

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(назва факультету)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему Конструювання змінних модулів багатоцільового верстата з
розробленням технологічного процесу виготовлення деталі
”Корпус редуктора ЗМ-60А”

Виконав: студент 4 курсу, групи МВ-41

напряму підготовки (спеціальності) 133 –

Галузеве машинобудування

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Студент Мельник А.Г.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Шанайда В.В.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Кобельник В.Р.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Крупа В.В.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

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

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

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

1. Тема роботи Конструювання змінних модулів багатоцільового верстата з розробленням технологічного процесу виготовлення деталі "Корпус редуктора ЗМ-60А"

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

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

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

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

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

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

Зовнішній вигляд верстата – 1 арк. ф. А1; Кінематична схема верстата – 1 арк. ф. А1;
Конструкція коробки швидкостей верстата – 1 арк. ф. А1;
Конструкція модуля для виконання шліфувальних операцій – 2 арк. ф. А1;
Карта наладки на комплексну операцію – 1 арк. ф. А1.

АНОТАЦІЯ

Конструювання змінних модулів багатоцільового верстата з розробленням технологічного процесу виготовлення деталі "Корпус редуктора ЗМ-60А": кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 133 – галузеве машинобудування/ кер. В.В. Шанайда. Тернопіль: факультет інженерії машин, споруд та технологій; кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин, група МВ-41: ТНТУ, 2026.

Об'єктом вивчення у кваліфікаційній роботі є технологічний процес механічної обробки деталі "Корпус редуктора ЗМ-60А", а також багатоцільовий верстат з високим ступенем універсальності.

Мета роботи: провести аналіз конструктивних і функціональних особливостей багатоцільових верстатів, виконати конструювання коробки швидкостей та окремого шліфувального модуля, металообробного інструмента та контрольно-вимірювального пристрою на базі аналізу технологічного процесу механічної обробки деталі "Ступиця шасі-84707С", функціональних карт налагодок на технологічні операції.

Design of interchangeable modules of a multi-purpose machine tool with development of the manufacturing process for the part "Gearbox housing ZM-60A": qualification work for obtaining a bachelor's degree: spec. 133 - branch mechanical engineering / supervizer V.V. Shanaida. Ternopil: Faculty of Mechanical Engineering, Structures and Technologies; Department of Machine Tool, Tool and Machine Design, group MV-41: TNTU, 2026.

The object of study in the qualification work is the technological process of machining the part "Reducer Housing ZM-60A", as well as a multi-purpose machine with a high degree of versatility.

Purpose of the work: to analyze the structural and functional features of multi-purpose machine tools, to design a gearbox and a separate grinding module, a metalworking tool and a control and measuring device based on the analysis of the technological process of machining the part "Chassis Hub-84707S", functional adjustment charts for technological operations.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	АНОТАЦІЯ		
<i>Розробив</i>	<i>Мельник А.Г.</i>						
<i>Перевірив</i>	<i>Шанайда В.В.</i>						
<i>Рецензент</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник В.Р.</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа В.В.</i>				<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
					4	1	
					<i>ТНТУ, ФМТ каф. ВІ, гр. МВ-41</i>		

З М І С Т

стор.

	Вступ	7
1.	АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1	Аналіз завдання	11
1.2	Аналіз верстатів прототипів	11
1.2.1	Конструктивні особливості верстатів прототипів	10
1.2.2	Характеристика вузлів	12
1.2.2.1	Привід головного руху	12
1.2.2.2	Привід переміщень	12
1.2.2.3	Шпиндельні вузли	13
1.2.3	Кінематична структура верстатів	13
1.2.4	Система керування верстатів	14
1.2.5	Порівняльні технічні характеристики	15
1.3	Інструментальне забезпечення багатоцільових верстатів	16
1.3.1	Основні характеристики	16
1.4	Захист прав інтелектуальної власності у верстатобудуванні та інструментальному виробництві	17
2.	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	19
2.1	Призначення, хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталі	19
2.1.1	Аналіз хімічного складу сірого чавуну СЧ20	19
2.1.2	Аналіз механічних властивостей сірого чавуну СЧ20	20
2.2	Аналіз технологічності деталі	22
2.3	Обґрунтування способу отримання заготовки	23

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	<i>Мельник</i>				Зміст	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>	<i>Шанайда</i>						5	2
<i>Рецензент</i>						<i>ТНТУ, ФМТ каф. ВІ, гр. МВ-41</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа</i>							

2.3.1	Вибір загальних припусків. Визначення розмірів виливки з допусками	24
2.4	Розробка технологічного маршруту обробки деталі "Корпус..."	25
2.5	Розрахунок припусків на обробку отвору $\varnothing 72H7^{(+0,03)}$	28
2.6	Приклад розрахунку режимів різання та норм часу на виконання фрезерної операції	32
3	КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	34
3.1	Аналіз схем формоутворення поверхонь деталей оброблюваних на проєктованому верстаті	34
3.2	Розробка та обґрунтування структурно-кінематичної схеми верстату	37
3.3	Побудова структурних сіток і графіків чисел обертів	40
3.3.1	Розрахунок режимів різання при виконанні токарних операцій	41
3.3.2	Технологічні можливості проєктованого верстата	41
3.3.3	Розрахунок граничних режимів різання	42
3.4	Розробка структурних формул приводів та їх графічний розрахунок	46
3.4.1	Привід обертання головного шпинделя верстата	46
3.4.2	Приводи координатних переміщень стола супорта та шпиндельної бабки	50
4	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	55
4.1	Ергономічні проблеми безпеки життєдіяльності	55
4.2	Розробка та опис конструкції блокуючих пристроїв верстату, механізму, установки	60
	Висновки	64
	Перелік посилань	65
	Додатки	70

Вступ

Верстатобудування є фундаментальною складовою машинобудівної галузі, адже саме виробничий парк металообробного обладнання визначає технічний, економічний та інноваційний потенціал промисловості. За статистичними оцінками, верстати, машини та устаткування, що виготовляються у верстатобудівній сфері, становлять близько 60% виробничих фондів машинобудування загалом.

Розвиток верстатобудівної галузі має здійснюватися випереджальними темпами, оскільки відставання призводить до негативних наслідків: зниження продуктивності праці, погіршення якості продукції, дефіциту кваліфікованих кадрів, уповільнення оновлення номенклатури виробів та зростання їхньої ринкової вартості.

Ефективність використання металообробного обладнання залежить від програми випуску деталей та їхньої номенклатури. У масовому виробництві застосовують високопродуктивні спеціальні та спеціалізовані верстати, які не потребують частого переналагодження. Водночас серійне виробництво, що охоплює до 75% продукції машинобудування, потребує обладнання, яке поєднує продуктивність із універсальністю та гнучкістю. Саме ці характеристики забезпечують інтенсивне оновлення номенклатури виробів, що досягається завдяки широкому використанню верстатів із числовим програмним керуванням та багатоцільових обробних центрів.

Одним із ключових принципів підвищення продуктивності є застосування технології групової обробки. Її інтеграція з гнучкими можливостями сучасних верстатів дозволяє одночасно забезпечувати високу продуктивність і швидке оновлення продукції. Для нових моделей обладнання підвищення продуктивності має становити 1,5–2 рази порівняно з попередніми поколіннями.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Вступ	<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Мельник А.Г.</i>						7	3
<i>Перевірив</i>	<i>Шанайда В.В.</i>							
<i>Рецензент</i>								
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник В.Р.</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа В.В.</i>					<i>ТНТУ, ФМТ каф. ВІ, гр. МВ-41</i>		

Висока ефективність металорізальних верстатів і комплексів досягається лише за умови їх інтенсивної експлуатації та раціонального використання робочого часу. Основним завданням при створенні сучасних верстатів є скорочення штучного часу операцій, що особливо актуально для спеціальних і спеціалізованих машин.

Важливим рішенням, яке забезпечує економію часу, є концентрація операцій в межах одного верстата. Ідеальним прикладом такого підходу є багатоцільові верстати, які дозволяють здійснювати обробку деталей з кількох боків за один установ. Це значно скорочує кількість переналагоджень і підвищує точність виготовлення.

Ще однією визначальною властивістю сучасних металорізальних верстатів є їхня переналагоджуваність, яка забезпечує можливість виготовлення різних деталей на одному й тому ж обладнанні. Поєднання нових технічних рішень із досягненнями у сфері систем керування сприяє переходу від окремих гнучких виробничих систем до комплексного автоматизованого та комп'ютеризованого виробництва, що відповідає концепції «Індустрія 4.0».

Інструментальне забезпечення багатоцільових верстатів є ключовим чинником їхньої ефективності та універсальності. Саме від правильної організації інструментальної системи залежить можливість виконання широкого спектра операцій — від чорнової обробки до високоточної чистової.

Багатоцільові верстати оснащуються інструментальними магазинами різних типів (дисковими, барабанными, ланцюговими), що забезпечують автоматичну зміну інструментів у процесі роботи. Це дозволяє концентрувати операції в межах одного установу та значно скорочувати допоміжний час. Універсальність таких систем полягає у можливості використання широкої номенклатури ріжучого інструменту: торцевих і кінцевих фрез, свердел, зенкерів, розверток, розточувальних головок, різьбонарізних інструментів.

Важливим аспектом є застосування твердосплавних та надтвердих матеріалів для виготовлення ріжучих елементів, що забезпечує високу стійкість інструменту та стабільність процесу обробки. Використання сучасних покриттів

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

(TiN, TiAlN, DLC) дозволяє зменшити коефіцієнт тертя, підвищити теплову стійкість і продовжити ресурс інструменту.

Інструментальне забезпечення багатоцільових верстатів також включає системи кріплення та балансування, які гарантують точність позиціонування та мінімізують вібрації під час роботи. У поєднанні з числовим програмним керуванням це створює умови для реалізації складних траєкторій різання та досягнення високої точності геометричних параметрів.

Таким чином, інструментальне забезпечення багатоцільових верстатів виконує стратегічну функцію: воно забезпечує гнучкість виробництва, скорочення часу переналагодження, підвищення продуктивності та якісних показників обробки. Саме завдяки комплексному інструментальному оснащенню багатоцільові верстати стають основою сучасних гнучких виробничих систем.

У контексті реалізації концепції «Індустрія 4.0» багатоцільові верстати виступають ключовим елементом цифрового виробництва. Їхня здатність інтегрувати різні технологічні операції в межах одного установу забезпечує концентрацію процесів, скорочення допоміжного часу та підвищення точності. Завдяки автоматизованим системам зміни інструментів, числовому програмному керуванню та можливості інтеграції з роботизованими маніпуляторами вони стають основою гнучких виробничих комплексів, які відповідають вимогам сучасної цифрової економіки.

Використання багатоцільових верстатів у цифровому виробництві сприяє формуванню інтегрованих виробничих систем, здатних до самостійної оптимізації та адаптації до змін у виробничих програмах. Це забезпечує не лише підвищення продуктивності та економічності, але й створює умови для швидкого оновлення номенклатури продукції, збереження високої якості та конкурентоспроможності підприємств. Таким чином, багатоцільові верстати стають стратегічним інструментом у переході від традиційних виробничих моделей до комплексного автоматизованого та комп'ютеризованого виробництва, що є сутністю «Індустрії 4.0».

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз завдання

Завданням кваліфікаційної роботи визначено розробки конструкції [1-3] багатоцільового верстату з регульованою висотою центрів і розширеним об'ємом технологічних операцій, зокрема забезпечення фрезерних і шліфувальних операцій.

Вихідними даними на проектування виступили:

- а) робочий кресленик [4] деталі представника ;
- б) технічні вимоги на виготовлення.

Кожна із вхідних даних має свій вплив на кінематичні, компоновочні [5] та конструктивні властивості розроблюваної конструкції верстату.

Робочий кресленик [4] деталі–представника містить інформацію про габаритні розміри деталі, від яких залежить робочий простір верстату, дає представлення про характер оброблюваних поверхонь, їх координатне розміщення та можливість обробки [6-8], формує вплив на вибір ріжучого інструменту і прийняття методу формоутворення.

Технічні вимоги на механічну обробку поверхонь деталі впливають на конструктивне виконання основних функціональних виконавчих механізмів, вибір і назначення їх якісних показників [9].

В процесі проектування належить розробити конструкцію верстату токарної групи з розширеними технологічними можливостями [10-12], які полягають в регулюванні висоти центрів, що дозволяє збільшити діаметри оброблюваних параметрів деталі, і оснащення верстата спеціальними додатковими розробками фрезерним та шліфувальним силовими блоками по забезпечую відповідних технологічних операцій.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Мельник А.Г.</i>				<i>АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</i>	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Шанайда В.В.</i>							
<i>Рецензент</i>								
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник В.Р.</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа В.В.</i>							
						<i>ТНТУ, ФМТ, каф. ВІ, гр. МВ-41</i>		

Проектований верстат повинен отримати обґрунтування технологічним, кінематичним та силовим розрахунками. Технологічні розрахунки [13] дозволяють визначити діапазон регулювання якісних характеристик виконавчих механізмів [14, 15], а на основі них провести кінематичні розрахунки приводів, розробки їх кінематичної схеми [16, 17]. Силові розрахунки механізмів обґрунтовують працездатність та відповідну їх надійність.

Доцільність конструктивної розробки верстата повинна бути підтвердженою відповідними економічними розрахунками.

1.2 Аналіз верстатів прототипів

1.2.1 Конструктивні особливості верстатів прототипів

Для проектування даного широко універсального верстату за базові взяті такі моделі верстатів:

— багатоцільовий прецизійний верстат MULTI 78 фірми WANLI (Швейцарія);

— комбінований верстат мод. 1A 95;

— верстати універсальні токарно-гвинторізні моделей UT-1M; UT-1GM.

MULTI 78 є верстатом з трьома рухомими органами по 3-х осях координат: супорт, який переміщується по станині паралельно до осі шпинделя (координата z); салаки, які здійснюють переміщення по супорту в перпендикулярному напрямку (координата x); шпиндельна бабка, що переміщується по вертикальній площині (координата y). Переміщення по всіх трьох осях можуть бути ручні за допомогою маховиків, встановлених на ходових гвинтах.

Технологічні можливості верстата 1A95 дозволяють виконувати токарні, фрезерні, свердлильні, розточувальні, шліфувальні, довбальні і заточні роботи.

Корпус передньої бабки переміщається по вертикальних направляючих стойки, яка кріпиться до станини. У верхній частині передньої бабки кріпиться свердлильно-фрезерни агрегат. До переднього торця при необхідності кріпиться

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ділильний пристрій. Пристрій для зовнішнього і внутрішнього шліфування кріплять на столі супорта, заточний пристрій – на торці станини. Привід токарно-фрезерного, свердлильно-фрезерного агрегата і шліфувального і заточного пристосувань здійснюється від окремих електроприводів.

Верстати модельного ряду УТ-1М, УТ-1ГМ призначені для забезпечення виконання токарних операцій і виконання гвинторізних робіт. При використанні спеціальних технологічних пристосовань можна виконувати фрезерування площин, пазів, розточування отворів у малогабаритних корпусних деталях, проводити операції зовнішнього і внутрішнього шліфування.

1.2.2 Характеристика вузлів

1.2.2.1 Привід головного руху

MULTI 78 – від асинхронного електродвигуна, закріпленого на вертикальній колоні, через зубчато-пасову передачу на варіатор і редуктор. Привід головного руху забезпечує безступеневе регулювання частоти обертання шпинделя: без редуктора в діапазоні 300...3000 об/хв.; з редуктором в діапазоні 500...50 об/хв.

1А95. Привід головного руху здійснюється від запального двигуна електродвигуна потужністю 3кВт. Після клинопасової передачі від двигуна обертання передається двосторонній реверсивний фрикційній муфті. Особливість полягає в тому, що реверсування зв'язано із збільшенням частоти обертання шпинделя. В силу цього одночасний реверс електродвигуна і муфти дає додаткові в ступенів прискорених в 1,4 рази частот обертання шпинделя.

1.2.2.2 Привід переміщень

MULTI 78. Механічні переміщення здійснюється за рахунок різьбової подачі, при підключенні ходового гвинта через коробку подач і гітару змінних шестерень до шпинделя в токарно-гвинторізному варіанті. В цьому випадку шпиндельна бабка встановлюється і вивіряється співвісність із задньою бабкою

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

і жорстко закріплюється на станині, а шпиндель з'єднується змінними колесами з коробкою подач.

1А95. Привід подач токарно-фрезерного агрегата здійснюється від загального електродвигуна потужністю 3 кВт.

Коробка подач зв'язана із шпинделем через трензель і гітару змінних шестерень. Трензель, поряд з реверсом ланцюга подач, забезпечує відключення цього ланцюга від шпинделя, а гітара—з'єднання коробки подач із шпинделем на всій довжині переміщення шпиндельної бабки. При цьому дійснюється поворот гітари навколо сосі однієї із шестерень і обкатка останньої шестерні навколо вихідного колеса коробки подач.

УТ-1М, УТ-1ГМ. Ходовий гвинт і ходовий вал верстата отримують обертання від коробки подач, яка зв'язана рядом передач, в тому числі змінних коліс, із шпинделем.

1.2.2.3 Шпиндельні вузли

Для MULTI 78, як і для інших верстатів-аналогів, характерним є горизонтальне розміщення шпинделя. У моделі MULTI-78 шпиндель виконаний з внутрішнім конусом Морзе №. У моделей УТ-1М,

УТ-1ГМ—конус шпинделя Морзе №5.

1.2.3 Кінематична структура верстатів

Для усіх моделей верстатів-аналогів структурно-кінематична схема мала вигляд, поданий на рис.1.1.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

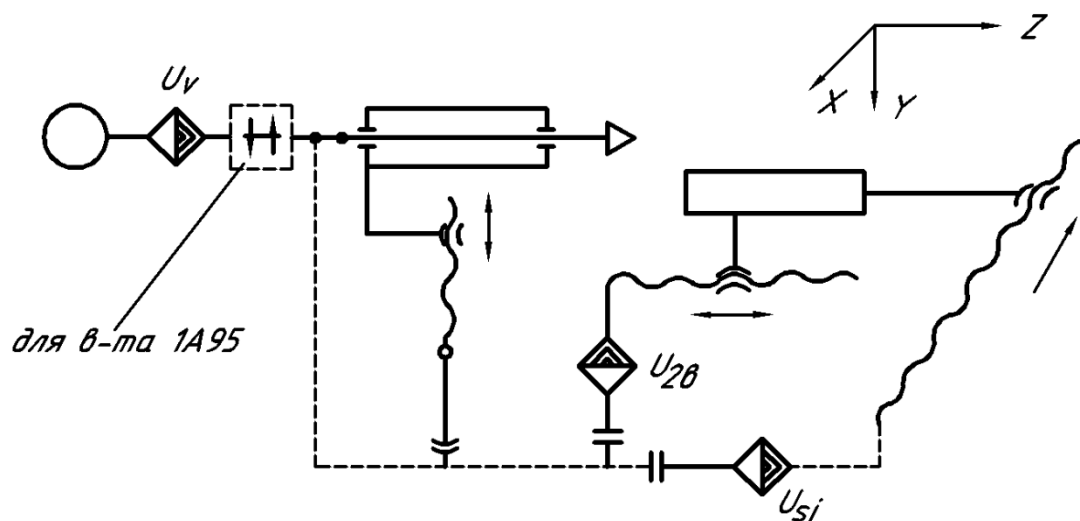


Рисунок 1.1 - Структурно-кінематична схема верстатів-анлогів

Спільною ознакою для цих верстатів є наявність одного загального двигуна, від якого здійснюється як головний рух, так і рух подач. Відрізняються ці моделі конструкцією органу наладки на швидкість.

Якщо у верстата MULTI-78 він являє собою варіатор і редуктор, які через зубчасто-пасову передачу з'єднані з асинхронним двигуном, що дозволяє здійснювати безступінчасте регулювання, то у моделі 1A95—це двостороння фрикційна муфта, яка дозволяє здійснити реверс, і 6-ти швидкісна коробка швидкостей. Реверс дозволяє додати ще 6 прискорених чисел обертів шпинделя. Це відбувається в наслідок одночасного реверсу двигуна і муфти. У моделях UT-1M та UT-1GM привід головного руху являє собою звичайну коробку швидкостей.

1.2.4 Система керування верстатів

Всі представлені верстати забезпечені рукояточним механічним, а не кнопочним електричним керуванням оперативними органами виконання ряду рухів.

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

1.2.5 Порівняльні технічні характеристики

Зведені технічні характеристики верстатів наведені і табл. 1.1.

Таблиця 1.1 Зведені технічні характеристики технологічного обладнання

Технічні характеристики	MULTI 78	1A95	UT-1M UT-1ГМ
1	2	3	4
1. Найбільший діаметр виробу, мм, який виготовляють: – над станиною – над супортом	125×2 —	420...670 —	400 225
2. Найбільша довжина оброблюваної заготовки, мм	550	1000	1000;1400
3. Конус шпинделя	Морзе 2	—	Морзе 5
4. Кількість ступеней частот обертання	—	—	12
5. Діапазон частот обертання для шпинделя, об/хв.	50...500 і 300...3000 —	23...1000 —	28...1250 50
6. Кількість поздовжніх і поперечних подач			
7. Межі подач: – поздовжніх, мм/об – поперечних, мм/об	0,05÷1,25 0,05÷1,25	0,07÷0,65 0,13÷0,17	0,05÷6,0 0,025÷3,0
8. Переміщення супорта: – поздовжнє, мм – поперечне, мм	— 180	— —	900(1500) 235
9. Потужність приводу головного руху, кВт	0,5/0,9	3,0	3,0
10. Маса верстата без пристосувань, кг	440	2050	1140(1330) 1190(1370)

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ

Арк

1	2	3	4
11. Габаритні розміри, мм	1590×785× ×1575	2800×1280× ×1650... 1775	2165(2585) ×960× 1500
12. Вертик. переміщення шпindelної бабки, мм	160	—	—
13. Метрична різь, мм	0,2...5	0,5...18	—
14. Дюймова різь, ниток на дюйм	80...6	28...3	—
15. Розміри фрезерного стола, мм:			
– ширина	—	300	—
– довжина	—	700	—

1.3 Інструментальне забезпечення багатоцільових верстатів

1.3.1 Основні характеристики

Багатоцільові верстати (обробні центри з ЧПК) оснащують інструментальними магазинами та системами автоматичної зміни інструменту. Це дозволяє виконувати широкий спектр операцій: фрезерування [8], свердління [18-20], зенкерування, розточування, різьотворення [21] тощо. Інструментальна система забезпечує чорнову, напівчистову та чистову обробку заготовок з різними поверхнями.

Склад інструментального забезпечення

- Ріжучий інструмент: торцеві та кінцеві фрези, свердла, зенкери, розвертки, розточувальні головки, різьбонарізні інструменти.
- Допоміжний інструмент: патрони, оправки, перехідники, пристрої для балансування.
- Спеціалізований інструмент: регульовані розточувальні системи для високоточних отворів.
- Автоматизовані системи: магазини інструментів (дискові, ланцюгові, барабанні), маніпулятори для швидкої заміни інструментів [22].

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Вимоги до інструментального забезпечення

- Уніфікація ріжучого та допоміжного інструменту для зменшення номенклатури.
- Автоматизація заміни інструментів для скорочення допоміжного часу [22].
- Висока стійкість інструментів (особливо з твердих сплавів, зокрема вольфрамових).
- Сумісність із системами ЧПК та гнучкими виробничими комплексами.

Переваги сучасних систем

- Підвищення продуктивності за рахунок швидкої зміни інструментів [22].
- Зменшення часу переналагодження.
- Можливість комплексної обробки складних деталей без додаткових установок.
- Забезпечення стабільної якості та точності обробки.

Інструментальне забезпечення багатоцільових верстатів є ключовим елементом їхньої ефективності. Сучасні системи включають автоматизовані магазини, широкий спектр ріжучого та допоміжного інструменту, а також технології швидкої заміни. Це дозволяє значно скоротити виробничі витрати, підвищити точність і забезпечити гнучкість у виготовленні деталей різної складності.

1.4 Захист прав інтелектуальної власності у верстатобудуванні та інструментальному виробництві

1. Захист інновацій

У верстатобудуванні та виробництві інструментів постійно впроваджуються нові конструктивні рішення, системи автоматизації та матеріали. Патенти та авторські права дозволяють захистити ці розробки від копіювання, забезпечуючи конкурентні переваги підприємствам [23-25].

2. Стимулювання розвитку

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- Наявність прав інтелектуальної власності мотивує компанії інвестувати у дослідження та розробки [26].
- Це сприяє появі нових технологій: високоточних багатоцільових верстатів, інструментів з надтвердих матеріалів, систем автоматичної зміни інструментів.

3. Комерційна цінність

- Ліцензування патентів та ноу-хау створює додаткові джерела доходу.
- Права інтелектуальної власності стають активами підприємства, що підвищує його ринкову вартість.

4. Стандартизація та міжнародна співпраця

- У глобальному виробництві верстатів та інструментів важливим є дотримання міжнародних стандартів (ISO, EN).
- Права інтелектуальної власності забезпечують правову основу для трансферу технологій та спільних проєктів між компаніями різних країн [27].

5. Практичний вплив

У верстатобудуванні права ІВ охоплюють конструкції шпindelних вузлів, системи ЧПК, інструментальні магазини. В інструментальному виробництві – геометрію ріжучих елементів, нові сплави, покриття, методи підвищення стійкості інструментів.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Призначення, хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталі

Корпусні деталі є базовими елементами конструкції, які забезпечують точне взаємне розташування вузлів та механізмів під час їхньої експлуатації під навантаженням. Відповідно до службового призначення, матеріал корпусу повинен мати високу жорсткість, вібростійкість та стабільність геометричних параметрів.

Для виготовлення деталі «Корпус редуктора ЗМ-60А» обрано сірий чавун марки СЧ 20, котрий відповідає вимогам ДСТУ EN 1561:2015, а також ДСТУ 8833:2019 «Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови». Сірий чавун є основним конструкційним матеріалом для масивних корпусних деталей завдяки наступним перевагам:

- Високі ливарні властивості: дозволяють отримувати заготовки складної конфігурації з мінімальними припусками.
- Демпфувальна здатність: висока циклічна в'язкість матеріалу сприяє ефективному гасінню вібрацій та резонансних коливань.
- Технологічність: наявність графітових включень покращує оброблюваність різанням та забезпечує добрі антифрикційні властивості.

2.1.1 Аналіз хімічного складу сірого чавуну СЧ20

Сірий чавун СЧ20 належить до залізобуглецевих сплавів із вмістом вуглецю понад 2,14 %. Його особливістю є наявність вуглецю у вигляді пластинчастого графіту, що визначає фізико-механічні та експлуатаційні властивості.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Мельник А.Г.</i>			<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>			
<i>Перевір.</i>		<i>Шанайда В.В.</i>						
<i>Рецензент</i>								
<i>Н. контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Крупа В.В.</i>						
						<i>ТНТУ, ФМТ, каф. ВІ, гр. МВ-41</i>		

Типовий склад (масова частка, %):

- Вуглець (C): 3,3–3,5 — забезпечує утворення графітових включень, що покращують антифрикційні властивості та знижують чутливість до концентраторів напружень.
- Кремній (Si): 1,4–2,2 — сприяє процесу графітизації, підвищує рідкоплинність розплаву.
- Марганець (Mn): 0,7–1,0 — зменшує графітизацію, підвищує міцність, але надлишок може погіршити оброблюваність.
- Сірка (S): $\leq 0,15$ — небажана домішка, яка знижує міцність і рідкоплинність, спричиняє «відбілювання» чавуну.
- Фосфор (P): $\leq 0,20$ — підвищує рідкоплинність, але водночас збільшує крихкість.

Таким чином, оптимальне співвідношення елементів забезпечує баланс між технологічністю лиття та експлуатаційними властивостями.

2.1.2 Аналіз механічних властивостей сірого чавуну СЧ20

Механічні характеристики СЧ20 визначаються кількістю, формою та розмірами графітових включень. Чим дрібніші та рівномірніше розподілені пластини графіту, тим вищі міцнісні показники.

Основні властивості:

- Твердість (НВ): ~ 170 — достатня для корпусних деталей, що працюють без значних ударних навантажень.
- Границя міцності при розтягуванні ($\sigma_{p/c}$): ~ 396 МПа — відповідає маркуванню «20» (мінімальний опір розтягуванню 200 МПа).
- Границя пропорційності (σ_p): ~ 196 МПа — визначає межу пружних деформацій.
- В'язкість циклічна — висока, що забезпечує ефективне демпфірування коливань.
- Зносостійкість — добра завдяки графітовим включенням, які діють як тверді мастильні компоненти.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- Пластичність — низька (подовження $\leq 0,5\%$), що обмежує застосування в деталях, які працюють на розтяг.

Таблиця 2.1. Механічні властивості СЧ20 за ДСТУ 8833:2019

НВ	σ_p		$\sigma_{p/c}$	
МПа	МПа	кгс/мм ²	МПа	кгс/мм ²
170	196	19,6	396	39,6

Проведемо порівняльну характеристику механічних властивостей СЧ20 за ДСТУ 8833:2019 стосовно білого чавуну та конструкційних сталей (табл. 2.2.)

Таблиця 2.2. Порівняльна характеристика

Властивість	СЧ20	Білий чавун	Сталь конструкційна
Оброблюваність	висока	дуже низька	середня
Вібро-стійкість	висока	низька	середня
Міцність при розтягу	396 МПа	>600 МПа	400 - 600 МПа
Пластичність	низька	дуже низька	висока
Зносостійкість	висока	середня	середня

Як бачимо, сірий чавун марки СЧ20 є оптимальним матеріалом для корпусних деталей машинобудування завдяки:

- високій технологічності лиття;
- добрій оброблюваності;
- здатності гасити вібрації;
- достатній міцності та зносостійкості.

Відомо, що ікроструктура визначає функціональне призначення чавуну:

- СЧ20 — оптимальний для корпусних деталей, де важлива точність, демпфування та оброблюваність.
- Білий чавун — для зносостійких елементів, але з обмеженнями в обробці.
- Високоміцний чавун — для навантажених деталей з високими вимогами до міцності та ударостійкості.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2.2 Аналіз технологічності деталі

Забезпечення технологічності конструкції деталі є ключовим завданням сучасного машинобудування [13]. Його мета полягає у підвищенні продуктивності праці та якості готового виробу за умов мінімізації витрат часу й ресурсів на розробку, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, експлуатацію та ремонт об'єкта проєктування.

Розглянутий корпус редуктора належить до суцільних коробчастих деталей. Конструкція передбачає наявність високоточних поверхонь, зокрема трьох отворів діаметром $\varnothing 72H7$, призначених для встановлення підшипників. При цьому встановлені вимоги до геометричної точності: відхилення співвісності отворів В відносно Б не повинно перевищувати 0,3 мм, а непересічення осей отворів Б, В, Г має бути в межах 0,3 мм.

З огляду на використовуваний матеріал, сірий чавун марки СЧ20, найбільш раціональним способом отримання заготовки є лиття. Доцільними методами виступають лиття у піщано-глиняні форми та лиття у металеві форми. Конструкція виливки є відносно простою, що забезпечує легке її вилучення з форми та сприяє економічності процесу.

З позицій механічної обробки корпусних деталей варто підкреслити низку важливих характеристик. Чавуни, зокрема марка СЧ20, відзначаються високою технологічністю: вони добре піддаються різанню навіть за умов підвищених швидкостей. При цьому сили різання залишаються відносно невеликими, що позитивно впливає на стабільність процесу.

Зношування інструментів під час обробки є незначним, а утворена стружка має сприятливу форму для легкого видалення з робочої зони. Найбільша стійкість інструментів досягається при використанні ріжучих матеріалів на основі вольфрамових сплавів.

Конструкція корпусу забезпечує доступність усіх поверхонь для обробки на стандартних верстатах, а також можливість безпосереднього контролю розмірів. Виріб характеризується узгодженістю геометричних параметрів та

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

шорсткості поверхонь, що дозволяє застосовувати типові ріжучі та вимірювальні інструменти без необхідності спеціалізованої оснастки.

У цілому, за сукупністю якісних показників, деталь можна вважати технологічною, тобто такою, що відповідає вимогам сучасного виробництва та забезпечує економічність процесу виготовлення.

2.3 Обґрунтування способу отримання заготовки

Для обґрунтованого вибору методу виготовлення заготовки корпусу редуктора необхідно здійснити порівняльний аналіз можливих технологій лиття. Оскільки деталь виготовляють з сірого чавуну марки СЧ20, то найбільш раціональним способом отримання заготовки виступає саме лиття.

Серед поширених методів можна виділити:

- лиття у піщано-глиняні форми при ручному формуванні по дерев'яних моделях;
- лиття у піщано-глиняні форми при машинному формуванні по металевих моделях;
- лиття в оболонкові форми;
- лиття за виплавлюваними моделями;
- лиття у металеві форми.

Останні три методи забезпечують вищу якість відливок порівняно з традиційним литтям у піщано-глиняні форми, проте вони потребують значних витрат на виготовлення спеціальної оснастки та організацію виробничої дільниці, що ускладнює процес. Тому для корпусу редуктора доцільно застосовувати перші два варіанти.

Зокрема, лиття у піщано-глиняні форми при ручному формуванні по дерев'яних моделях використовують у заводських умовах для виготовлення заготовок невеликими партіями. Водночас лиття з машинним формуванням по металевих моделях забезпечує підвищену точність розмірів відливки, що дозволяє зменшити величину припусків на механічну обробку та витрати

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2.4 Розробка технологічного маршруту обробки деталі "Корпус..."

Технологічний процес обробки деталі подано в таблиці 4.

Таблиця 2.4. Зведений технологічний процес

Номер операції	Найменування та зміст операції	Обладнання	Інструмент
005	Лиття		
010	Вертикально-фрезерна. Встановити на столі верстата. Виміряти. Закріпити. Фрезерувати поверхню в розмір $80^{+1.5}$.	Вертикально-фрезерний верстат мод. 6-М13	Торцева фреза ВК8
015	Свердлильна. Встановити на столі верстата. Виміряти. Закріпити. Свердлити 4 отв. $\varnothing 11$ на прохід витримуючи розміри: $106^{+1.0}$; $98^{\pm 1.5}$; $105^{\pm 1.5}$; $160^{+1.0}$; $203^{\pm 0.1}$. Свердлити 2 отв. $\varnothing 10,5^{+0,36}$ Зенкерувати 2 отв. $\varnothing 10,5^{+0,36}$	Радіально-свердлильний верстат мод. 2Л-53У	Свердло $\varnothing 11$; $\varnothing 10,5$ Зенкер
020	Розточна. Встановити. Закріпити Зенкерувати отв $\varnothing 40$. Повернути пристосування на 180° . Повторити перехід. Змінити інструмент Підрізати торець $\varnothing 88$, витримавши розмір 31мм.	Горизонтально-розточний верстат мод. 2615	Зенкер $\varnothing 40$, $\varnothing 71,8$ Торцева фреза $\varnothing 100$ Токарно розточний різець з кутом в плані $\varphi=90^{\circ}$

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Повернути пристосування на 180⁰. Повторити перехід.

Повернути пристосування на 90⁰. Підрізати торець Ø88, витримавши розмір 24^{±0,3}.

Змінити оправку. Розточити отвір Ø70 в розмір 24^{±0,3}.

Повернути пристрій на 90⁰.

Повторити перехід.

Повернути пристрій на 180⁰.

Повторити перехід

Зенкерувати отвір Ø71.8 в розмір 24^{±0,3}, витримавши R1.5.

Повернути пристрій на 180⁰.

Повторити перехід.

Повернути пристрій на 90⁰.

Повторити перехід.

Розвернути отвір Ø71.9 в розмір 24^{±0,3}, витримавши R1.5.

Повернути пристрій на 90⁰.

Повторити перехід.

Провернути пристрій на 180⁰.

Повторити перехід.

Розвернути отвір Ø72 витримавши розмір 24^{±0,3} та R1.5.

Повернути пристрій на 180⁰ повторити перехід.

Розвертка
Ø71,9; Ø72
Прохідний
різець

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ

Арк

2.5 Розрахунок припусків на обробку отвору $\text{Ø}72\text{H}7^{(+0,03)}$

Припуск у механічній обробці визначається як шар матеріалу, що видаляється з поверхні заготовки з метою досягнення необхідних геометричних параметрів та експлуатаційних властивостей деталі. Основним розрахунковим показником є мінімальний припуск, який забезпечує усунення похибок попередніх переходів, ліквідацію дефектів поверхневого шару та компенсацію можливих відхилень, що виникають під час виконання поточного технологічного етапу.

У машинобудуванні для визначення величини припусків застосовують два основні методи: дослідно-статистичний табличний та розрахунково-аналітичний. Останній використовується переважно в умовах масового, багатосерійного та серійного виробництва, а також у випадках одиничного виготовлення складних і дорогих деталей важкого машинобудування. Його перевага полягає у врахуванні реальних умов реалізації технологічного процесу, можливості економії металу та зниження трудомісткості обробки як на етапі проектування нових виробів, так і під час аналізу існуючих технологічних схем.

Відповідно до кресленика корпусу редуктора розроблено маршрут обробки отвору $\text{Ø}72\text{H}7$ (допуск 0,03 мм), який включає такі переходи:

- чорнове розточування;
- напівчистове розточування;
- чистове розточування.

Сумарні просторові відхилення для литих заготовок визначаються за спеціальною формулою, що враховує похибки форми, розмірів та взаємного розташування поверхонь:

$$\Delta_{\Sigma o} = \sqrt{\Delta_{\text{кор}}^2 + \Delta_{\text{см}}^2 + \Delta_{\text{рмб}}^2} \text{ — для отвору.}$$

де, Δ_k – спотворення поверхні на довжині 1 мм;

$\Delta_k = 1$ мкм на 1 мм довжини;

l – довжина поверхні, мм; $l = 24$ мм; $l = 100$ мм для площини основи.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$\Delta_{кор} = \Delta_{кL}$; $\Delta_{кор} = 1 \times 18 = 24$ мкм $\Delta_{см}$ – зазор між знаком форми та стержнем, мкм;

$$\Delta_{см} = 150 \text{ мкм};$$

$\Delta_{ртб}$ – похибка розміщення отвору відносно технологічних баз;

$$\Delta_{ртб} = 1,2 \dots 2,5 \text{ мм. Приймаємо } \Delta_{ртб} = 2,0 \text{ мм.}$$

таким чином:

$$\Delta_{\Sigma 0} = \sqrt{24^2 + 150^2 + 2000^2} = 2005,76 \text{ мкм.}$$

Сумарне відхилення геометричних параметрів у наступних переходах:

$$\Delta_{\Sigma i} = K_y \cdot \Delta_{\Sigma 0},$$

де K_y – коефіцієнт уточнення.

При чорновому розточуванні:

$$\Delta r = K_y \cdot \Delta \varepsilon = 0,066 \cdot 2006 = 132,39 \text{ мкм}$$

При напів-чистовому розточуванні:

$$\Delta r = K_y \cdot \Delta \varepsilon = 0,04 \cdot 132,39 = 5,29 \text{ мкм}$$

При чистовому розточуванні:

$$\Delta r = K_y \cdot \Delta \varepsilon = 0,03 \cdot 5,29 = 0,159 \text{ мкм}$$

Для попередньої обробки приймають $K_y = 0,06$;

при остаточній – $0,04$; при тонкій обробці $K_y = 0,03$.

Мінімальне значення операційного припуску визначають за формулою:

$$2Z_i^{\min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2})$$

Для попереднього розточування: $2Z_i^{\min} = 2(200+200+1012) = 2824$ мкм

Для остаточного розточування: $2Z_i^{\min} = 2(40+50+120) = 420$ мкм

Для тонкого розточування: $2Z_i^{\min} = 2(20+40+80) = 280$ мкм

Розрахункові значення подано в таблиці 2.5.

Розрахунок найменших значень розмірих параметрів за технологічними переходами починають з розміру деталі згідно кресленника і робимо у наступній

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

послідовності:

$$72,012-0,024=71,988 \text{ мм}$$

$$71,988-0,3=71,688 \text{ мм}$$

$$71,688-0,5=71,188 \text{ мм}$$

$$71,188-3=68,188 \text{ мм}$$

Результати розрахунку перенесено в таблицю 2.5.

Розрахунок максимальних граничних розмірів оброблюваної поверхні за переходами виконуємо у наступній послідовності:

$$72,012-0,28=71,732 \text{ мм}$$

$$71,732-0,42=71,312 \text{ мм}$$

$$71,312-2,824=68,488 \text{ мм}$$

Результати розрахунку перенесено в таблицю 2.5.

Розрахунок фактичних величин для найменших та найбільших значень припусків виконують в наступній послідовності:

Для найбільших припусків:

$$71,988-71,688=0,3 \text{ мм}$$

$$71,688-71,188=0,5 \text{ мм}$$

$$71,188-68,188=3 \text{ мм}$$

Для найменших припусків:

$$71,012-71,732=0,28 \text{ мм}$$

$$71,732-71,312=0,42 \text{ мм}$$

$$71,312-68,488=2,824 \text{ мм.}$$

Таким чином: найбільший загальний припуск $Z_{0\max} = 0,3+0,5+3=3,8 \text{ мм}$

найменший загальний припуск $Z_{0\min} = 0,28+0,42+2,824=3,524 \text{ мм.}$

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Зм	
Арк	
№ докум	
Підпис	
Дата	
КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ	
Арк	

Таблиця 2.5. Припуски визначені розрахунково-аналітичним методом

Технологічні операції та переходи	Елементи припуску, мм				Розрахунковий припуск 2Zmin, мкм	Розрахунковий max розмір, мм	Допуск ТД, мкм	Прийняті розміри по переходам, мм		Граничні, значення припусків, мкм	
	Rz	h	Δ	ε				Dmax	Dmin	2Zmax	2Zmin
1. Ø72H7 ^(=0,03)											
Відливка	200	200	1012	—	2824	68,488	3000	68,488	68,188	3	2,824
Попереднє розточування	40	50	120	—	420	71,312	500	71,312	71,188	0,5	0,42
Остаточне розточування	20	20	80	0	280	71,732	300	71,732	71,688	0,3	0,28
Тонке розточування	5	10	60	0		72,012	24	72,012	71,988		

2.6 Приклад розрахунку режимів різання та норм часу на виконання фрезерної операції

Фрезерувати торцеву поверхню в розмір $80^{+1,5}$ мм.

Фрезеруємо торцевою фрезою $D_{\phi}=250$ мм, $z=18$

Режими різання:

1. Глибина різання: $t=2$ мм

2. Подача: $S_z=0,24$ мм/зуб

3. Швидкість різання: $V = V_T \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$

K_1 – коефіцієнт, який залежить від розмірів обробки;

K_2 – коефіцієнт, який залежить від поверхні, що обробляється;

K_3 – коефіцієнт, який залежить характеристик матеріалу інструменту;

$K_1 = 1$; $K_2 = 1,1$; $K_3 = 1$;

$V_T = 80$ м/хв.

Отже $V = 80 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 = 88$ м/ мин

4. Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot 88}{3,14 \cdot 250} = 112,1 \text{ об/хв.}$$

5. Хвилинна подача: $S_{\text{хв}} = S_z \cdot z \cdot n = 0,24 \cdot 18 \cdot 112,1 = 484,3$ мм/хв

6. Потужність різання:

$$N_{\text{рез}} = E \frac{V \cdot t \cdot z}{1000} \cdot K_1 \cdot K_2$$

K_1 – коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу;

K_2 – коефіцієнт, який залежить від обраного типу фрези.

$K_1 = 1,25$; $K_2 = 0,75$; $E = 1,3$

$$N_{\text{рез}} = 1,3 \frac{88 \cdot 2 \cdot 18}{1000} \cdot 1,25 \cdot 0,75 = 3,86$$

Норми часу

1. Основний час:

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{S_{xв}}, \text{ хв}$$

$$L = l + l_1 + l_2 = 250 + 14 + 5 = 269 \text{ мм}$$

де l – довжина обробки, мм

l_1 – врізання фрези, мм.

$$T_o = \frac{269}{484,3} = 0,5 \text{ хв}$$

2. Допоміжний час:

$$T_{\partial} = T_{\partial.у} + T_{\partial.оп} + T_{\partial.вим}$$

$$T_{\partial.у} = 1,9 \text{ хв}, T_{\partial.оп} = 0,6 + 2 = 0,8 \text{ хв}, T_{\partial.вим} = 0,16 \text{ хв}.$$

3. Штучний час;

$$T_{ш} = (0,5 + 2,86 \cdot 0,76) \cdot \left(1 + \frac{8 \cdot 0,5}{100}\right) = 2,23 \text{ хв}$$

4. Підготовчо-заключний час,;

$$T_{п.з} = T_{п.з1} + T_{п.з2} + T_{п.з3} = (4 + 2) + (2,5 + 0,15) + (1 + 1,5 + 0,4 + 5) = 16,55 \text{ хв}$$

Отже норма часу $H_{ч}$;

$$H_{ч} = 2,23 + 16,55/1000 = 2,25 \text{ хв}$$

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ

Арк

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз схем формоутворення поверхонь деталей оброблюваних на проєктованому верстаті

Згідно завдання для виконання кваліфікаційної роботи, проєктований верстат повинен забезпечити весь комплекс токарних операцій, а також фрезерні і шліфувальні, які розширюють сфери його використання.

Найбільш типовими операціями, переходами, які виконують на верстатах токарної групи є виготовлення зовнішніх та внутрішніх циліндричних отворів різцями та кінцевими інструментами для обробки отворів, виготовлення різьбових поверхонь.

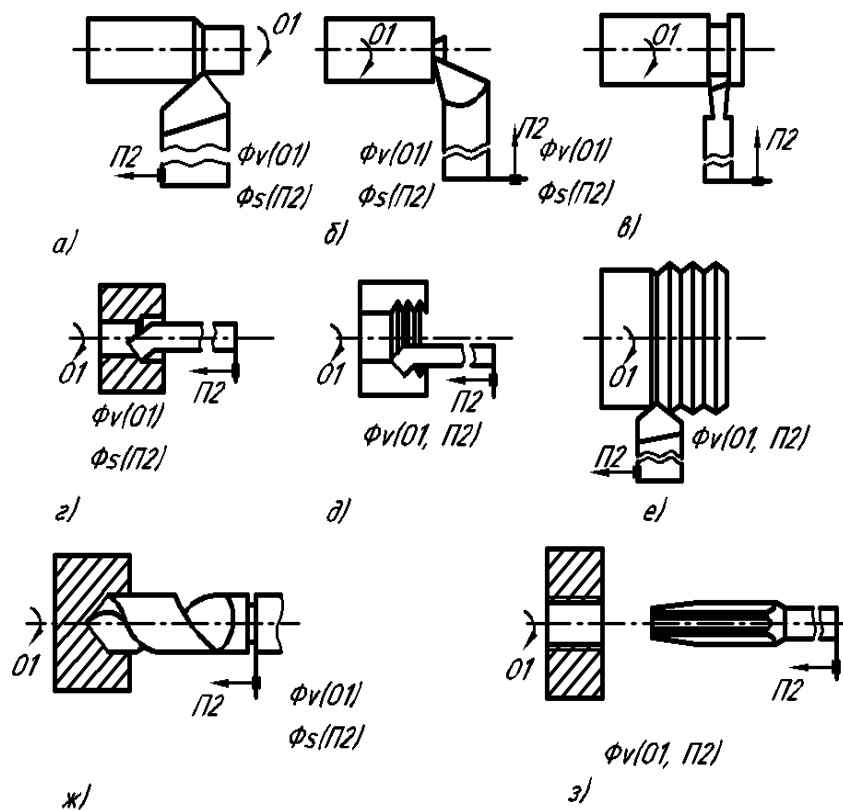


Рисунок 3.1 - Класичні схеми формоутворення поверхонь на верстатах токарної групи

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ			
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата				
Розроб.	Мельник А.Г.				КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	Літ	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Шанайда В.В.							
Рецензент						ТНТУ, ФМТ каф. ВІ, гр. МВ-51		
Н. контр.	Кобельник В.Р.							
Зав. каф.	Крупа В.В.							

Представлені на рис. 3.1 схеми формоутворення є типовими і забезпечують виконання простих рухів – обертового заготовки $\Phi v(O_1)$ та рухів поздовжньої або поперечної подач $\Phi s(\Pi_2)$ – схеми а, в, г. Нарізання гвинтових поверхонь різьей забезпечується складною групою формоутворення гвинтової лінії $\Phi v(O_1\Pi_2)$ – схеми д, е, з.

Аналізу представлених схем показав, що для виконання представлених схем формоутворення [16] на верстаті повинні бути забезпечені щонайменше такі рухи: обертовий рух заготовки (різця інструмента) $\Phi v(O_1)$ та поздовжні або поперечні рухи подач інструмента (заготовки) $\Phi s(\Pi_2)$. При формоутворенні гвинтових поверхонь повинен існувати внутрішній кінематичний зв'язок між обертанням заготовки та поздовжнім переміщення інструмента, які в своїй сукупності забезпечують складний гвинтоподібний рух $\Phi v(O_1\Pi_2)$.

Завданням на кваліфікаційну роботу визначено забезпечення на верстаті шліфувальних робіт.

Враховуючи особливість оброблюваних на верстатах токарної групи деталей та поверхонь, можна зробити висновок, що викінченій обробці можуть підлягати зовнішні та внутрішні циліндричні поверхні.

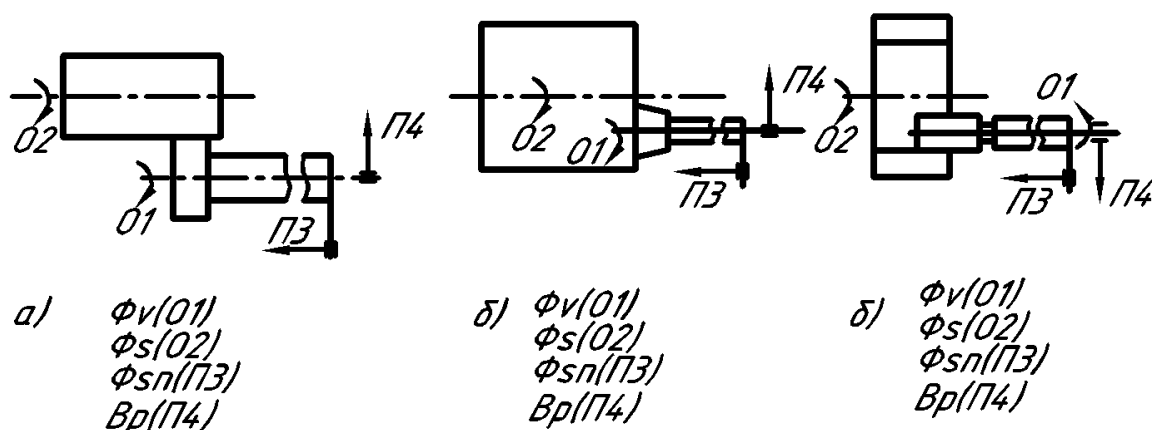


Рисунок 3.2 - Класичні схеми формоутворення зовнішніх та внутрішніх циліндричних поверхонь фінішною обробкою.

Фінішна обробка циліндричних та торцевих поверхонь вимагає головного руху – обертання шліфувального круга $\Phi_v(O_1)$, руху кругової подачі – обертання заготовки $\Phi_s(O_2)$, поздовжньої або поперечної подач $\Phi_s(\Pi_3)$, $\Phi_s(\Pi_4)$, а також рухів врізання $V_p(\Pi_4)$ або $V_p(\Pi_3)$, які забезпечують радіальні подачі.

Рухи обертання заготовки O_2 і поздовжньо-поперечних переміщень інструменту ідентичний рухам по схемах формоутворення поверхонь різцями, представлені на рис.3.1.

На проектуваному верстаті також доцільно забезпечити і фрезерні операції. Схеми фрезерування повинні бути пов'язані конструктивно-технологічними особливостями оброблюваних на верстаті деталей. Відповідними поверхнями на деталях можуть бути різного роду пази, лиски, торцеві поверхні, виготовлення яких вимагає певних ріжучих інструментів і відповідно їм конкретних схем.

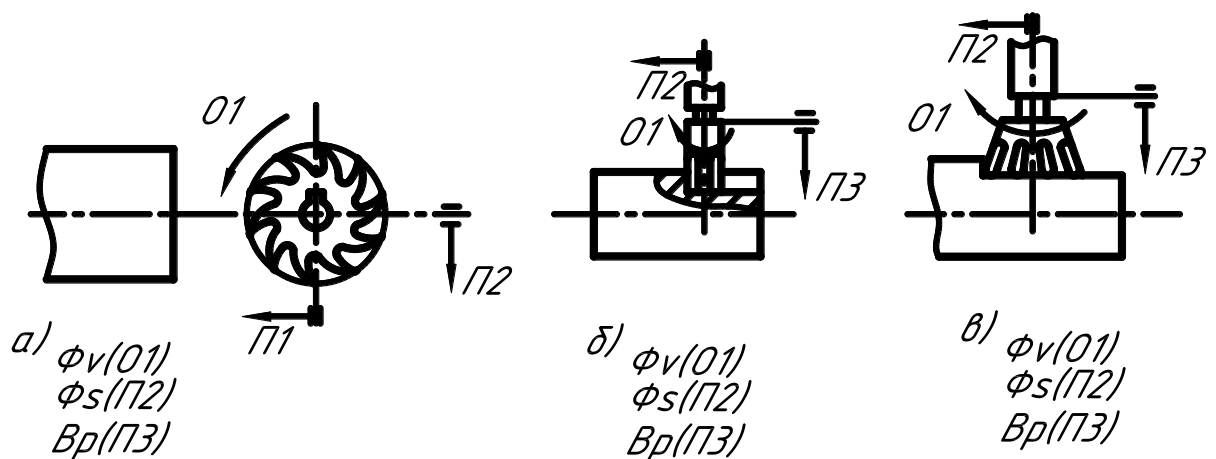


Рисунок 3.3 - Схеми формоутворення поверхонь деталей фрезеруванням на токарному верстаті.

Представлені схеми вимагають в основному установу оброблюваної заготовки. Всі формоутворюючі рухи належить забезпечувати інструментом-

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

фрезами, яким повинні надавати головний рух формоутворення - обертання інструмента $\Phi_v(O_1)$, рухи подач $\Phi_s(\Pi_2)$ та врізання (Π_3).

Співставляючи із основними токарними технологічними операціями, які виконують на токарних верстатах, спільним рухом є координатний рух подачі в горизонтальній площині вздовж осі z. Решту рухів відмінні і вимагають спеціальних ланцюгів або індивідуальних приводів [28, 29]. Рухи, які отримує інструмент при виконанні на токарному верстаті шліфувальних і фрезерних операцій в більшості не зв'язані із рухом деталі. Враховуючи такий фактор, доцільніше головний рух - обертання інструменту забезпечувати автономним приводом, що робить їх мобільнішими і незалежними від приводу головного руху верстату-обертання заготовки.

На основі представлених вище міркувань, огляд експлуатованих у промисловості верстатів-прототипів, розширення технологічних можливостей токарно-гвинторізного верстату буде забезпечено при наявності на верстаті таких формоутворюючих рухів і рухів подач: обертовий рух заготовки, закріпленій у головному шпинделі верстата, кругів або фрез O_1 – схеми а, б, в. рис.3.1, координатні переміщення силових шліфувального або фрезерного агрегатів, каретки-стола супорта-рухи Π_2, Π_3, Π_4 . В деяких технологічних операціях на верстаті необхідно забезпечити і вертикальні переміщення, які можуть надаватись як інструменту, так і заготовці.

3.2 Розробка та обґрунтування структурно-кінематичної схеми верстату

Основою розробки структурно-кінематичної схеми верстату є комплекс формоутворюючих та різних допоміжних виконавчих рухів, необхідних для утворення поверхонь деталей та забезпечення виробничого циклу. Розробку структурно-кінематичної схеми виконують на початковій стадії конструювання верстата і є базою для розробки компоновок та кінематичної схеми.

На основі аналізу методів формоутворення та обґрунтування оптимальної схеми уточнено, що кінематика верстата повинна забезпечити два обертові рухи та

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

З метою розширення технологічних можливостей верстату передбачається шпиндельній бабці надавати можливість зміни висоти центрів, а також на верстаті повинно бути забезпечено виконання шліфувальних та фрезерних операцій. Для спрощення кінематичної схеми верстата отримання рухів переміщення з шпиндельної бабки Пу та стола супорта Пх намічаємо забезпечити від окремого незалежного приводу M_2 :

рух Пу— ланцюг $M_2-6-7-U_{s1}-8$ -гвинт вертикальної подачі;

рух Пх— ланцюг $M_2-6-9-U_{s2}-10$ - гвинт поперечної подачі.

Включення конкретного ланцюга забезпечується муфтами, а настройка на конкретні якісні показники – органами настройки U_{s1} або U_{s2} .

При виконанні на верстаті шліфувальних або фрезерних робіт головним рухом стає обертовий рух шліфувальних або фрезерних шпинделів $\Phi_v(O_1)$. Обертовий рух заготовки перетворюється в допоміжний рух кругової подачі $\Phi_{skp}(O_1)$. Враховуючи незалежність оберткових рухів інструментів $\Phi_v(O_1)$, намічаємо їх отримання по незалежних кінематичних ланцюгах від автоматичних приводів M_3 , настройку на якісні показники забезпечуємо органами U_v . Автономія кінематичних ланцюгів обертання шпинделів шліфувальних рухів або фрезерних дозволяє їх конструювання у вигляді окремих силових агрегатів (блоків) із наступною установкою додатково на плиті супорта.

При кінцевій розробці кінематики верстата можуть бути введені кінематичні зв'язки ручної настройки окремих механізмів на конкретний технологічний процес.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3.3 Розрахунок технічних характеристик приводів верстата

Основними технічними характеристиками приводів верстата є необхідні діапазон регулювання якісних параметрів привода та потужність. Відмічені характеристик є вихідними для кінематичного та силового розрахунків приводів та окремих елементів.

Існує декілька варіантів опису вихідних даних для виконання проектних робіт. Серед найбільш розповсюджених виокремлюють два методи: статистичний та аналітичний. Статичний базується на статистичній обробці зібраних матеріалів по найбільш використовуваних режимах роботи верстатів аналогічної групи, на основі чого формується спектр діапазону регулювання та оптимальна потужність джерела енергії.

Основою аналітичного методу є розрахунок режимів різання для обробки деталі-представника або окремих видів робіт для деталі із різних матеріалів з використанням ріжучого інструменту з різними ріжучими властивостями.

Враховуючи широкий діапазон, різновидність і різнохарактерність технологічних операцій і переходів, які тісно пов'язані із лімітуючими габаритними розмірами оброблюваних заготовок.

Для проектного верстата такими є:

- Найбільший діаметр обробки нар супортом – 145мм.
- Найбільша довжина оброблюваної заготовки в центрах – 400мм.

На основі даних лімітуючих параметрів верстата можна сформулювати умови обробки поверхонь деталей при різних технологічних операціях: токарних, шліфувальних та фрезерних.

Важливим і впливовим параметром на розрахункові режими обробки є оброблюваний матеріал деталі. Широко універсальність проектного верстата зумовлює обробляти деталі з усіх матеріалів: чорних металів, кольорових металів та їх сплавів, кераміки, дерева, скла.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Стосовно оброблюваних матеріалів може бути вибраний ріжучий інструмент з ріжучими елементами з різних інструментальних матеріалів: швидкоріжучої стала, твердих сплавів стосовно оброблюваного матеріалу, мінералокераміки, композитних сплавів.

3.3.1. Розрахунок режимів різання при виконанні токарних операцій

Токарні операції, які повинні виконуватись на проектованому верстаті включають чистову та чорнову обробку різцями циліндричних зовнішніх та внутрішніх поверхонь, торців, канавок, різьбових та фасонних поверхонь. Аналіз даних операцій на подібних верстатах свідчить, що лімітуючим ми є чорнове та чистове точіння, нарізання різей.

3.3.2 Технологічні можливості проектованого верстата

Як вже було зазначено, проектований верстат є широко універсальним. Він може бути виконаний як при токарній, так і при інших видах обробки (свердлильна, шліфувальна, розточна тощо операції).

Для токарної обробки зазначені такі граничні розміри оброблюваної деталі:

- найбільший діаметр над супортом - 145 мм;
- найбільша довжина в центрах - 400 мм.

Цей верстат дозволяє здійснювати обробку будь-яких матеріалів: чорних металів, кольорових металів та їх сплавів, кераміки, дерева, скла тощо.

Деталь - представник вибрана для обробки на цьому верстаті підлягає таким операціям: токарній(поздовжнє і поперечне точіння), різьбонарізній, шліфувальній. Матеріал деталі - сталь 12ХМ3А (ДСТУ 7806:2015), що дозволяє використовувати на токарних операціях інструмент, виготовлений як із швидкорізальних сталей, так і з твердих сплавів. Так як проектований верстат дозволяє використовувати різальний інструмент із будь-яких інструментальних матеріалів, то вибраний для обробки деталі-представника різальний інструмент (мається на увазі матеріал) не йде в протиріччя.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3.3.3 Розрахунок граничних режимів різання

Для деталі-представника розрахуємо режими різання для таких операцій:

- токарна (повздожнє і поперечне точіння);
- шліфувальна (кругове шліфування).

Повздожнє кругове точіння

Швидкість визначаємо за формулою:

$$V = \frac{C_v}{60 \times T^m \times t^{x_v} \times S^{Y_v}} \times k_v, \quad (1)$$

де C_v - коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу і умов обробки,

$C_v=273$;

T —період стійкості різця, $T=60$;

t —глибина різання, $t=2$ мм;

S —подача, $S=0.15$ мм/об;

X_v, Y_v, m – показники степеня, $X_v=0,15$; $Y_v=0.20$; $m=0.20$;

K_v —загальний поправочний коефіцієнт, $k_v=k_{mv} \times k_{hv} \times k_{\phi v} \times k_{ov}$.

Підставивши всі ці величини у формулу (1), отримаємо:

$$V = \frac{273}{60 \times 60^{0.2} \times 2^{0.15} \times 0.15^{0.2}} = \frac{2.6 \text{ м}}{\text{с}}$$

Силу різання P_z визначаємо за формулою:

$$P_z = 0.81 \times C_f \times t^{Y_x} \times v^n \quad (2)$$

де C_f - коефіцієнт, який враховує характеристику оброблюваного матеріалу різця

і вид токарної обробки, $C_f=208$; $n=0$; $X_f=1$; $Y_f=0.75$.

$$P_z = 0.81 \times 208 \times 2^1 \times 0,15^{0,75} \times 1 \times 0,83 = 816,4 \text{ Н.}$$

Потужність різання:

$$N_z = \frac{P_z \times V}{60 \times 1000} = \frac{816.4 \times 156}{60 \times 1000} = 2.1 \text{ кВт}$$

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Потужність подачі:

$$N_n = \frac{P_n \times V_n}{60 \times 1000}$$

або визначаємо із залежності:

$$N_n = [(0.001 - 0.01)N_z] = 0.021 ;$$

$$n_{max} = \frac{1000V}{\pi d_{max}} = \frac{1000 \times 2.6}{31.4 \times 16} = 42 \text{ c}^{-1} \quad 42 \text{ c}^{-1};$$

$$n_{max} = \frac{1000V}{\pi d_{min}} = \frac{1000 \times 2.6}{31.4 \times 32} = 21 \text{ c}^{-1};$$

Кругове шліфування

Швидкість, подачу, глибину шліфування вибираємо за досвідно статичними-
даними:

Характеристика круга для даних умов шліфування 15A50C1K (V_{кр}=35м/с):

V_д=0,40 м/с;

T=0.015 мм;

S=0.4 мм/об;

B=25 мм (ширина круга).

Для визначення сили різання використовуємо формулу:

$$P = C_p \cdot V_{\Delta}^2 \cdot t^x \cdot S^y \cdot V_{кр}^{\beta} \cdot B^p$$

$\alpha=0.56$; $x=0.6$; $y=0.34$; $\beta=0.9$; $p=0.8$.

Ефективна потужність шліфування Ne може бути розрахована через параметри режиму різання:

$$Ne = C_N \times V_n^{\alpha} \times S^y \times D_n^z \times t^x;$$

де, C_N=2.7; y=0.55; $\alpha=0.5$; x=0.5.

D_д - діаметр, який обробляється.

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Розрахунок і аналіз режимів різання для різних видів фрезерних робіт

1. Фрезерування площин циліндричними фрезами по ГОСТ 3752-71 з зубом $\varnothing 40 \times 20$ мм $z=10$ з отвором $\varnothing 16$ мм і швидкорізальні сталі.

При чорновому фрезеруванні для циліндричних фрез з зубом при потужності головки до 5 кВт пониженої зайнятості системи S_z , мм:

—при обробці конструкційних сталей 0,03...0,06;

—при обробці чавуну та мідних сплавів 0,05...0,10.

При чистовому фрезеруванні, мм/об:

—при обробці конструкційних вуглецевих сталей 1,0...2,7(Ra=3.2);

0,6...1,5(Ra=1.6);

—при обробці чавуну, мідних і алюмінієвих сплавів

1,0...2,3 (Ra=3.2); 0,6...1,3 (Ra=1.6).

Ширина фрези B і глибина різання t відповідно до довжини фрези 20мм приймаємо $B=16$ мм.

Глибину різання приймаємо рівною $t=1,2,3,4$ і т.д.

Швидкість різання:

а) сірого чавуну $V=33$; 30 м/хв. $n=263$; 239 об/хв.

б) алюмінієвих сплавів $V=139$; 111 м/хв; $n=1114$; 834 об/хв.

Сила різання:

$$P_z = \frac{10 \times C_p \times t^x \times S_y \times B^n \times z}{D^q \times n^w};$$

Таблиця 3.1 Зведені коефіцієнти для розрахунку сили різання

Оброблюваний матеріал	C_p	x	y	n	q	w
Сталь і алюмінієві сплави	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Сірий чавун	30	0,83	0,65	1,0	0,89	0

Чорнова обробка конструкційної сталі при $t=5$ мм, $P_z=1950$ Н.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Момент
$$M = \frac{P_z \times D}{2000} = \frac{1950 \times 40}{2000} = 39 \text{ Нм}$$

Потужність
$$N = \frac{P_z \times V}{1020 \times 60} = 3.8 \text{ кВт.}$$

Обробка сталі при $t=2\text{мм}$, $P_z=2450\text{Н}$, $M=49 \text{ Нм}$ —не підходить.

Чистова обробка сталі: $t=0.2$; $s=0.189$; $V=125 \text{ м/хв.}$

$P_z=340 \text{ Н}$; $M=6.8 \text{ Нм}$; $N=1.25 \text{ кВт}$. Підходить.

Приймаємо $V=60 \text{ м/хв.}$; $N=0.333 \text{ кВт}$

Таблиця 3.2 Зведені коефіцієнти для розрахунку швидкості різання

Матеріал	C_v	q	x	y	v	D	m	S_r	T
Сталь	68.5	0.25	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.006	60
Чавун	72	0.2	0.3	0.4	0.1	0.1	0.15	111	60
Алюміній	259	0.25	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	111	60

Обробка сталі $V=62.7 \text{ м/хв.}$; $n=1600 \text{ об/хв.}$

Обробка чавуну $V=12,6 \text{ м/хв.}$; $n=240 \text{ об/хв.}$

Обробка алюмінію $V=238 \text{ м/хв.}$; $n=6000 \text{ об/хв.}$

Решта $V=78.5 \text{ м/хв.}$

Сила різання:

—для сталі $P_z=272 \text{ Н.}$

—для чавуну $P_z=136 \text{ Н.}$

—для алюмінію $P_z=68 \text{ Н.}$

Моменти:

—для сталі $M=1.7 \text{ Нм}$;

—для чавуну $M=0,85 \text{ Нм}$;

—для алюмінію $M=0,42 \text{ Нм}$.

Потужність:

—для сталі $N=0.25 \text{ кВт}$;

—для чавуну $N=0.03 \text{ кВт}$;

—для алюмінію $N=0.09 \text{ кВт}$.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

3.4 Розробка структурних формул приводів та їх графічний розрахунок

На основі розрахункових технічних характеристик приводів рухів верстата та розробленої структурно-кінематичної схеми верстата розробляємо окремі кінематичні ланцюги та кінематику верстата в цілому. Основними вихідними параметрами для кінематичного розрахунку і кінематичних ланцюгів є діапазон регулювання їх якісних показників. На основі діапазону передбачається розробка структурної формули, її оптимізація. Графоаналітичний метод розрахунку і на основі його розробка кінематичного ланцюга.

3.4.1 Привід обертання головного шпинделя верстата

Даний привід забезпечує обертання основного патронного шпинделя верстата і при потребі повздовжню подачу супорта тобто два ланцюга.

Згідно з проведеними розрахунками на головному шпинделі повинні бути забезпечені $n_{\max}=2000$ об/хв та $n_{\min}=40$ об/хв, що становить діапазон регулювання приводу:

На основі технічного завдання на верстаті повинно бути забезпечене ступеневе регулювання в межах даного діапазону. Необхідне число ступеней z визначаємо за формулою:

$$z = \frac{\lg R}{\lg \varphi} + 1 .$$

де φ — знаменник ряду частот обертів, значення стандартні;

з довідникової, технічної літератури для токарних верстатів рекомендується $\varphi=1,26$.

Тоді

$$z = \frac{\lg 50}{\lg 1,26} + 1 = 18,53$$

Приймаємо $z=18$.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Стосовно даного числа ступенів розробляється структурна формула, оптимальний варіант якої приймається на основі критеріїв оптимальності. Згідно з відповідними критеріями формула матиме вигляд:

$$Z = 3_{(1)} \times 3_{(2)} \times 3_{(3)}.$$

Перед проектування верстата поставлено завдання в конструктивному плані — шпindelну коробку необхідно витягнути вздовж осі Y, тобто забезпечити мінімальні розміри вздовж осі Z_{max}.

Відповідно до таких умов формула набуває вигляду:

$$Z = 2_{(3)} \times 3_{(2)} \times 3_{(1)}.$$

Отже для формули будуюмо структурну сітку та графік чисел обертів. Структурна сітка дає уявлення про розміщення передач по групах і розміщення самих груп.

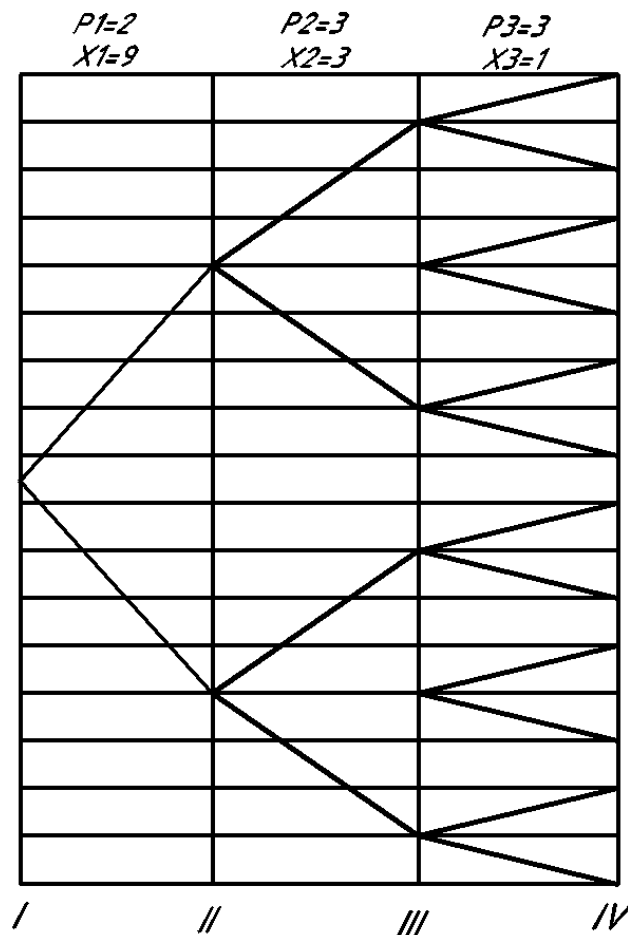


Рисунок 3.5 - Структурна сітка для приводу головного руху

Для заданої кінематичної структури розробляємо орієнтовну кінематичну схему.

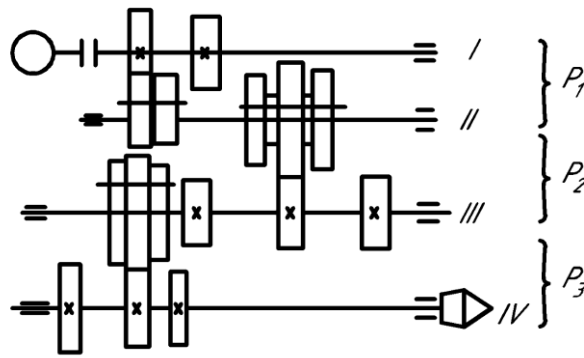


Рисунок 3.6 Кінематична схема приводу головного руху

На основі прийнятої структурної формули, структурної сітки будемо графік чисел обертів. На відміну від сітки графік несе якісну інформацію про передавальні відношення передач по групах, про частотні характеристики на валах, дає можливість знайти величини крутних моментів. Графік чисел обертів будується із дотриманих умов:

$$\frac{1}{1,26^6} = \frac{1}{4} \leq u \leq 2 = 1,26^3$$

Графік набуває вигляду, представленого на рис.3.7

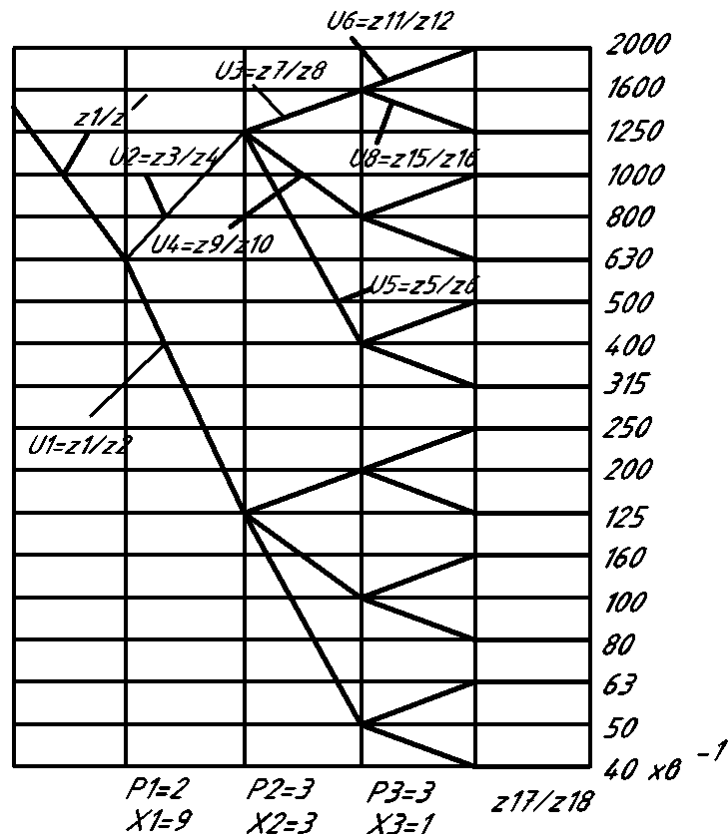


Рисунок 3.7 - Графік чисел обертів приводу головного руху верстата

				КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ		Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Кінематичний ланцюг головного руху на основі кінематичної схеми та графіку чисел обертів матиме вигляд:

Графік чисел обертів дозволяє визначити передавальні відношення передач і відповідні числа зубів коліс:

$$U_1 = z_1/z_2 = \varphi^{-6} = 1.26^{-6} = 1/4 ;$$

$$U_2 = z_3/z_4 = \varphi^3 = 1.26^3 = 2 ;$$

$$U_3 = z_7/z_8 = \varphi^1 = 1.26 ;$$

$$U_4 = z_9/z_{10} = \varphi^{-5} = 1.26^{-5} ;$$

$$U_5 = z_5/z_6 = \varphi = 1.26 ;$$

$$U_6 = z_{11}/z_{12} = \varphi = 1.26 ;$$

$$U_7 = z_{13}/z_{14} = \varphi^{-1} = 1/1.26 ;$$

Всі значення передавальних відношень знаходяться в допустимих межах.

Числа зубців для передач відповідно будуть:

Перша група:

$$z_1 + z_2 = z_3 + z_4 ;$$

$$\frac{z_1}{z_2} = U_1 ; \frac{z_3}{z_4} = U_2 .$$

Прийнявши $z_1=18$ (так як U_1 —найменше значення), одержимо:

$$z_2 = \frac{18}{U_1} = 72 .$$

Сумарна кількість зубів для передач першої групи буде:

$$\sum z_i = 18 + 72 = 90 .$$

На основі даної $\sum z_i$ визначаємо решту чисел зубів передач групи.

$$z_3 = \frac{\sum z_i \times U_2}{1 + 42} = \frac{90 \times 2}{1 + 2} = 60 ;$$

$$z_4 = \sum z_i - z_3 = 90 - 60 = 30 .$$

Для другої групи для найменшого передавального відношення $U_5 = 1/\varphi^5$ приймаємо $z_5 = 19$.

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Аналогічно $z_6 = z_5 / U_5 = 19 / \varphi^{-5} = 58.$

Відповідно $\sum z_{II} = z_5 + z_6 = 19 + 58 = 77.$

Числа зубців для решту передач другої групи відповідно до знайденого $\sum z_{II}$ будуть:

$$z_7 = \frac{\sum z_{II} \times U_3}{1 + U_3} = \frac{77 \times 1.26}{1 + 1.26} = 43;$$

$$z_8 = 77 - 43 = 34;$$

$$z_9 = \frac{\sum z_{II} \times U_4}{1 + U_4} = \frac{77 \times 1.26^{-2}}{1 + 1.26^{-2}} = 30;$$

$$z_{10} = 77 - 30 = 47.$$

Для третьої групи аналогічно одержимо:

$$z_{13} = z_{14} = 30;$$

$$z_{11} = 34; \quad z_{12} = 26;$$

$$z_{15} = 26; \quad z_{16} = 34;$$

Для проведення силового розрахунку за розрахункову вітку за рекомендаціями технічної літератури приймаємо вітку, яка відповідає 1/3 діапазону від n_{\min} (виділено на графіку чисел обертів).

3.4.2 Приводи координатних переміщень стола супорта та шпindelної бабки

Згідно з прийнятою кінематичною структурою верстата координатні переміщення виконавчих механізмів забезпечуються окремим джерелом енергії—електродвигуном. Такими переміщеннями є переміщення подач, які забезпечують обробку поверхонь параметрів деталі в розмір.

Для кожної координати є свій діапазон регулювання, визначений на основі розрахунків.

Для повздовжніх переміщень супорта:

$$S_{\text{позд.}} = 0,5 \div 500 \frac{\text{Мм}}{\text{ХВ}}.$$

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Для поперечних переміщень:

$$S_{\text{попер.}} = 0,25 \div 250 \frac{\text{Мм}}{\text{Хв}}.$$

Для вертикальних переміщень:

$$S_{\text{верт.}} = 2,5 \div 500 \frac{\text{Мм}}{\text{Хв}}.$$

Відповідно до відмічених параметрів діапазони регулювання приводів становлять:

$$R_{S \text{ позд.}} = \frac{500}{0,5} = 1000;$$

$$R_{S \text{ попер.}} = \frac{250}{0,25};$$

$$R_{S \text{ верт.}} = \frac{500}{2,5}.$$

Враховуючи такі великі діапазони і особливість переміщень, підвищену точність верстату, призначаємо привід із безступеневим регулюванням при постійному моменті. Для приводів подач домінуючим є регулювання приводу діапазоном регулювання електродвигуна відповідає потреба в коробках передач.

Але з умови віддаленості виконавчих механізмів від електродвигуна і перемінність їх розміщення, а також відмінність діаметрів, існує потреба в кінематичних ланцюгах з різними характеристиками кінематичних зв'язків.

Для різних переміщень приймаємо різні кінематичні ланцюги, які подані на рис. 3.8.

Враховуючи ту вимогу, що верстат повинен бути підвищеної точності, кінцевими виконавчими органами призначаємо шарогвинтові передачі.

Для поданих кінематичних схем ланцюгів будуємо графік чисел подач, поданий на рис. 3.9.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

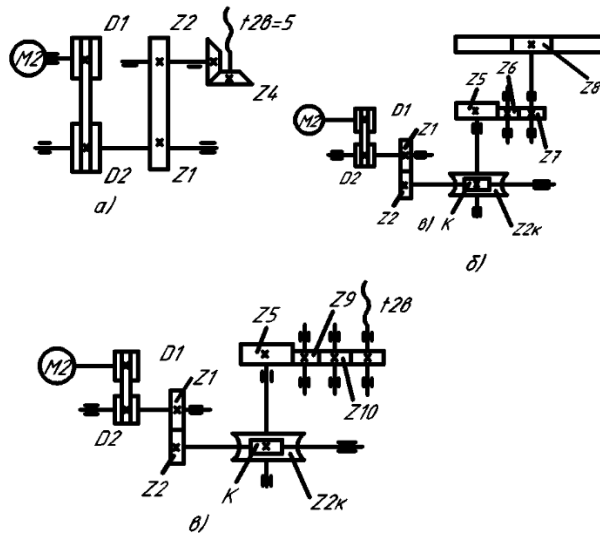


Рисунок 3.8 - Схема кінематичних ланцюгів приводів подач верстата

а) привід вертикальних переміщень; б) привід поздовжніх переміщень;
в) привід поперечних переміщень.

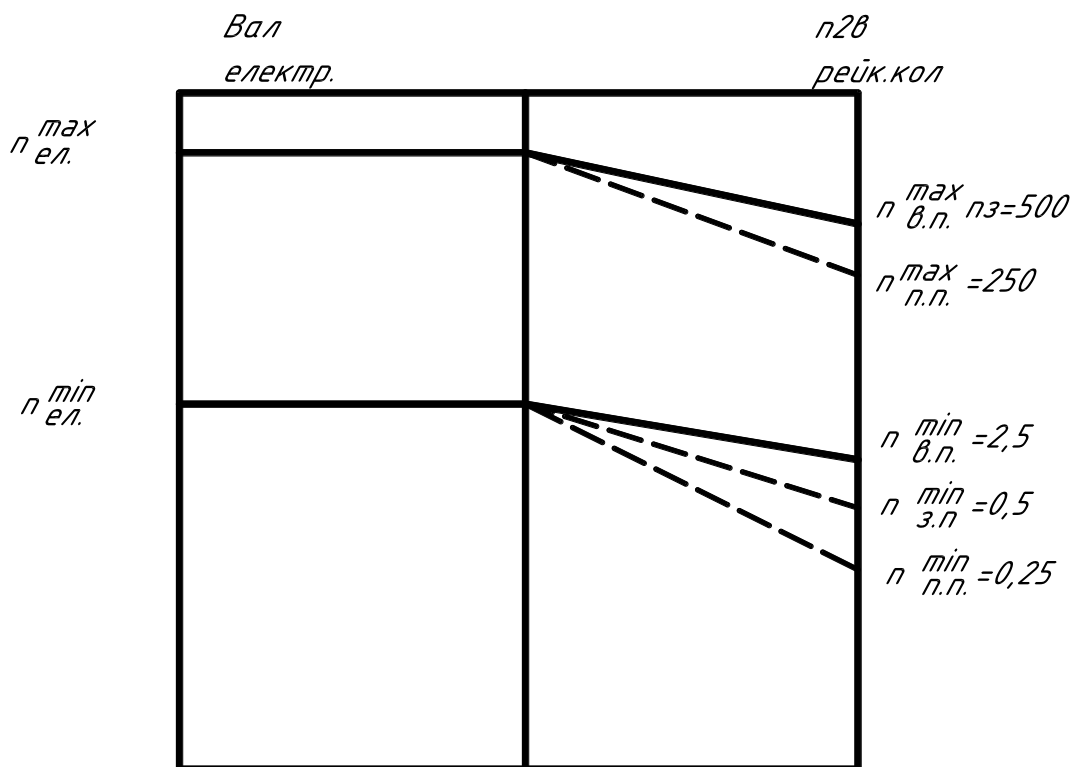


Рисунок 3.9 - Графік чисел подач переміщень

Для прийнятих кінематичних ланцюгів узагальнені рівняння кінематичного балансу мають вигляд:

а) ланцюг поздовжніх переміщень супорта

$$S_{np} = n_{\text{ел.}} \cdot U_{\text{нас.п.}} \cdot U_{31} \cdot U_{32} \cdot U_{33} \cdot U_{34} \cdot \pi m z_p = (1,217 \div 1217) U_{\text{нас.п.}} \cdot U_{31} \cdot U_{32} \cdot U_{33} \cdot U_{34} \cdot \pi m z_p = 0,5 \div 500$$

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Відповідно для супорта величина редукції складатиме:

$$U_{нас} \cdot U_{31} \cdot U_{32} \cdot U_{33} \cdot U_{34} \cdot \pi m z_{рк} = \frac{500}{1217} = 0,42$$

Для забезпечення такої редукції приймаємо:

$$U_{пас.} = 1; \quad k_{черв.} = 1; \quad U_{ч.п.} = 0,04.$$

Модуль зубчастих передач $m=2$ мм.

$$U_{31} = 1.1; \quad U_{32} = 0.6; \quad U_{34} = 0.28.$$

Шляхом підбору визначаємо числа зубів, які забезпечать прийняті передавальні відношення: $z_{черв.к.} = 27; U_{31} z_1/z_2 = 37/33;$

$$U_{32} = z_3/z_4 = 46/75;$$

$$U_{34} = z_5/z_6 = 21/75.$$

Аналогічно проводимо розрахунок для решти ланцюгів.

Враховуючи, що $n_{ел.} = 1,25 \div 125$ об/хв., приймаємо:

$$\frac{D_1}{D_2} = 1; \quad \frac{z_1}{z_2} = \frac{37}{33}; \quad \frac{k}{z_{ч.к.}} = \frac{1}{27}; \quad \frac{z_5}{z_9} = \frac{28}{21}; \quad \frac{z_9}{z_{10}} = \frac{46}{25}; \quad \frac{z_{10}}{z_{11}} = \frac{25}{24};$$

$$t_{гв.} = 2 \text{ мм.}$$

в) ланцюг вертикальної переміщень передньої бабки:

$$S_{в.п.} = n_{ел.} \times \frac{D_1}{D_2} \times \frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_2}{z_3} \times t_{гв.} = (1,2 \div 240) \times \frac{1}{1} \times \frac{33}{55} \times \frac{40}{40} \times 5 = 2,5 \div 500 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}.$$

Характеристика кінематичних зв'язків прийняті довільні з умовою забезпечення розрахункового діапазону

$$R_s = \frac{500}{2.5} = 200.$$

г) ланцюг подачі супорта при нарізанні різей.

Подачі при нарізанні різей:

$$\text{де } i_n = \left. \begin{matrix} 20 \\ 60 \\ 40 \\ 40 \end{matrix} \right\} \text{ передавальне відношення перебору.}$$

На основі рівняння кінематичного балансу визначається рівняння настройки стосовно органу налаштування

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Результати розрахунку наведені в табл. 3.3

Таблиця 3.3 Підбір пар зубчастих коліс для забезпечення подачі

Перебор	$i_n = \frac{20}{60}$												
S_{II}	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7				
	$\frac{21}{70}$	$\frac{21}{56}$	$\frac{27}{60}$	$\frac{21}{40}$	$\frac{24}{40}$	$\frac{27}{40}$	$\frac{30}{40}$	$\frac{36}{40}$	$\frac{42}{40}$				
Перебор	$i_n = \frac{40}{40}$												
S_{II}	0,75	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
	$\frac{21}{60}$	$\frac{24}{60}$	$\frac{30}{60}$	$\frac{30}{48}$	$\frac{36}{48}$	$\frac{42}{48}$	$\frac{40}{40}$	$\frac{50}{40}$	$\frac{54}{36}$	$\frac{42}{24}$	$\frac{60}{30}$	$\frac{54}{24}$	$\frac{60}{24}$

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Ергономічні проблеми безпеки життєдіяльності

Ергономіка (від грецької *ergon* – робота + *nomos* – закон) — це наукова дисципліна, яка комплексно вивчає людину в конкретних умовах її життєдіяльності з метою забезпечення максимальної ефективності цієї діяльності, безпеки та комфорту людини.

Основним завданням ергономіки як науки є розробка методів урахування людських чинників при модернізації існуючої та створенні нової техніки і технології, а також вивчення закономірностей взаємодії людини з технікою – як на виробництві, так і в побуті.

Під терміном машина (М) розуміють будь-який технічний пристрій: м'ясорубка, кавомолка, пилосос, комп'ютер, автомобіль тощо [30]. Проблема полягає в забезпеченні зручної і комфортної взаємодії Л і М, яка виключала б прояв небезпек і аварій.

Для успішного функціонування системи Л-М-С фахівці виділяють наступні види сумісності:

- інформаційна;
- біофізична;
- енергетична;
- просторово-антропометрична;
- техніко-естетична.

Інформаційна сумісність має бути такою, що дозволяє людині і машині безпомилково приймати і переробляти інформацію, що надходить одна від одної. Машина повинна розуміти людину, а людина – машину. Тому інформаційні потоки мають відповідати психофізіологічним можливостям

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив	Мельник А.Г.				Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Літ	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Окіпний І.Б.							
Рецензент								
Н. контр.	Кобельник В.Р.							
Зав. каф.	Крупа В.В.							
						ТНТУ, ФМТ каф. ВІ, гр. МВ-41		

людини і технічним можливостям машини.

Біофізична сумісність має на меті створення такого середовища взаємодії Л і М, яке не завдає шкоди людині (електромагнітне, іонізуюче випромінювання тощо) і забезпечує в роботі з машиною високу працездатність людини і нормальний фізіологічний стан.

Енергетична сумісність полягає в розробці таких органів управління машиною, які відповідали б силовим і енергетичним можливостям людини. Для приведення в дію сенсомоторних пристроїв потрібні певні зусилля, що прикладаються до важелів, тумблерів, кнопок, перемикачів тощо. Однак фізичні можливості людини обмежені. Отже, зусилля не повинні бути як занадто великими (людина буде швидко втомлюватися), так і занадто малими (людина не відчуватиме опору важелів).

Приміром, так званий абсолютний поріг тактильної чутливості шкіри людини різний:

- для кінчиків пальців рук – 30 мН/мм²,
- для тильної сторони пальця – 50 мН/мм²,
- для тильної сторони кисті рук – 120 мН/мм²,
- для шкіри живота – 260 мН/мм²,
- для п'ятки – 2,5 Н/мм².

Окрім того, виявлена больова чутливість тактильного аналізатора: для кінчиків пальців рук, приміром, вона становить 3 Н/мм².

Характерна особливість тактильного аналізатора людини – швидкий розвиток адаптації (привикання), тобто зникнення відчуття дотику чи тиску. Час адаптації залежить від сили подразника, для різних ділянок тіла він коливається від 2 до 20 секунд. Завдяки адаптації ми не відчуваємо дотику одягу до тіла.

Просторово-антропометрична сумісність передбачає врахування розмірів тіла людини і її окремих параметрів, можливість огляду елементів, складових частин агрегату, приладу для проведення профілактичних і ремонтних робіт (*викрутити гвинт, зняти кришку, замінити деталь в механізмі тощо*). Ця

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

сумісність передбачає також і можливість зміни положення (пози) людини в процесі роботи.

Антропометрія (від грецьких слів *антропо* — людина і *метрео* — міряю) — наука у складі антропології, пов'язана з вивченням варіацій фізичної будови людини й системними вимірюваннями тіла людини та його частин [30, 31].

Дослідним шляхом встановлено, що середньостатистичні *розміри тіла та його частин* різняться у працівників різної статі, причому:

- зріст чоловіка перевищує зріст жінки на 11,1 см;
- довжина витягнутої вбік руки більша у чоловіка на 6,2 см;
- довжина витягнутої вперед руки більша у чоловіка на 5,7 см;
- довжина ноги чоловіка більша, ніж у жінки на 6,6 см;
- висота очей над рівнем підлоги більша у чоловіка на 10,1 см.
- у положенні тіла "сидячи" довжина тіла чоловіка на 9,8 см більша, ніж у жінки;
- у положенні тіла "сидячи" висота очей над сидінням у чоловіка на 4,4 см більша, ніж у жінки.

Невиконання вимог до робочої пози працівника на його робочому місці спричиняє:

- 1) швидке виникнення статичної втоми;
- 2) зниження якості й швидкості виконання технологічних операцій;
- 3) зниження реакцій на небезпеку.

При роботі у робочій позі "сидячи" тіло працівника має бути розташоване із дотриманням таких вимог:

- 1) ступні ніг опираються на підлогу або підставку;
- 2) стегна розташовуються у горизонтальній площині;
- 3) плечі розташовуються у вертикальній площині;
- 4) лікті зігнуті під кутом $70...90^{\circ}$ до вертикальної площини;
- 5) зап'ястки зігнуті під кутом, який не перевищує 20° відносно горизонтальної площини;
- 6) голова нахилена не більше, ніж на $15...20^{\circ}$ по відношенню до вертикальної площини;
- 7) спинка крісла підтримує спину людини, а знаряддя праці знаходяться в зоні оптимальної досяжності.

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Техніко-естетична сумісність полягає у прагненні досягти задоволення від користування, спілкування з машиною, від процесу праці. Для вирішення цих ергономічних завдань залучаються дизайнери, художники, архітектори.

Робоче місце – це зона розташування людини разом з необхідними технічними засобами, за допомогою яких відбувається трудова діяльність людини. Іноді предмет діяльності може знаходитися за межами робочого місця (наприклад, дистанційне керування небезпечними процесами). Робоче місце обладнується засобами відображення інформації (сигнальними лампами, наприклад), органами управління (важелями, тумблерами) та допоміжним оснащенням.

Організацією робочого місця називають комплекс заходів щодо його обладнання засобами та предметами праці з розташуванням їх у визначеному порядку з метою досягнення безпеки діяльності, максимальної продуктивності і комфортності роботи людини [31].

При оснащенні робочого місця потрібно враховувати такі вимоги:

- робочий простір за розмірами має бути достатнім для здійснення людиною необхідних рухів та переміщень;
- фізичні, зорові та слухові зв'язки людини з обладнанням мають бути достатніми, аби працювати без напруження;
- рівень освітлення має відповідати нормативним вимогам;
- рівень шуму, вібрацій, електромагнітного випромінювання та інших шкідливих чинників не повинен перевищувати допустимих величин;
- у випадку неможливості зниження рівня шкідливих чинників мають бути відповідні засоби індивідуального захисту;
- розташування робочих місць у приміщенні повинно бути оптимальним і передбачати достатні проходи для працюючих.

Засоби відображення інформації мають забезпечити своєчасність отримання людиною потрібної інформації для її аналізу, логічної обробки та прийняття потрібного рішення.

Відображена інформація повинна відповідати наступним вимогам:

- за змістом – адекватно відповідати запитам оператора;

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- за формою – відповідати психофізіологічним можливостям оператора для її сприймання і опрацювання.

Органи керування повинні забезпечити перехід дій від людини до машини. Вони повинні бути надійними в роботі та зручними у користуванні, не допускати аварій, травм при перевантаженнях та помилкових діях людини. Вони повинні також не призводити до зайвих, малоефективних та втомлюючих рухів людини в процесі роботи.

За призначенням органи керування ділять на 4 основних класи:

- для вмикання, вимикання, перемикання;
- для виконання повторних операцій;
- для безперервного регулювання;
- для аварійних ситуацій.

При організації робочого місця враховують основні *антропометричні параметри* людини, які потрібні, зокрема, для розрахунку найважливішої характеристики робочого місця – зони досягнення моторного поля.

Моторне поле – це простір робочого місця, в якому людина здійснює рухові дії для виконання робочого завдання. Під *зоною досягнення* моторного поля розуміють частину простору, обмежену крайніми точками, яких можуть досягнути руки та ноги людини, котра не змінює свого положення. В цій зоні мають бути розміщені органи керування та інші технічні засоби.

Розрізняють зони легкого та оптимального досягнення. *Легке досягнення* – при русі рук у плечовому суглобі з опорою. *Оптимальне досягнення* – рух у ліктьових суглобах з опорою.

При організації робочого місця потрібно враховувати:

- ступінь рухливості роботи людини (сидячи, стоячи, або сидячи-стоячи);
- конфігурацію та спосіб розміщення індикаторів і органів керування;
- потребу в огляді робочого простору;
- необхідність використання робочої поверхні для записування інформації, розміщення телефонів, факсів, розташування клавіатури, документів, інструкцій тощо.

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Неабияке значення має правильний вибір робочого сидіння. Конструкція робочого сидіння має забезпечувати підтримку основної робочої пози, не утруднювати робочих рухів, забезпечувати зміну положення, зручні умови для відпочинку.

4.2 Розробка та опис конструкції блокуючих пристроїв верстату, механізму, установки

Розробка блокувальних пристроїв – це критичний етап проектування, який забезпечує безпеку оператора та запобігає поломкам обладнання у разі неправильних дій або аварійних ситуацій [32].

1. Основні види конструкцій блокування.

Залежно від принципу дії, блокувальні пристрої поділяють на три основні групи:

- Механічні: Найпростіші та найнадійніші. Використовують фіксатори, упори, засувки або замки.
 - *Приклад:* Блокування важеля перемикання швидкостей, яке не дозволяє увімкнути дві передачі одночасно.
- Електричні: Базуються на розриві або замиканні ланцюга керування.
 - *Приклад:* Кінцеві вимикачі на дверцятах захисного кожуха — верстат не запуститься, поки огороження відкрите.
- Пневматичні/Гідравлічні: Використовують клапани, які перекривають подачу робочої рідини або повітря.
 - *Приклад:* Блокування затискного патрона, що не дає почати обробку, поки деталь не зафіксована під певним тиском.

2. Типова структура опису пристрою.

При розробці технічної документації опис конструкції зазвичай містить:

1. Призначення: Яку саме небезпечну ситуацію запобігає пристрій.
2. Склад (специфікація): Перелік деталей (датчики, пружини, штовхачі, реле).

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Принцип роботи: Покроковий опис взаємодії елементів (наприклад: "При відкритті екрана штовхач натискає на штифт вимикача SQ1...").

4. Схема підключення/встановлення: Креслення або функціональна схема.

3. Сучасні інтелектуальні системи.

Сьогодні все частіше використовують електронні безконтактні системи:

- Світлові завіси: Зупиняють верстат, якщо рука людини перетинає інфрачервоний промінь.
- Магнітні датчики безпеки: Працюють без фізичного контакту, що продовжує термін служби.

Для блокувального пристрою робочої зони багатоцільового верстата найкраще підходить електромеханічна система з функцією примусового замикання. Вона забезпечує захист від розлітання стружки, змащувально-охолоджувальної рідини та прямого контакту з інструментом, що обертається [32].

Нижче наведено структуру опису такої конструкції:

1. Призначення пристрою.

Блокувальний пристрій призначений для виключення можливості пуску шпинделя та приводів подач при відкритих захисних дверцятах робочої зони, а також для автоматичної зупинки верстата у разі їх відкриття під час циклу обробки.

2. Опис конструкції та компонентів.

Типова конструкція складається з таких елементів:

- Виконавчий ключ (язичок): Монтується на рухомій частині огорожі (дверцятах). Виготовляється з нержавіючої сталі для стійкості до агресивного середовища СОЖ.
- Електромагнітний замок (актуатор): Встановлюється на нерухомій станині верстата. Містить у собі блок контактів та соленоїд.
- Механізм фіксації: Пружинний фіксатор, який утримує ключ всередині замка, поки шпиндель не зупиниться повністю (за сигналом від датчика обертів).

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Світлова індикація: Світлодіод на корпусі замка (червоний — заблоковано, зелений — можна відкривати).

3. Принцип роботи (Алгоритм).

1. Вихідний стан: Дверцята закриті, ключ знаходиться в гнізді замка, ланцюг безпеки замкнутий. Система ЧПК дозволяє запуск програми.
2. Робочий цикл: Після натискання кнопки "Цикл", соленоїд блокує ключ у замку. Дверцята фізично неможливо відкрити до завершення операції.
3. Зупинка: Після завершення обробки або натискання кнопки "Стоп", ЧПК чекає сигналу про повну зупинку шпинделя (через реле контролю швидкості). Після цього подається живлення на соленоїд, який звільняє ключ.
4. Аварійна ситуація: При спробі механічного зламу замка або обриві кабелю, ланцюг безпеки розривається, і верстат миттєво переходить у режим "Emergency Stop".

4. Розрахункові параметри для теоретичної частини.

При описі варто згадати такі характеристики:

- Зусилля утримання (F): зазвичай 1000–2500 Н (щоб оператор не міг вирвати дверцята вручну).
- Клас безпеки: Для сучасних верстатів це SIL3 або PLe (згідно з ISO 13849-1).
- Час спрацювання: не більше 50–100 мс.

Для підйомних дверцят багатоцільового верстата використання безконтактного блокування є найбільш доцільним, оскільки такі дверцята часто мають значну масу та піддаються вібраціям, що швидко виводить з ладу звичайні механічні ключі.

1. Опис безконтактного блокування (RFID-технологія).

На відміну від магнітних датчиків, RFID-блокування захищене від маніпуляцій (його неможливо "обманути" звичайним магнітом) та забезпечує високий рівень безпеки (PLe).

- Конструкція: Складається з активного зчитувача (на станині) та пасивного транспондера/мітки (на підйомній частині дверцят).

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Особливість для підйомних дверцят: Оскільки підйомні дверцята можуть мати невеликий люфт у напрямних, безконтактна система ідеально працює за рахунок допустимого зазору (зазвичай до 10-15 мм) між датчиками.
- Переваги:
 - Відсутність механічного зносу при постійних циклах "вгору-вниз".
 - Стійкість до бруду, мастила та металевого пилю.
 - Кодування: кожен датчик реагує лише на свій унікальний транспондер.

2. Поєднання з приводом підйому.

У конструкції підйомних дверцят блокування інтегрується з пневмоциліндром або електроприводом:

1. При отриманні команди на відкриття, ЧПК перевіряє зупинку шпинделя.
2. Електронний замок знімає фіксацію.
3. Тільки після підтвердження від RFID-датчика, що дверцята повністю підняті, активується режим налагодження або зміни деталі.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено детальний аналіз технологічного процесу обробки деталі "Корпус редуктора ЗМ-60А", а також огляд конструкцій багатоцільових верстатів з високою ступінню універсальності.

При виконанні кваліфікаційної роботи запропоновано вдосконалити існуючий технологічний процес обробки деталі "Корпус редуктора ЗМ-60А", реалізувати принцип концентрації операцій шляхом впровадження багатоцільового верстата у структуру технологічного процесу; проаналізовано особливості структурно-кінематичних схем, а також функціональних і конструктивних особливостей багатоцільових верстатів; проаналізовано схеми технологічного налагодження для обробки окремих поверхонь деталі на багатоцільовому верстаті; проведено кінематичний розрахунок при конструюванні коробки швидкостей; розроблено конструкцію спеціального шліфувального модуля для обробки торцевих та зовнішніх поверхонь з автономним приводом головного руху.

У кваліфікаційній роботі слід виокремити наступні результати:

- запропоновано раціоналізувати маршрутну технологію механічної обробки деталі "Корпус редуктора ЗМ-60А";
- розроблено розширений варіант структурно-кінематичної схеми багатоцільового верстата;
- розраховано режими різання за виконуваними операціями;
- розроблено конструкцію спеціального шліфувального модуля;
- виконано кінематичний розрахунок елементів у приводі головного руху багатоцільового верстату;
- проведено опрацювання питань з основ охорони праці, які потрібно реалізувати для обслуговування багатоцільового верстату.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ВИСНОВКИ	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Мельник А.Г.</i>							1
<i>Перевірив</i>	<i>Шанайда В.В.</i>							
<i>Рецензент</i>								
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник В.Р.</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа В.В.</i>				<i>ТНТУ, ФМТ каф. ВІ, гр. МВ-41</i>			

8. Кривий П.Д. Підвищення продуктивності процесу і якості плоскої поверхні сформованої комбінаційним торцевим фрезеруванням / Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Крупа В.В., Мимрик Н.П. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць*. – Краматорськ : ДДМА, 2019. – № 3 (47). – / Галузь науки: технічні - С.199 - 206.
9. Кривий П. Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення підвищеної якості згортних втулок : монографія / Кривий П. Д., Сенік А. А. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 232 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/27951>
- 10.Склярів Р. А., Шанайда В. В. Прогнозування технічних характеристик металорізальних верстатів з використанням нейронних мереж. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XXIII Міжнародної науково-технічної конференції 28 – 31 травня 2025 року / за заг. ред. В. Д. Ковальова*. – Краматорськ-Тернопіль-Свалява: ДДМА, 2025. – С. 252.
- 11.Дослідження розсіювання величин подач токарних верстатів в імовірнісному 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>
- 12.Zubovetska, N. T., Redko, R. H., Chetverzhuk, T. I., Skliarov, R. A., Shanayda, V. V. Experimental study of the process of boring machine parts using a cutter equipped with tensor sensors. *Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*, 2025. №1(58). С. 88–96. [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2025-1\(58\)-88-96](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2025-1(58)-88-96)
- 13.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.

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

14. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи / Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, А.В. Бабій, Г.Б. Цьонь, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.
15. Гевко Р.Б., Хомик Н.І., Жаровський О.С., Довбуш Т.А. Деталі машин та основи автоматизованого конструювання: навчальний посібник до лабораторних робіт Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. 256 с.
16. Скляр Р., Шанайда В. Використання багатофункціонального пакету MathCad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. *Збірник тез доповідей XVI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*. Т.: ТНТУ, 2012. С. 69.
17. Металорізальні верстати. Кінематичний аналіз. Практикум до виконання практичних та лабораторних робіт [Електронний ресурс]: Навч. посібник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Металорізальні верстати та системи» / О.В. Шевченко, А.Ю. Беляєва; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,5 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 86 с.
18. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу свердління наскрізних отворів. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць.*: Краматорськ, 2011. Вип. № 28. – С. 77–85.
19. Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М.І. Про характер зміни подачі при виході інструменту із тіла заготовки в процесі свердління наскрізних отворів. *Вісник ТНТУ: Науковий журнал.*: Тернопіль: ТНТУ, 2012. № 4 (68). С. 114–127.
20. Кобельник В.Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць.*: Краматорськ, 2012. – Вип. № 31. – С. 47–56.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

21. Шанайда, В.В. Створення схем формоутворення внутрішніх різей на основі принципів структурно-векторного синтезу. *Збірник тез доповідей наук. конф. ТНТУ МТФ «Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті»*. Тернопіль: ТНТУ (16 травня 2011 р.), 2011. С.109–110.
22. Склярів Р. А., Шанайда В.В. Динамічна модель приводу автоматичної заміни інструментів багатоцільових верстатів. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції „Обладнання і технології сучасного машинобудування“*, 11-12 травня 2017 року. Т. : ТНТУ, 2017. С. 155–156.
23. Редько Р.Г., Склярів Р.А., Шанайда В.В. Порівняльно-правовий аналіз законодавства в області інтелектуальної власності в країнах ЄС та Україні. Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки». Луцьк, 2023, №75. С. 9 - 14. DOI 10.36910/775.24153966.2023.75.1
24. Склярів Р. А., Шанайда В. В., Склярова Н. Р. Особливості захисту баз даних в країнах ЄС та в Україні. Наукові записки. Серія: право. Випуск 17, Кропивницький: 2024. С. 220-230
DOI: <https://doi.org/10.36550/2522-9230-2024-17-220-230>
25. Шанайда В.В., Редько Р.Г., Склярів Р.А. Правова модель Латвії у сфері інтелектуальної власності: адаптація до міжнародних стандартів і уроки для України. Наукові записки. Серія: Право. 2025. Випуск 18. Кропивницький, 2025. С. 240 - 247.
<https://doi.org/10.36550/2522-9230-2025-18-240-247>
26. Лазарюк В. В. Нові інструменти для розробки технологічних стартапів у сфері виробництва в Україні. *Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції „Формування механізму зміцнення конкурентних позицій національних економічних систем у глобальному, регіональному та локальному вимірах“*, 31 березня 2023 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А, 2023. — С. 54–56. — (Роль і потенціал вітчизняного підприємництва у розвитку економічно стійкої держави).

					КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

27. Vitenko T., et al. The introduction of FabLab platforms as determinant of the Ukraine's economy innovative development. In: Business Risk in Changing Dynamics of Global Village 2, 2019. Publishing House of University of Applied Sciences in Nysa, 2019. p. 448-464.
28. Склярів Р. А., Шанайда В. В., Савчук М. А. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій / Р. Склярів, В. Шанайда, М. Савчук. *Вісник ТНТУ*. – 2011. –Том 16. – № 1. – С.117-125.
29. А. Вовкотруб, В. Шанайда. Аналіз особливостей роботи приводу головного руху верстата. *Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів*, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023). М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. – 497. – С. 35–36.
30. Пістун І.П., Кочубей В.І. Практикум з безпеки життєдіяльності. Підручник. Вид-во Університетська книга, 2023. 560 с.
31. Атаманчук П.С. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 276 с.
32. Андрейчук Н.І. Охорона праці: навч. посіб. / Н.І. Андрейчук, Ю.В. Кіт, С.В. Шибанов, О.В. Шерстньова. Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2021. 276 с.
33. Бедрій Я.І. Основи охорони праці: навч. посіб. 4-е вид. перероб. і доп. Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2018. 240 с.

					<i>КРБ 22-040.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		