	500	7,85	0,08		

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ

Арк.

35

035	Круглошліфувальна 1. Шліфувати пов. $\triangle 1:8$ р-р $141 \pm 0.5$ до $\varnothing 32 \pm 0.05$ (для 7622-2271) р-р $146 \pm 0.5$ до $\varnothing 32 \pm 0.05$ (для 7622-2270).	42	0,25	1	1,0	150	15,2	0,25	0,05	3
040	Горизонтально-фрезерна 1. Фрезерувати шпонковий паз $\varnothing 22^{+1.8}$ на глибину $7 \pm 0.25$ в р-р $162 \pm 1.0$ під $\angle 47^\circ \pm 10'$	8	7	1	40	315	23,6	0,2	5,2	7,5
045	Горизонтально-фрезерна 1. Фрезерувати торець в р-р $211 \pm 1.0$ (для 7622-2271) р-р $206 \pm 1.0$ (для 7622-2270)	96	7	1	100 мм /хв	500	251	2,0	1,2	7,5

## 2.5 Нормування часу

Технічні норми часу встановлюються розрахунково – аналітичним способом, для цього розраховується норма штучного та штучно-калькуляційного часу.

Оскільки тип виробництва багатосерійний та групова форма технологічного процесу, то визначаємо норму штучно-калькуляційного часу за формулою:

$$T_{\text{шт-к}} \frac{T_{\text{п.з.}}}{n} + T_{\text{шт}}$$

де  $T_{\text{п.з.}}$  – підготовчо-заклучний час, хв.;

$n$  – кількість деталей в партії, шт.;

$T_{\text{шт}}$  – норма штучного часу, хв.

$$T_{\text{шт}} = T_0 + T_d + T_{\text{обсл}} + T_{\text{відп}},$$

де:  $T_{\text{шт}}$  – штучний час на операцію, хв.;

$T_0$  – основний ( машинний ) час, хв.;

$T_d$  – допоміжний час, хв.;

$$T_d = T_{\text{у.с}} + T_{\text{з.о}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{вим}},$$

де  $T_{\text{у.с}}$  - час на встановлення та зняття деталі, хв.;

$T_{\text{з.о}}$  – час на закріплення та відкріплення заготовки в пристрої, хв.;

$T_{\text{уп}}$  – час на прийоми управління верстатом, хв.;

$T_{\text{вим}}$  – час на вимірювання деталі, хв.;

$T_{\text{обсл.}}$ , – час на обслуговування робочого місця, хв.;

					КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{обсл}} = T_{\text{тех}} + T_{\text{торг}},$$

Де  $T_{\text{тех}}$  – час на технічне обслуговування верстату, хв.;

$T_{\text{торг}}$  – час на організаційне обслуговування робочого місця, хв.;

$T_{\text{відп}}$  - відпочинок і фізіологічні потреби, хв.

Сума основного і допоміжного часу складає оперативний час:

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{о}} + T_{\text{д}}$$

Розраховуємо норму штучного часу на операцію

040 – Вертикально – фрезерна.

Основний (технологічний) час визначаємо за формулою:  $T_{\text{о}} = \frac{L}{S} \cdot i$ ,

де  $i = 1$  – кількість проходів.

$$T_{\text{о}} = \frac{8}{40} \cdot 1 = 0,2 \text{ хв}$$

Підраховуємо об'єм допоміжної роботи і час на її виконання:

встановити заготовку в пристрій і зняти після виконання операції:

$$T_{\text{уст}} = 0,4 \text{ хв.}, [3, \text{стор. } 54];$$

допоміжний час, зв'язаний з управлінням верстатом:

$$T_{\text{упр}} = 0,24 \text{ хв.}, [8, \text{стор. } 95-96];$$

допоміжний час, який необхідний на вимірювання деталі після проведення операції:

$$T_{\text{вим}} = 0,19 \text{ хв.}, [8] \text{ стор. } 96$$

Загальний допоміжний час :

$$T_{\text{д}} = T_{\text{уст}} + T_{\text{упр}} + T_{\text{вим}} = 0,4 + 0,24 + 0,19 = 0,83 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця  $T_{\text{обсл}}$  складає 4 % від оперативного часу –  $T_{\text{оп}} = T_{\text{о}} + T_{\text{д}}$ , [8, стор. 101];

$$T_{\text{обсл}} = 0,04 \cdot T_{\text{оп}} = 0,04 \cdot (0,2 + 0,83) = 0,06 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і особисті потреби  $T_{\text{відп}}$  складає 4 % від оперативного часу, [8, стор. 101]

$$T_{\text{відп}} = 0,04 \cdot (0,2 + 0,83) = 0,06 \text{ хв.}$$

Штучний час на операцію :

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{обсл}} + T_{\text{відп}} = 1,03 + 0,06 + 0,06 = 1,15 \text{ хв.}$$

Підготовчо – заключний час:  $T_{\text{пз}} = 16 \text{ хв.}, [8, \text{стор. } 108]$

$$\text{Штучно – калькуляційний час: } T_{\text{шт-к}} = \frac{16}{355} + 1,15 = 1,2 \text{ хв}$$

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						37
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

де:  $n=355$  шт. – величина партії деталей, що одночасно запускається у виробництво.

Аналогічно проводимо розрахунки на інші операції і дані записуємо в таблицю 2.11.

Таблиця 2.5 Норми часу на механічну обробку деталі

№ п/п	Назва операції	$T_{о, ХВ}$	$T_{д, ХВ}$				$T_{оп, ХВ}$	$T_{обсл, ХВ}$	$T_{відп, ХВ}$	$T_{шт, ХВ}$	$T_{пз, ХВ}$	1, ШТ.	$T_{штк, ХВ}$
			$T_{у}$	$T_{уп}$	$T_{конт}$	Сума							
005	Вертик.-свердлильна	3,7	0,19	0,50	0,05	0,74	4,44	0,18	0,18	4,8	18	355	4,85
010	Вертик.-свердлильна	0,06	0,14	0,14	0,01	0,29	0,35	0,02	0,02	0,39	18		0,44
015	Токарно-гвинторізна	0,62	0,25	0,52	0,04	0,81	1,43	0,06	0,05	1,54	30		1,62
020	Токарна з ЧПК	0,8	0,28	0,44	0,22	0,94	1,74	0,07	0,07	1,88	30		1,96
025	Різенакатна	0,09	0,06	0,04	0,06	0,16	0,25	0,02	0,02	0,29	22		0,35
030	Верг.-свердл	0,35	0,22	0,08	0,03	0,33	0,68	0,03	0,03	0,74	18		0,79
035	Круглошліф.	0,25	0,16	0,13	0,01	0,3	0,55	0,02	0,02	0,59	18		0,64
040	Горизонтально-фрезерна	0,2	0,4	0,24	0,19	0,83	1,03	0,06	0,06	1,15	16		1,2
045	Горизонтально-фрезерна	2,0	0,21	0,1	0,08	0,39	2,69	0,03	0,03	2,75	28		2,83
	Всього	8,07				4,79	12,9			14,13		14,68	

На основі встановленої технічної норми часу уточнюємо тип виробництва за формулами п.1.1. Результати розрахунків представляємо у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10.- Уточнення типу виробництва

№ ТО.	Назва операції	T <sub>шт-к, хв</sub>	m <sub>p</sub> , шт	m <sub>пр</sub> , шт	η <sub>ф</sub>	O
005	Вертикально-свердлильна	4,85	0,75	1	0,75	1,07
010	Вертикально-свердлильна	0,44	0,1	1	0,1	8
015	Токарно-гвинторізна	1,62	0,25	1	0,25	3,3
020	Токарна ЧПК	1,96	0,3	1	0,3	2,67
025	Різенакатна	0,35	0,1	1	0,1	8
030	Вертикально-свердлильна	0,79	0,12	1	0,12	6,67
035	Круглошліфувальна	0,64	0,1	1	0,1	8
040	Горизонтально-фрезерна	1,2	0,2	1	0,2	4
045	Горизонтально-фрезерна	2,83	0,45	1	0,45	1,78
	Всього	14,68		9		43,49

Тоді:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{43,49}{6} = 4,8$$

якщо  $1 < K_{з.о.} \leq 10$  - тип виробництва багатосерійний.

### 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Вибір та обґрунтування структурно-кінематичної схеми верстата.

Круглошліфувальний верстат марки 3М151 призначений для зовнішнього шліфування циліндричних, конічних і торцевих поверхонь тіл обертання. При обробці деталі на верстаті її встановлюють у центрах або закріплюють у патроні. Для обробки деталей на зазначеному верстаті забезпечується обертання шпинделя круга, обертання оброблюваної заготовки, поздовжнє переміщення стола, безперервна або періодична подача на товщину зрізаного шару. Деталі, довжина яких менше ширини круга, шліфують без поздовжнього переміщення заготовки методом врізання.

**Рухи у верстаті.** Для визначення всіх рухів у верстаті розглянемо кінематичну схему круглошліфувального верстата 3М151 (рис. 3.1). Головний рух – обертання шліфувального круга (забезпечується через передачу (112/(147(128))). Кругова подача – обертання оброблюваної заготовки (забезпечується через передачі (63/(130 - (63/(168)). Поздовжня подача – прямолінійний зворотно-поступальний рух стола із заготовкою (забезпечується автоматично від гідроциліндра.). Поперечна подача - періодичне радіальне переміщення шліфувальної бабки за один хід стола (забезпечується автоматично від гідродвигуна через передачі 1/50, 39/39, 2/40, 10). Допоміжні рухи - ручне поздовжнє переміщення стола (забезпечується від маховичка через передачі 17/51; 51/51, 1/31, рейкову передачу з колесом Z20), ручне поперечне переміщення шліфувальної бабки (забезпечується від маховичка через передачі 39/39, 2/40 і передачу гвинт-гайка із кроком  $p=10$  мм). ручне переміщення пінолі задньої бабки, а також настановні переміщення робочих органів верстата за допомогою гідроприводу. Привод механізму виправлення круга забезпечується від маховичка через передачі 2 і від гідроциліндрів.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Шалапа А.Р.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Гагалюк А.В.</i>					40	8
<i>Н. контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>				<i>ТНТУ ім.І.Пулюя, гр.МВ-41</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.В.</i>						

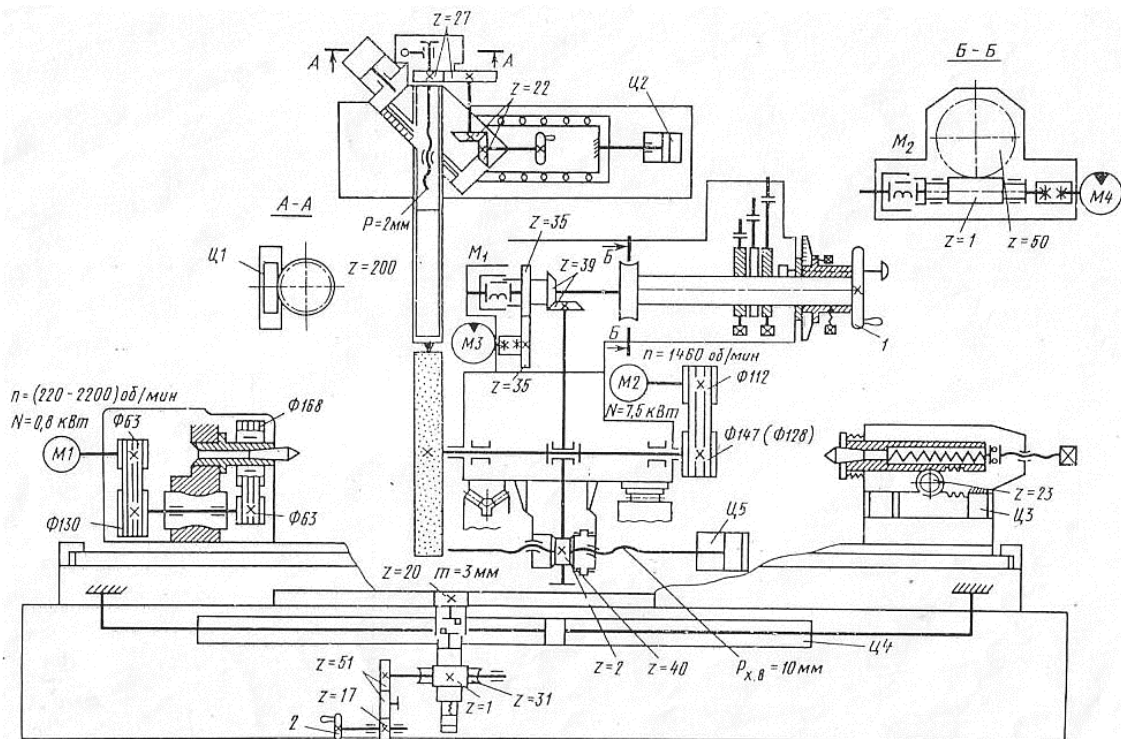


Рис. 3.1 - Кінематична схема круглошліфувального верстата 3М151:

I - передня бабка; II - пристрій для виправлення; III - механізм подач; IV - шліфувальна бабка; V - задня бабка; VI - механізм швидкого підведення; VII - механізм ручного переміщення стола

При роботі верстата заготовлю встановлюють у центрах передньої й задньої бабок, розташованих на поворотній плиті стола. При обробці циліндричних деталей вісь центрів бабок паралельна напрямним стола, а при шліфуванні конічних деталей вона розташована під кутом, рівним половині кута конусності деталі.

Обертання шліфувального круга походить від електродвигуна М2 потужністю  $N = 10$  кВт через клиноремінну передачу  $\frac{112}{147}$ . Шпиндель 1 шліфувальної бабки (рис. 4.2) установлений у двох гідродинамічних підшипниках ковзання. Підшипники мають по три однакових вкладиші 8, які являють собою окремі сегменти. Вкладиші сферичними лунками опираються на гвинти 6 зі сферичними головками, у результаті чого вкладиші з по шийках шпинделя. Конструкція вкладишів забезпечує масляний клин 7 між шийкою шпинделя 1 і вкладишами 8, що запобігає зношуванню й нагріванню. Гвинтами 6 регулюють

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

діаметральний зазор між вкладишами 8 і шпинделем 1 і положення осі шпинделя відносно напрямного стола. Шпиндель шліфувальної бабки фіксують в осьовому напрямку двома сферичними бронзовими кільцями 2 й 8, що притискають із двох сторін до торців бурту шпинделя гайкою 4 з контргайкою 5.

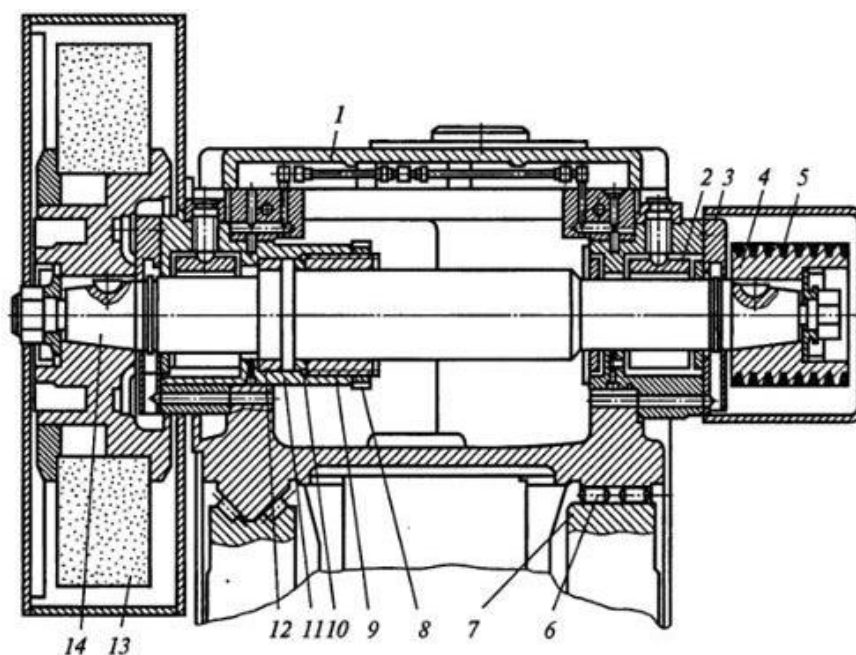


Рис. 3.2 Шліфувальна бабка круглошліфувального верстата 3М151

1 – корпус; 2 – підшипник ковзання; 3 – кришка; 4 – шків; 5 – клинопасова передача; 6 – напрямні кочення; 7 – станина; 8 – контргайка; 9 – гайка; 10 і 12 – кільця; 11 – обойма; 13 – шліфувальний круг; 14 – шпиндель.

Кругова подача — обертання оброблюваної заготовки — виробляється від регульованого постійного струму електродвигуна М1 потужністю  $N = 0,8$  квт через дві клиноремінні передачі. Кругова подача  $S_{кр} = n_{эл} \cdot 0,985 i \pi d_d$ , де  $i$  — передатне відношення клиноремінних передач. Шпиндель передньої бабки нерухомий, а заготівля одержує обертання від повідця, закріпленого на планшайбі.

### Механізм поперечних подач

Механізм поперечних подач забезпечує швидке настановне переміщення шліфувальної бабки відносно ходового гвинта, ручні поперечні подачі шліфувальної бабки, безперервні автоматичні поперечні подачі шліфувальної бабки, періодичні автоматичні подачі шліфувальної бабки, штовхальні періодичні подачі шліфувальної бабки. Механізм подач установлений на корпусі

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

шліфувальної бабки.

Ручні поперечні подачі шліфувальної бабки здійснюють поворотом маховика 1 (див. рис. 10) при включеній електромагнітній муфті ЕМ1, через конічну передачу  $\frac{39}{39}$ , вертикальний вал, черв'ячну пару  $\frac{2}{40}$  й на гвинтову передачу поперечних подач.

Швидке настановне переміщення передається від гідродвигуна М3 при виключеній електромагнітній муфті ЕМ1. Рух від вала гідродвигуна передається через пару циліндричних зубчастих коліс  $\frac{35}{35}$  конічній передачі  $\frac{39}{39}$  й далі на гвинтову пару поперечних подач шліфувальної бабки.

Безперервні автоматичні подачі — від гідродвигуна М4 при включеній муфті ЕМ2 через черв'ячну пару  $\frac{1}{50}$ , маховик 1 (він застопорений на втулці, на якій перебуває черв'ячне колесо  $z=50$ ), муфту ЕМ1, конічну передачу  $\frac{39}{39}$  й далі на гвинтову передачу поперечних подач бабки.

Періодичні автоматичні подачі здійснюються по кінематичному ланцюзі, розглянутої вище. Для цього електромагнітна муфта ЕМ2 включається тільки на період здійснення подачі, а потім вимикається, і рух черв'ячної пари  $\frac{1}{50}$  припиняється. Стіл переміщують вручну від маховика 2 через ряд механічних передач. Механізм ручного переміщення стола заблокований з гідросистемою верстата.

Гідропривід верстата виконує наступні функції: поздовжнє реверсивне переміщення стола з робочою швидкістю або зі швидкістю виправлення; регульоване по швидкості переміщення стола при відведеній шліфувальній бабці; осцилюючий рух стола; швидке підведення й відвід шліфувальної бабки; задане переміщення шліфувальної бабки; відвід пінолі задньої бабки при відведеній шліфувальній бабці; блокування механізму ручного переміщення стола; безперервну подачу шліфувальної бабки до торкання круга із заготовкою; поперечні подачі шліфувальної бабки, безперервні при шліфуванні врізанням і періодичні при поздовжнім шліфуванні; доводочну мікроподачу (толчкову мікроподачу); автоматичний відвід бабки після досягнення заданого розміру;

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подачу команд на електричний лічильник ходів стола при виходжуванні; переміщення супорта й каретки при виправленні по гладкому або східчастому копіру; подачу алмазного олівця приладу виправлення; компенсацію припуску, знятого при виправленні; переміщення скоби вимірювального керуючого пристрою переміщення циліндрів широкодіапазонного вимірювального приладу; подачу мастильного матеріалу в підшипники шпинделя шліфувальної бабки, що направляють стола й опори гвинта поперечних подач. [3, стор. 261-265].

У шліфувальних верстатах широко застосовуються гідравлічні приводи. Як робочі рідини використовують мінеральні масла (Індустріальне 12 й 20). Гідравлічний привід стола круглошліфувального верстата (мал. 12) працює так: масло з резервуара 1 через усмоктувальний трубопровід насоса 3 і зворотний клапан 5 надходить у гідрозподільник (золотник) 6, а потім (по трубопроводу 8) у ліву порожнину гідроциліндра 10, двосторонній шток якого зв'язаний зі столом 11. Відбувається переміщення стола ліворуч праворуч. При цьому масло правої порожнини гідроциліндра по трубопроводу 9 через гідродросель 4 повертається в резервуар 1. Для переміщення стола праворуч ліворуч соленоїд 7 переміщає гідрозподільник 6. Запобіжний клапан 2 слугує для випуску масла при підвищенні тиску в системі. Для подачі рідини (у гідравлічну систему шліфувального верстата) застосовують шестерні, пластинчасті й поршневі насоси. Для контролю й регулювання кількості й тиску масла застосовують різні контрольні-регулюючі пристрої, зворотні, запобіжні, редуційні клапани, дроселі, регулятори швидкості. [2, ст. 230]

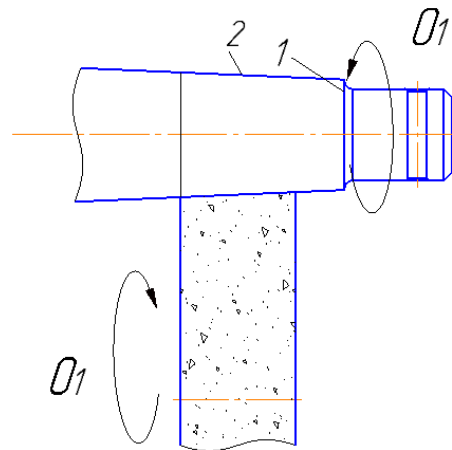
### 3.2 Кінематичний розрахунок верстата та обґрунтування його кінематичної схеми.

На проєктованому верстаті належить виконувати формоутворення циліндричної і торцевої поверхонь абразивним шліфуванням. Таке формоутворення може бути забезпечено поєднанням двох методів дотику (рис.4.1).

Кінематичну схему див. розділ 2 п.3. Головним рухом формоутворення є обертання шліфувального круга  $\Phi_V(O_1)$ . Для формоутворення поверхні по всьому

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

периметру деталі необхідно забезпечити рух кругової подачі обертання заготовки  $\Phi_v(O_2)$  та рух радіальної подачі  $\Phi_s(\Pi_3)$ .



1 – твірна. Метод дотику.  $\Phi=2$ .  $V_r(\Pi_3 O_2)$   
 2 – направляюча. Метод копіювання.  $\Phi=0$ .  $\Phi_v(O_1)$

Рис. 3.3 – Методи формоутворення

Ці рухи повинні бути забезпечені кінематикою верстата.

На основі аналізу різних кінематичних схем шліфувальних верстатів вибираємо структурно-кінематичну схему показану на рис. 4.2.

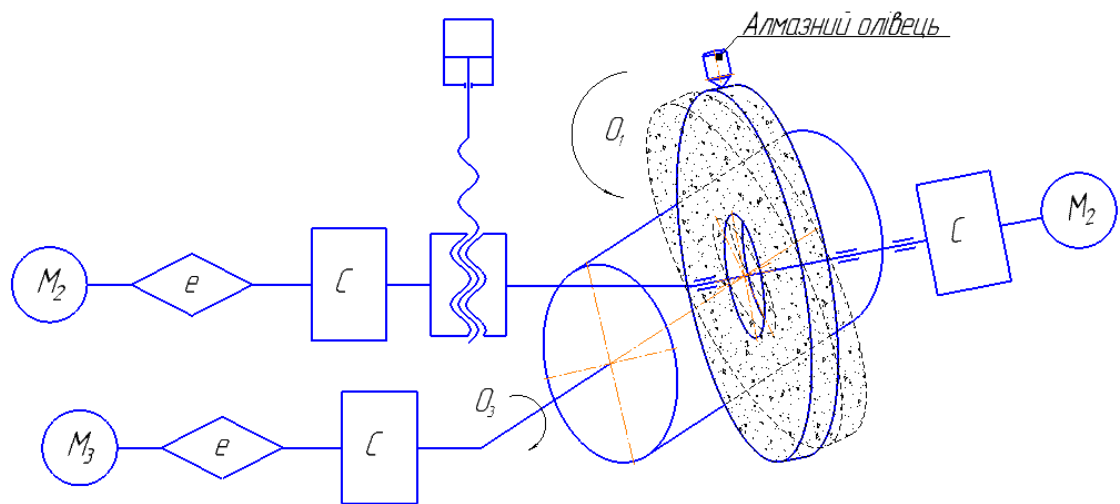


Рис. 3.4 – Структурно-кінематична схема верстата

### 3.3 Вибір структури приводів верстату

Вихідними даними для проектування приводу є сукупність взаємопов'язаних технологічних, кінематичних, силових і динамічних характеристик верстату, які повинні задовольняти умови забезпечення вимог

технологічного процесу обробки деталей на верстаті.

Структура приводу МРВ повинна забезпечити необхідні формоутворюючі рухи при обробці, а також потрібні допоміжні переміщення: підвід і відвід інструменту, поворот робочих органів в задані положення та ін.

Для даного верстату з конструктивних і технологічних міркувань вибираємо структуру приводу електромеханічного типу у вигляді електродвигуна і клинопасової передачі.

На даному верстаті можуть виконувати такі операції: шліфування  $\varnothing 426h7$  і шліфування торця в розмір  $25 \pm 0,105$ .

Формоутворюючі рухи: головний рух  $\varphi_V(O_1)$  - обертання шліфувального круга;  
рух подачі  $\varphi_S(P_2)$  - поступальний рух інструменту (поперечна подача)  
допоміжний рух  $\varphi_V(O_3)$  - обертання заготовки

### 3.4 Привід головного руху

Визначаємо передаточне число приводу

$$i_{np} = \frac{n_{un}}{n_{\partial\partial}} = \frac{1250}{1500} = 0,83$$

Вибираємо діаметр ведучого шківа  $D_1 = 175$  мм

Знаходимо діаметр  $D_2$  веденого шківа, прийнявши відносне ковзання  $\varepsilon = 0,015$

$$D_2 = \frac{D_1}{i_{np}} (1 - 0,015) = \frac{175}{0,83} (1 - 0,015) = 207,7 \text{ мм}$$

Приймаємо такі діаметри шківів (згідно стандартних значень)

$D_1 = 175$  мм,  $D_2 = 200$  мм.

Визначаємо міжосьову відстань  $a_w$ : її вибираємо в інтервалі:

$$a_{min} = 0,55 \cdot (D_1 + D_2) + h = 0,55 \cdot (175 + 200) + 10,5 = 216,75 \text{ мм}$$

$$a_{max} = 2 \cdot (D_1 + D_2) = 2 \cdot (175 + 200) = 750 \text{ мм}$$

Приймаємо близьке до середнього значення  $a = 600$  мм.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

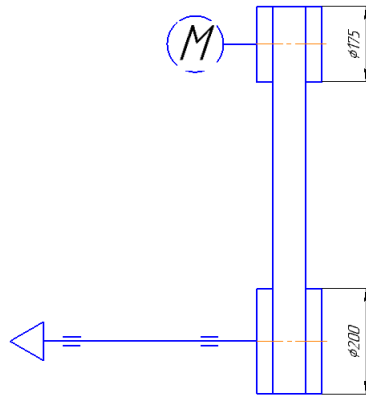


Рис. 3.5 – Кінематична схема приводу головного руху

Діапазон регулювання  $R$  можна визначити по такій формулі:

$$R = \frac{n_{max}}{n_{min}}$$

де  $n_{max}$ - максимальна частота обертання шпинделя,

$n_{min}$  - мінімальна частота обертання шпинделя.

Так як в нашому випадку  $n_{max}=n_{min}=n_{ном}=1250$  об/хв., то  $R=1$ .

### 3.5 Привід бабки вибору

Шпиндель бабки вибору (передньої бабки) – обертовий. Він монтується на двох підшипниках кочення. Обертання шпинделя здійснюється електродвигуном постійного струму з приводом, що змінює частоту обертання в діапазоні 1500-150 об/хв..

До торця шпинделя кріпиться патрон для затиску оброблюваного вибору. Затиск вибору здійснюється через тягу і вал за допомогою пружин і кулачків. Розтиск вибору здійснюється через тягу і вал за допомогою гідравліки гідроциліндром.

Бабка вибору виконує функцію кутової орієнтації вибору. Кутова орієнтація вибору здійснюється тим же електродвигуном постійного струму.

Шпиндель отримує обертання від електродвигуна через клинопасові передачі (рис. 4.4) Натяг пасів в передачі здійснюється переміщенням підмоторної плити з електродвигуном.

На даному верстаті можна шліфувати діаметри в такому діапазоні:

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_{min} = 120 \text{ мм}$$

$$d_{max} = 1200 \text{ мм}$$

Маючи рекомендовану нормативами швидкість обертання деталі, визначаємо відповідно мінімальне і максимальне число обертів шпинделя передньої бабки:

$$n_{min} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_{max}} = \frac{1000 \cdot 33}{3.14 \cdot 1200} = 8,8 \text{ об/хв}$$

$$n_{max} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_{min}} = \frac{1000 \cdot 33}{3.14 \cdot 120} = 88 \text{ об/хв}$$

Кінематика приводу верстату із двигунами з плавним регулюванням швидкості визначається співвідношенням між загальним діапазоном регулювання швидкості шпинделя і діапазоном регулювання двигуна.

Знаходимо загальний діапазон регулювання:

$$R = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{88}{8.8} = 10$$

і діапазон регулювання двигуна:

$$R_{\partial\partial} = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{1500}{150} = 10.$$

Отже, діапазон регулювання двигуна повністю забезпечує загальний діапазон регулювання.

З технологічних міркувань для забезпечення необхідного числа обертів шпинделя між валом двигуна і шпинделя потрібні клинопасові передачі.

Відповідно:

$$n_{\partial\partial} \cdot 0,985 \cdot i_{n.n.} = n_{шт},$$

де 0,985 – коефіцієнт, що враховує ковзання паса.

Для  $n_{min}$  матимемо:

$$150 \cdot 0,985 \cdot i_{n.n.} = 8,8$$

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_{n.n.} = \frac{8,8}{150 \cdot 0,985} = 0,06$$

З конструктивних міркувань одну клинопасову передачу застосовувати недоцільно, тому для скидання обертів використаємо три клинописові передачі.

Тоді:

$$i_1 = 0.3; i_2 = 0.42$$
$$i_3 = \frac{i_{n.n.}}{i_2 \cdot i_1} = \frac{0.06}{0.42 \cdot 0.36} = 0.4$$

Вибираємо діаметри ведучих шківів:

- Для першої клинопасової передачі:  $D_1=80$  мм;
- Для другої:  $D_1=100$  мм;
- Для третьої:  $D_1=112$  мм.

Знаходимо відповідні діаметри  $D_2$  ведених шківів (приймавши відносне ковзання  $\epsilon=0,015$ ) за формулою:

$$D_2 = \frac{D_1}{i} (1 - 0,015)$$

Для першої клинопасової передачі:

$$D_2 = \frac{80}{0.36} (1 - 0,015) = 219 \text{ мм}$$

Для другої:

$$D_2 = \frac{100}{0.42} (1 - 0,015) = 235 \text{ мм}$$

Для третьої:

$$D_2 = \frac{112}{0.4} (1 - 0,015) = 276 \text{ мм}$$

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

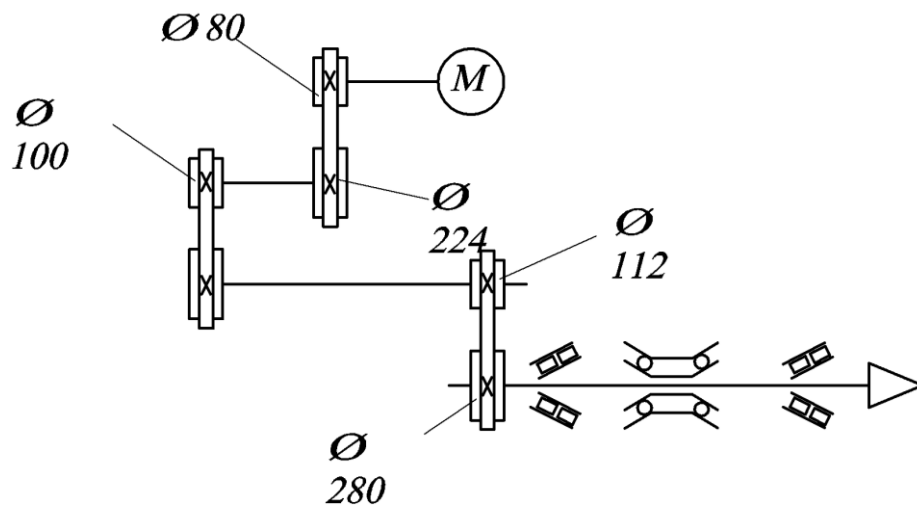


Рис. 3.6 – Кінематична схема приводу бабки виробу

Приймаємо такі діаметри шківів (згідно стандартних значень) ([18], ст.68)

Для першої передачі  $D_1=80$  мм;  $D_2=224$  мм.

Для другої передачі  $D_1=100$  мм;  $D_2=240$  мм.

Для третьої передачі  $D_1=112$  мм;  $D_2=280$  мм.

### 3.6 Привід руху подач

Подача шліфувальної бабки на встановлену величину компенсації вперед або назад здійснюється від електродвигуна через муфту і шестерню та зубчате колесо, що з'єднані з вертикальним валом механізму швидкого підводу (рис. 5.5).

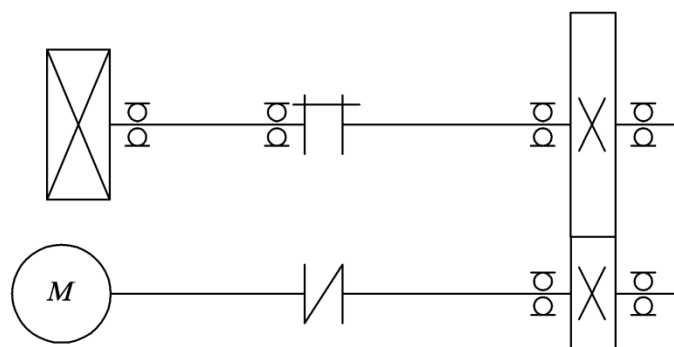


Рис. 3.7– Кінематична схема приводу руху подач

### 3.7 Вибір потужності і типу двигунів

Прийнято вважати, що для визначення потужності, розрахунковий діаметр шліфування складає 0,25..0,30 найбільшого діаметра встановлюваної деталі. У

зв'язку з цим приймаємо розрахунковий діаметр деталі при виборі потужності електродвигуна  $200 \cdot 0,25 = 50$  мм.

Для деталі даного діаметра з незагартованої сталі одним із продуктивних режимів відповідно до довідників є слідуєчий: поперечна подача круга на подвійний хід столу, подача на глибину  $t_{\Gamma\Gamma} = 0,021$  мм, подовжня подача круга або деталі на один оберт виробу  $S_0 = 0,7 \cdot 60 = 35$  мм/об кругова швидкість деталі при чорновому шліфуванні  $v_{\text{ч}} = 15$  м/хв.

При цьому режимі (шліфувальний круг 40СМ) ефективна потужність складатиме:

$$N_E = C_N v_B^{0,75} s_0^{0,7} t_{\Gamma\Gamma}^{0,85} = 1,18 \cdot 15^{0,75} \cdot 35^{0,7} \cdot 0,02^{0,85} \approx 6,1 \text{ кВт}$$

При роботі зі швидкістю шліфувального круга 80 м/с можна швидкість виробу підвищити до  $v_B = 15 \cdot \frac{80}{35} = 34,28$  м/хв.

При даній швидкості виробу і при незмінних величинах подовжньої і поперечної подач ефективна потужність буде дорівнює  $N_E = 7$  кВт. Потужність холостого ходу  $N_{\text{х.х.}}$  можна прийняти 2 кВт.

$$N_{E1} = N_E + N_{\text{х.х.}} = 7 + 1,5 = 8,5 \text{ кВт.}$$

При врізному шліфуванні зі швидкістю круга 35 м/с продуктивним режимом можна вважається наступний:  $v_B = 20$  м/хв;  $t_{\Gamma\Gamma} = 0,0175$  мм/об;  $d_B = 50$  мм;  $B = 60$  мм;

$$N_E = C_N v_B^{0,8} d_B^{0,2} t_2^{1,8} B = 0,14 \cdot 20^{0,8} \cdot 50^{0,2} \cdot 0,0175^{1,8} \cdot 60 \approx 6,7 \text{ кВт}$$

При роботі зі швидкістю круга 50 м/с пропорційно збільшуємо швидкість деталі до  $\frac{80}{35} = 2,285$  тобто  $v_B = 57,14$  м/хв.

Ефективна потужність зростає до

$$N_{E2} = N_{E1} + N_{\text{х.х.}} = 8,7 + 1,5 = 10,2 \text{ кВт.}$$

При використанні верстата на легких і середніх режимах можна працювати зі швидкістю круга 80 м/с без зміни електродвигуна. При використанні верстата на важких режимах рекомендується установити інший електродвигун потужністю

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$N=11$  кВт із синхронною частотою обертання  $n=3000$ об/хв, тип двигуна 4А132М2УЗ.

### 3.8 Конструювання та розрахунок окремих вузлів верстата

Шпиндель шліфувальної бабки встановлений в двох підшипниках ковзання спеціальної конструкції. Підшипники мають по три однакових вкладиша, які є окремими сегментами. Вкладиші своїми сферичними лунками опираються на гвинти з сферичними головками, в результаті чого вкладиші само встановлюються по шийках шпинделя.

Конструкція вкладишів забезпечує масляний клин між шийкою шпинделя і вкладишами, що усуває їх нагрівання і зношення.

Гвинтами проводять регулювання діаметрального зазору між вкладишами і шийкою шпинделя і виставлення осей шпинделя відносно направляючих стола.

Шпиндель шліфувальної бабки фіксується у осьовому напрямі за допомогою двох сферичних бронзових кілець 5 і 6, що притискаються з двох сторін до торця бурта шпинделя опорними кільцями, корончатою гайкою 7, яка фіксується контргайкою 8 (див. лист шліфувальна бабка).

Обертання шпинделя шліфувальної бабки здійснюється електродвигуном змінного струму, що встановлений на шліфувальній бабці через клинопасову передачу.

#### Вимоги до шпиндельного вузла

1. Точність:

$$\Delta \leq \frac{\Delta_d}{3} = \frac{0,063}{3} = 0,021 \text{ м}$$

де  $\Delta$  - биття шпинделя

$\Delta_d$  - допуск на виготовлення деталі

2. Жорсткість

$$j \geq \frac{F_{\max \text{ риз}}}{\Delta} = \frac{53,04}{0,021} = 2525,7 \text{ Н/мкм}$$

3. Вібростійкість

Частота власних коливань  $f_0 = 500 \setminus \text{div} 600$  Гц

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4. Теплостійкість

Так як даний верстат нормальної точності, то  $\Delta t = 20 \div 30^\circ \text{C}$

5. Швидкохідність  $d \cdot n = 110 \cdot 1250 = 1.4 \cdot 10^5 \text{ мм/хв.}$

де  $n$  - величина обертів шпинделя.

Для шпинделя з зовнішнім приводом

$$\frac{N}{d} = 0.20 \dots 0.35 \frac{\text{кВт}}{\text{мм}},$$

але  $d \geq \sqrt[4]{(0,05 \dots 0,1)l^3} = \sqrt[4]{0,1 \cdot 600^3} = 85 \text{ мм}$

де  $l$  – міжопорна відстань,  $l = 600 \text{ мм}$ .

*Вибір компонованої схеми шпиндельного вузла.* Знаючи параметр швидкохідності шпинделя  $dn = 1.4 \cdot 10^5 \text{ мм/хв}$  і користуючись рекомендаціями [20 ст. 212-215] вибираємо конструктивну схему шпиндельного вузла, яка має в передній і задній опорі гідродинамічні підшипники.

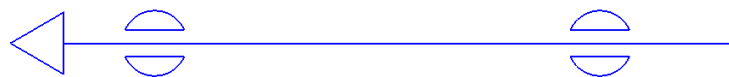


Рис. 3.8 шпиндельного

$$dn = 1.4 \cdot 10^5 \text{ мм/хв}$$

1. Діаметр шпинделя в передній опорі:

$$d \leq \frac{(dn)_{\text{табл}}}{n_{\text{max}}} = \frac{1.4 \cdot 10^5}{1250}$$

2. Міжопорна відстань:

$$l = (4 \dots 7)d$$

Приймаємо:  $l = 5.5 \cdot 110 = 605 \text{ мм} \approx 600 \text{ мм}$

3. Діаметр шпинделя в задній опорі:

$$d_3(0,7 \dots 1)d = 1 \cdot 110 = 110 \text{ мм}$$

Приймаємо  $d_3 = 110 \text{ мм}$

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Діаметр шпинделя між опорами:

$$d_M = (0.9 \dots 1.1)d = 1.1 \cdot 110 \approx 130 \text{ мм}$$

Приймаємо:  $d_M = 130 \text{ мм}$

5. Виліт шпинделя

$$c = (1 \dots 2,1)d = 1,3 \cdot 110 = 143 \text{ мм},$$

Приймаємо  $c = 140 \text{ мм}$ .

### 3.9 Підшипники опор шпиндельного вузла

В якості опор шпинделя вибираємо гідродинамічні підшипники. Гідродинамічні підшипники застосовують у верстатах з високими постійними або малозмінними швидкостями обертання шпинделів при незначних загрузках (верстати шліфувальної групи).

В верстатобудуванні використовують багатоклинові гідродинамічні підшипники, так як одноклинові не можуть забезпечити потрібної жорсткості і точності обертання.

Конструктивні параметри гідродинамічних підшипників визначають виходячи з діаметра шийки шпинделя.

При цьому довжину  $L$  вкладиша в осьовому напрямі і довжину його по дузі  $B$ , мм, приймаємо із співвідношень:

$$B = 0.5d - 0.5 \cdot 110 = 55.0 \text{ мм}$$

$$L = 0.75d = 0.75 \cdot 110 = 82.5 \text{ мм}.$$

Діаметральний зазор:

$$\Delta = 3D \cdot 10^{-4} = 0,033 \text{ мкм},$$

де  $D = 11,0 \text{ см}$  – діаметр шийки шпинделя.

В якості робочої рідини застосовують мінеральне масло марки Л (велосіт) з коефіцієнтом динамічної в'язкості:

$$\mu = (4 \div 5) \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с при } 50^\circ \text{ С}.$$

Визначаємо навантажувальну здатність  $F_d$  підшипника. При цьому приблизно навантаження на один вкладиш:

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_i = \frac{F_0}{1 + E \cos \theta} \quad (4.4)$$

де  $E=2e/\Delta$  - відносний ексцентриситет

$e$  - ексцентриситет (зміщення центра шпинделя під дією зовнішнього навантаження), мкм.

$\theta$  – координата точки опори вкладиша відносно напрямку дії зовнішнього навантаження.

Навантаження, що діє на кожен вкладиш, при  $e=0$

$$F_0 = 0.5 \frac{\mu \cdot n \cdot D \cdot B \cdot L}{\Delta^2} \cdot C_L \quad (4.5)$$

де  $C = \frac{1.25}{1 + \frac{B^2}{L^2}} = \frac{1.25}{1 + \frac{55.0^2}{82.5^2}} = 0.87$  - конструктивний коефіцієнт

$$F_0 = 0.5 \frac{\mu \cdot n \cdot D \cdot B \cdot L}{\Delta^2} \cdot C_L = 0.5 \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 1250 \cdot 110 \cdot 55 \cdot 82.5}{0.033^2} \cdot 0.87 = 9.97 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Навантажувальна здатність підшипника:

$$F_D = \sum_1^k F_i \quad (4.6)$$

де  $k=3$  – число вкладишів.

Для підшипників з трьома вкладишами найбільше значення навантажувальної здатності наближено визначаємо по формулі:

$$F_0^{2^2^4} \text{ Дmax Н}$$

Жорсткість гідродинамічних підшипників визначається не стільки жорсткістю шару змащення  $j_M$ , скільки жорсткістю елементів спряжених конструкцій  $j_{ел}$ .

Сумарна жорсткість опори:

$$j_{оп} = \frac{j_M \cdot j_{ел}}{j_M + j_{ел}} = \frac{1,2 \cdot 10^4 \cdot 7,8 \cdot 10^4}{1,2 \cdot 10^4 + 7,8 \cdot 10^4} = 1,04 \cdot 10^{-4} \text{ Н/мм}$$

При малих навантаженнях, і відповідно, невеликих зміщеннях для підшипника з трьома вкладишами:

$$j_M = 0,09nd = 0,09 \cdot 1250 \cdot 110 = 1,2 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}$$

					КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Жорсткість елементів конструкції при контакті сегментів з опорними поверхнями не перевищує 250 – 300 Н/мкм

$$j_{\text{ЕЛ}} = 125dc^2 = 125 \cdot 25^2 = 7.8 \cdot 10^4 \text{Н/мм}$$

де  $dc$  - діаметр опорної напівсфери

$$dc = 1,5 \div 2,5 \text{ см.}$$

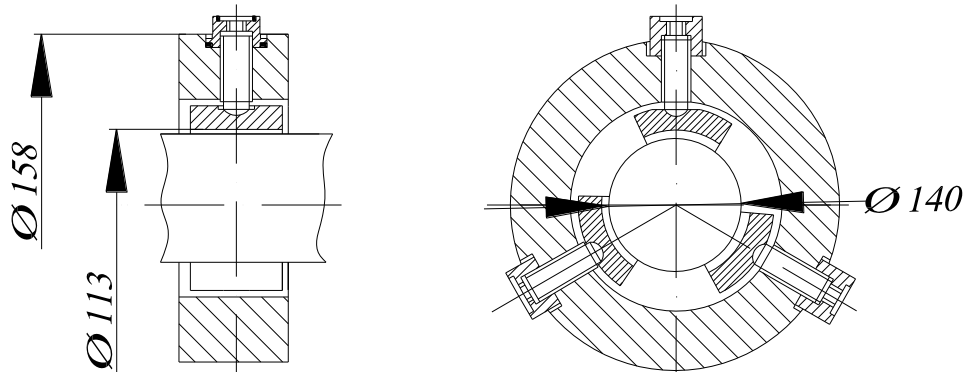


Рис.4.5. Загальний вид і основні розміри гідростатичних підшипників

### 3.10 Розрахунок клино – пасової передачі

Слід мати на увазі, що відстань між осями шківів у верстатах, який модернізують є заданою і може змінюватися в невеликих межах. Так, у круглошліфувальних верстатах 3А151 і 3А161 можна прийняти  $l=500$  мм.

Найбільший діаметр шківа на шпинделі повинний бути меншим за подвоєну відстань від осі шпинделя до передньої стінки корпусу шліфувальної бабки для того, щоб захисний кожух передачі не виступав за передню стінку корпусу шліфувальної бабки.

У даному випадку розрахунковий діаметр шківа шпинделя можна прийняти рівним 160 мм.

1. Частота обертання круга

$$n_{\text{Ш}} = \frac{1000v_{\text{Ш}}60}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 80 \cdot 60}{3,14 \cdot 600} \approx 2547 \text{об/хв.}$$

2. Передатне відношення від двигуна до шпинделя круга

$$i = \frac{n_{\text{д}}}{n_{\text{Ш}}} = \frac{1460}{2547} = 0,573$$

3. Діаметр шківа двигуна приводу:

$$D_{\text{Ш,д}} = \frac{D_{\text{Ш,Ш}}}{i} = \frac{160}{0,573} = 279 \text{мм}$$

					КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Дійсна частота обертання шпинделя:

$$n'_{III} = (1 - \varepsilon) \cdot 2547 = 2508 \text{ об/хв.}$$

5. Довжина паса:

$$L = \pi D_{cp} + l \left[ 2 + \left( \frac{D_{III,II} - D_{III,III}}{2l} \right)^2 \right] = 3,14 \cdot \frac{279+160}{2} + 500 \cdot \left[ 2 + \left( \frac{279-160}{2 \cdot 500} \right)^2 \right] \approx 1440 \text{ мм}$$

6. Знаходимо кут обхвату меншого шківів:

$$\alpha = 180 - \frac{60(D_{III,II} - D_{III,III})}{l} = 180 - \frac{60(279 - 162)}{500} = 165^\circ$$

7. Визначаємо розрахункову кількість пасів:

$$z = \frac{N}{N_0 K_1 K_2} = \frac{11}{3,4 \cdot 1 \cdot 0,73} = 5,65 \text{ шт.}$$

Приймаємо ременів рівним  $z=6$ , профіль Б.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Розрахунок віброізолюючих опор для МРВ

Віброгасіння. Для динамічного гасіння коливань використовуються динамічні віброгасіння, маятникові, ексцентричні, гідравлічні. Вони являють собою додаткову коливну систему з масою  $T$  та жорсткістю  $D$ , власна частота котрої (налаштована на основну) коливань даного агрегату, що має масу  $M$  та жорсткість  $O$ , віброгасій кріпиться і налаштовується таким чином, що в ньому в кожний момент часу збуджуються коливання, котрі знаходяться в протифазі з коливанням агрегату. Недоліком динамічного гасіння є те, що він діє лише при певній частоті, котра відповідає його резонансному режиму коливань.

Для зниження вібрацій застосовуються також ударні віброгасіння маятникового, пружинного і плаваючого типів [34].

В них здійснюється перехід кінетичної енергії відносно руху елементів, що контактують, в енергію деформації з поширенням напружень із зони контакту по елементах, що взаємодіють. Внаслідок цього енергія розподіляється по об'єму елементів віброгасіння, котрі зазнають взаємних ударів, викликаючи їх коливання. Одночасно відбувається розсіювання енергії внаслідок дії сил зовнішнього та внутрішнього тертя. Маятникові ударні віброгасіння використовуються для гасіння коливань частотою  $0,4 - 2$  Гц, пружинні -  $2 - 10$  Гц, плаваючі - понад  $10$  Гц.

Віброгасіння камерного типу призначені для перетворення пульсуючого потоку газу в рівномірний.

Такі віброгасіння встановлюють на всмоктувальній та нагнітальній сторонах компресорів, на гідроприводах.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Шалапа А.Р.</i>			<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Гагалюк А.В.</i>					58	8
<i>Н. контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>			<i>ТНТУ ім.І.Пулюя, гр.МВ-41</i>			
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.В.</i>						

Вони забезпечують значне зниження рівня вібрацій трубопроводів та газопроводів. Динамічне віброгасіння досягається також встановленням агрегату на масивному фундаменті. Маса фундаменту підбирається таким чином, щоб амплітуда коливань підшви фундаменту не перевищувала 0,1 – 0,2 мм.

### ***Розрахунок віброізоляторів***

Будь-яка машина, поставлена на віброізолятори має шість ступеней вільності, тому що може робити коливання в трьох взаємно перпендикулярних площинах простору, а також робити рухи в трьох тих же площинах.

Розрахунок систем із шістьма ступенями вільності дуже складний. В інженерній практиці віброізоляції машин обмежуються в більшості випадків розрахунком тільки вертикальних коливань.

Розрахунок віброізоляторів зводиться до визначення потрібної пружності гумових прокладок чи пружин і визначенню їхніх геометричних параметрів: діаметра, числа витків і радіуса витка пружини.

Вихідною передумовою для розрахунку в розглянутому випадку є необхідність виконання умов  $a=3...4$ . Значення частоти сили, що змушує, визначається по параметрах робочого процесу. Для різних типів приводу з числом оборотів двигуна  $n$  значення  $f$  визначають по формулі:

$$f = \frac{n}{60}$$

За відомим значенням  $f$  розраховують  $f_0$  (Гц):

$$f_0 = \frac{\alpha}{f}$$

Використовуючи зв'язок між статичним осіданням  $X_{ст}$  і частотою власних коливань системи  $f_0$ , можна побудувати графік залежності для визначення  $X_{ст}$  за заданим значенням коефіцієнта передачі  $K_{П}$ . Графік будується в логарифмічних координатах. Для необхідного значення  $f_0$  визначають потрібну статичну осадку системи і роблять розрахунок геометрії віброізоляторів.

Для гумових прокладок визначають потрібну висоту віброізоляторів:

$$h = X_{ст} \times \frac{E}{\sigma}$$

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						59
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

де  $E$  – модуль пружності,  $H/м^2$ ;

$\sigma$  - допустиме навантаження на стиск для матеріалу прокладки,  $H/м^2$ .

Товщина віброізолюючої прокладки повинна відповідати умові:

$$h < \lambda/2n$$

де  $\lambda$  - довжина хвилі ізолюючих коливань. При  $n=1,2,3,\dots$  в прокладці виникають резонансні коливання. Для визначення площі віброізолюючої прокладки служить формула:

$$= P/\sigma \times N$$

де  $P$  – сила ваги верстата;

$N$  – число прокладок.

Вихідні дані:

- маса верстата  $m_g = 6200кг$ ;
- максимальні оберти  $n^{роб.ход.}/xв_{max}$ ;
- коефіцієнт передачі  $K_{II} = 0,1$ .

$$n:=200$$

$$\alpha:=4 \quad f:=\frac{n}{60}$$

$$f=3,33 \text{ Гц}$$

$$f_{0max}=3.33/3=1.11\text{Гц}$$

$$f_{0min}=3,33/4=0,8325\text{Гц.}$$

Приймаємо  $f_0=1\text{Гц}$ .

Оскільки в нас  $K_{II} = 0,1$ , то  $X_{cm} = 10\text{см}$

$$\sigma:=4 \times 10^6 \quad E:=2 \times 10^7 \quad x:=10$$

$$h:=x \times \left(\frac{E}{\sigma}\right) (5.3) \quad h:=10 \times \left(\frac{2 \times 10^7}{4 \times 10^6}\right) = 50\text{см.}$$

Визначаємо площу віброізолюючої прокладки

$$m:=6200 \quad g:=9,8$$

$$N:=4 \quad P:=m * g$$

$$P:=60760 \quad \sigma:=4 \times 10^6 \quad N:=4$$

					КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S := \frac{P}{\sigma \cdot N}$$

$$S = \frac{60760}{4 \times 10^6 \cdot 1} = 0,015 \text{ м}^2$$

Отже, визначивши геометричні параметри віброізолюючої подушки опираючись на СН 245-71 і СН 626-66 вибираємо чотири віброподушки №2.

Розрахунок пружинних віброізоляторів.

Для забезпечення віброізоляції приймаємо двопружинний віброізолятор.

Визначаємо зусилля, яке сприймає кожна пружина:

$$P_2 = \frac{m}{Nn}, \quad (8.6)$$

де n – кількість пружин в опорі.

$$P_2 = \frac{6200}{4 \cdot 2} = 775 \text{ кг}$$

З таблиці 4.1 [ , ст. 30] підбираємо пружину №143, для якої P=6120кгс.

Визначаємо жорсткість пружини:

$$Z = \frac{P}{f} \quad (8.7)$$

де f– максимальна деформація пружини, (f=20... 40 мм).

$$Z = \frac{P}{f} = \frac{6120}{30} = 204 \text{ кгс/мм}$$

Кількість робочих витків буде складати:

$$n = \frac{z_1}{Z} = 9,4$$

Приймаємо n=10.

					КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо модернізації шліфувального обладнання для забезпечення ефективності, гнучкості та продуктивності механічного оброблення циліндричних деталей на етапі фінішних операцій. На основі проведених досліджень, аналітичних розрахунків та конструкторських розробок сформовано такі загальні висновки:

1. розроблена модернізована конструкція шліфувальної бабки дозволить підвищити продуктивність процесу шліфування, покращити якість поверхневого шару деталей та скоротити витрати часу. Практичне значення полягає у можливості впровадження конструкції на підприємствах для модернізації верстатів типу ЗМ151.
2. Виконані розрахунки головного приводу та шпиндельного вузла, визначено граничні експлуатаційні режими роботи обладнання. Виявлено лімітуючі швидкісні та силові параметри, які використано як вихідні дані для проектування вузлів. Синтезовано раціональну кінематичну схему та структуру приводів, що забезпечує стабільність роботи при високих швидкостях. Обґрунтовано вибір прецизійних підшипників, які гарантують жорсткість і вібростійкість шпиндельного вузла.
3. Розраховано параметри, що компенсують тепловиділення при швидкісному шліфуванні, забезпечуючи надійність і довговічність роботи вузла. Доведено доцільність модернізації, оскільки вона дозволяє підвищити точність і продуктивність без значних капітальних витрат на придбання нового обладнання.

Таким чином, робота має комплексний характер — поєднує аналітичний, технологічний та конструкторський аспекти. Вона демонструє можливість підвищення ефективності існуючого обладнання шляхом цілеспрямованої модернізації окремих вузлів, що є важливим для розвитку сучасного галузевого машинобудування.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Шалана А.Р.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірів		Гагалюк А.В.				62	
Рецензент					<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>		
Н. контр.		Кобельник В.Р.			ТНТУ ім.І.Пулюя, гр. МВ-41		
Зав.каф.		Крупа В.В.					

## 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. Складар, 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. ДСТУ 7809:2015 Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови. Чинний від 2016-04-01. 24 с. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id\\_doc=64320](https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=64320)
3. ДСТУ 7806:2015 Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови. Чинний від 2016-04-01. 49 с. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id\\_doc=64466](https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=64466)
4. ДСТУ EN 10085:2014 Азотовані сталі. Технічні умови постачання (EN 10085:2001, IDT). Чинний від 2016-01-01. 28 с. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id\\_doc=93282](https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=93282)
5. ДСТУ EN ISO 683-1:2022 Сталі, що піддають термічному обробленню, леговані сталі та сталі вільного різання. Частина 1. Нелеговані сталі для загартування та відпустки (EN ISO 683-1:2018, IDT; ISO 683-1:2016, IDT). Чинний від 2023-12-31. 46 с. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id\\_doc=106016](https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=106016)
6. Гевко Б. М., Матвійчук А. В., Артюхов А. М., Пік А. І., Гагалюк А. В., Лотоцький Р. І. Технологія обробки на верстатах з ЧПК. - Тернопіль: Крок, 2014. – 131 с.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Шалана А.Р.</i>			<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Гагалюк А.В.</i>					63	
<i>Рецензент</i>						<i>ТНТУ ім.І.Пулюя, гр. МВ-41</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>						
<i>Зав.каф.</i>		<i>Крупа В.В.</i>						

7. Analysis of the stress-strain state of the vehicle frame by finite element method // Mykola Stashkiv, Ivan Pidgurskyi, Oleh Pidluzhnyi, Mykola Pidgurskyi, Mykhaylo Levkovych, Ruslan Skliarov, Andriy Mushak // Scientific Journal of TNTU. – Tern.: TNTU, 2022. – Vol 108. – No 4. – P. 89–102.
8. Hahalyuk A., Krupa V. Modeling of a lathe bed using the method of topological optimization. Scientific journal of the Ternopil national technical university. 2023. Vol. 111, no. 3. P. 67–75. URL: [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2023.03.067](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.03.067)
9. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory / V. Krupa et al. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952>.
10. Mathematical models for the analysis of the parameters of channels in the planning of mechanical processing and welding operations. Theoretical and applied problems, november 22–24, 2023, : Proceedings ITTAP'2023: 3rd International Workshop on Information Technologies, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, 22–24 November 2023. 2023. P. 165–182.
11. Гагалюк А.В., Паливода Ю.Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування : навчальний посібник Тернопіль: Осадца Ю. В., 2025. – 308 с.
12. 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.
13. TaeguTec. Сплав ТТ9080. URL: <https://www.imc-companies.com/TaeguTec/ttkCatalog/Grade.aspx?grade=ТТ9080&item=4207959&fnum=1506&mapp=DR&app=77>
14. Sandvik Coromant. Технологія обробки металів різанням. URL: [https://polidecktech.com/wp-content/uploads/2022/02/C-2920-40\\_compressed.pdf](https://polidecktech.com/wp-content/uploads/2022/02/C-2920-40_compressed.pdf)
15. Sandvik Coromant. Фрезерування. Посібник. [https://polidecktech.com/wp-content/uploads/2021/12/MTG\\_D-ФРЕЗЕРОВАНИЕ.pdf](https://polidecktech.com/wp-content/uploads/2021/12/MTG_D-ФРЕЗЕРОВАНИЕ.pdf)
16. New technology for the manufacturing and use of rolling kingpin bushings in the

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						64
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

undercarriage of certain vehicles. Senyk A., Kobelnyk V., Gagaliuk A., Plavutska I., Matviyishyn A., Larochkin A., Dubyniak T. Procedia Structural Integrity. 7th International Conference on In-service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction, DMDP 2023 Ternopil 18 October 2023 до 20 October 2023. 2024. Vol. 59, P. 508-515. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85195796663&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=a84d4364e9e8a8c805127dd9219dd36e&sot=aff&sdt=a&sl=67&s=AF-ID%28%22Ternopil+Ivan+Puluj+National+Technical+University%22+60013556%29&relpos=21&citeCnt=0&searchTerm=>

17. Probability-statistical estimation method of feed influence on the tangential cutting force under turning / V. Krupa et al. Journal of achievements in materials and manufacturing engineering. 2022. Vol. 114, no. 1. P. 22–31. URL: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.1480>

18. Technological Heredity and Accuracy of the Cross-Section Shapes of the Hydro-Cylinder Cylindrical Surfaces / P. D. Kryvyi et al. ASME 2014 International Manufacturing Science and Engineering Conference collocated with the JSME 2014 International Conference on Materials and Processing and the 42nd North American Manufacturing Research Conference, Detroit, Michigan, USA, 9–13 June 2014. 2014. URL: <https://doi.org/10.1115/msec2014-3946> .

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

20. Volodymyr Shanaida, Ruslan Skliarov, Valeriy Lazaryuk. Mathematical models for the analysis of the parameters of channels in the planning of mechanical processing and welding operations/ Proceedings ITTAP'2023: 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, November 22–24, 2023, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland. 2023, 3628, pp. 43-54. (Scopus) <https://ceur-ws.org/Vol-3628/paper12.pdf>

21. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. Динаміка

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						65
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль : ТНТУ 2023. 246 с.

22. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці: Навчально-методичний комплекс для підготовки спеціалістів ступеня «бакалавр» III-IV рівнів акредитації для всіх напрямків підготовки / М.М.Сақун, І.В.Москалюк, В.Ф.Нагорнюк; за редакцією Сақуна М.М. – Одеса: Видавництво, 2017. – 400 с.
23. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів / Кобельник В.Р, Крупа В.В., Тимошенко Н.М. Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези допов. – Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.
24. Вплив випадковості подачі на висоту мікронерівностей поверхні при її точінні або розточуванні / П. Кривий, Н. Тимошенко, М. Шарик, В. Крупа Львів : Машинознавство. 2013. №9-10 (195-196). С. 76-83.
25. В'юк Д. В., Крупа В. В. Ймовірно статистична модель оцінювання ефективності застосування твердосплавних пластинок в умовах дрібносерійного виробництва. Актуальні задачі сучасних технологій : Матеріали XII Міжнар. науково-практ. конф. молодих уч. та студентів, м. Тернопіль, 6–7 груд. 2023 р. Тернопіль, 2023. С. 87–88.
26. Гагалюк А. В., Скляров Р. А. Генетичні алгоритми в генеративному дизайні. Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175- річчя з дня народження Івана Пулюя, (Тернопіль, 14–15 травня 2020 року), – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2020. – 288 с. - С. 56-57
27. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навч. посіб. до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи /Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.
28. Дослідження розсіювання величин подач токарних верстатів в імовірнісному

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аспекті / В. В. Крупа та ін. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2023. № 4(83). С. 16–28. URL: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.4.2>

29. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. Практикум із охорони праці: навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 352 с.
30. Кобельник В.Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі / В.Р. Кобельник // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2012. – Вип. № 31. – С. 47–56.
31. Кобельник В.Р. Жорсткість вертикально-свердлильних верстатів / В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – Вип. № 1 (40). С. 34–40.
32. Кобельник В.Р. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118 / В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – Вип. 8. – С. 99–108.
33. 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.
34. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.
35. Кривий П. Д. , Крупа В. В. Конструкторсько-технологічні параметри багаторізцевих розточних головок з радіусними вершинами різців. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2011. Вип. 33 С. 92-99.
36. 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. URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/27951>
37. Кривий П. Д., Крупа В. В. Геометричні та математичні моделі формування шорсткості циліндричних поверхонь при точінні та розточуванні. Вісник

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ЖДТУ. Серія "Технічні науки". 2011. Т. 1, № 2(53). С. 44–55. URL: <http://vtn.ztu.edu.ua/article/view/70846>.
- 38.Кривий П. Д., Крупа В. В. Інструментальне забезпечення процесу комбінованого розточування глибоких отворів тонкостінних циліндрів. Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. 2012. № 2. С. 23–34.
- 39.Кривий П., Крупа В., Продан В. Конструкторсько-технологічні передумови підвищення якості оброблення глибоких отворів тонкостінних циліндрів. Вісник ТДТУ. 2010. Т. 15, № 1. С. 147–156. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/486>.
- 40.Кривий П.Д. Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні // П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ – Київ, 2006. – Вип. № 19. – С. 58–64.
- 41.Кривий П.Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення зменшення задирок при наскрізному свердлінні / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник // Всеукраїнська молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих : прогресивні ідеї – наука – виробництво, 22 – 25 жовтня 2012 р. : тези допов. – К. : КПІ, 2012. – Том 1. – С. 71–73.
- 42.Кривий П.Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу свердління наскрізних отворів / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2011. – Вип. № 28. – С. 77–85.
- 43.Крупа В. В. Визначення конструкторсько-технологічних параметрів багаторізцевих розточних головок з поділом припуску та подачі. Вісник ТДТУ. 2011. Т. 16, № 1. С. 105–117. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/959>.
- 44.Крупа В. В. Металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів: дис. канд. техн. наук : 05.03.01. Тернопіль, 2015. 168 с. URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/5656>
- 45.Крупа В., Кобельник В., Гагалюк А. Обґрунтування параметрів спеціального трикулачкового патрона для затиску тонкостінних циліндричних заготовок.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						68
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. 2023. № 4. С. 128–137. URL: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.4.16>

46. 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.
47. Кузнецов Ю. М., Скляр Р. А. Формалізований опис шпиндельного вузла як основної компоненти багатошпиндельного токарного автомата. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. - Краматорськ : ДДМА, 2009. - Вип. 25. – С. 139-146
48. Кухарський О.М., Кузьмін М.І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
49. Метод оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач консольних фрезерних верстатів / П. Д. Кривий та ін. Прогресивні технології в машинобудуванні : збірник наукових праць : Матеріали Міжнар. науково-техн. конф., м. Львів. Львів, 2020. С. 103–105.
50. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія машинобудування” / О.М.Кухарський, І.В. Куцак. Тернопіль, 2001. 65 с.
51. Оправка фланцева кулачкова : пат. 56794 Україна : F16C 15/00. № u201008774 ; заявл. 14.07.2010 ; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2. 1 с.
52. Орищук Р. М., Чернявський І. В., Шанайда В. В. Дослідження точності позиціонування деталей різної геометричної форми у верстатних механізмах кріплення і силової фіксації. Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї–наука–виробництво : матеріали ХІХ Міжнар. науково-практ. конф., м. Суми, 25–26 листоп. 2020 р. Суми, 2020. С. 63–66.
53. Підвищення продуктивності процесу і якості плоскої поверхні сформованої комбінаційним торцевим фрезеруванням / П. Д. Кривий та ін. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. 2020. № 3 (47). С. 199-206.
54. Розточувальні інструменти з попарно-асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких циліндричних отворів П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, В. Г. Яковлєв. Технічні науки та технології. 2016. № 2 (4). С. 28-35.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 55.Скляров Р. А. Вибір бази порівняння при прогнозуванні стратегії підвищення якості технологічного обладнання. Матеріали наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя механіко-технологічного факультету «Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті. (м. Тернопіль, 16 травня 2011 р.), 2011.- С. 111-112
- 56.Скляров Р. А., Гагалюк А. В. Використання методу нейронних мереж для прогнозування металорізальних верстатів. Матеріали XXI наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 16-17 травня 2019 року. – Т. : ТНТУ, 2019. – 212 с. (Машинознавство та машинобудування). - С. 34
- 57.Скляров Р. А., Гуцалюк І. В. Вимоги до технологічного оснащення яке використовується для затиску призматичних заготовок. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ТНТУ, 2019. – Т. 2. – 143 с. - С. 26
- 58.Скляров Р. А., Приходай Д. А. Шляхи підвищення точності обробки на металорізальних верстатах. Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, 2021.- С. 55-56
- 59.Скляров Р. А., Четвержук Т. І., Полінкевич Р. М., Редько Р. Г., Залета О. М. Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів. Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки», Випуск 71, Луцьк, 2021, № 71. – 363 с. – С. 322-329.
- 60.Скляров Р. А., Шанайда В. В., Савчук М. А. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій / Р. Скляров, В. Шанайда, М. Савчук // Вісник ТНТУ. – 2011. – Том 16. – № 1. – С.117-125.
- 61.Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях: Методичний посібник . Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

63. ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Зі змінами. Чинний з 07.03.2019. 61 с.

64. ДСТУ EN 482:2022 Повітря робочої зони. Загальні вимоги до характеристик методик вимірювання вмісту хімічних речовин (EN 482:2021, IDT). Чинний з 31.12.2023. 23 с. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id\\_doc=112734](https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=112734)

					<i>КРБ 22-075.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						71
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

# ДОДАТКИ