

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи
для освітнього ступеня «МАГІСТР»
за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»
на тему:

**Розробка технології обробки маточини P00014 з
проведенням структурно-морфологічного аналізу
токарних роботизованих комплексів**

**Development of the technology for machining the P00014
hub with structural and morphological analysis of turning
robotic complexes**

Виконавець: ст. гр. ПМ-22М-3

_____ Роман ЛИСЕНКО

Керівник: к.т.н., доцент

_____ Віталій МАЖАРА

Рецензент: к.т.н., доцент

_____ Альона КРОПІВНА

Завідувач кафедри ММР

_____ Андрій ГРЕЧКА

Центральноукраїнський національний технічний університет

СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА «МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАТРОНИКИ І РОБОТОТЕХНІКИ»

Освітній ступінь МАГІСТР

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 131 «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

“ ” 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Лисенку Роману Олександровичу

(ПРИЗВИЩЕ, ІМ'Я, ПО БАТЬКОВІ)

1. Тема роботи: «Розробка технології обробки маточини P00014 з проведенням структурно-морфологічного аналізу токарних роботизованих комплексів»
«Development of the technology for machining the P00014 hub with structural and morphological analysis of turning robotic complexes»

керівник роботи: к.т.н., доц. Мажара Віталій Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ” 20__ року №__

2. Строк подання роботи

3. Вихідні дані до роботи

3.1. Креслення деталі маточина P00014

3.2. Технічні вимоги на виготовлення деталі

3.3. Річна програма випуску причепів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загальна частина

2 Технологічна частина

3 Конструкторська частина

4 Дослідна частина

5 Економічна частина

5. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	к.е.н., доц. Журило І.В.		

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Загальна частина	18.09.2023р.	
2	Технологічна частина	15.10.2023р.	
3	Конструкторська частина	06.11.2023р.	
4	Дослідна частина	27.11.2023р.	
5	Економічна частина	15.12.2023р.	
6	Розробка графічного матеріалу	05.01.2024р.	

Здобувач вищої освіти _____ Роман ЛИСЕНКО

Керівник роботи _____ Віталій МАЖАРА

АНОТАЦІЯ

на випускн у кваліфікаційну роботу здобувача гр. ПМ(ТМ)-22М-3

Лисенка Романа Олександровича

Кваліфікаційна робота на тему: “Розробка технології обробки маточини П00014 з проведенням структурно-морфологічного аналізу токарних роботизованих комплексів” містить 76 сторінок, 8 плакатів графічного матеріалу та комплект технологічної документації в додатках.

У роботі виконаний аналіз діючого на базовому підприємстві технологічного процесу механічної обробки маточини П00014, визначені його недоліки та розроблені рекомендації по модернізації.

Проведені аналіз точності та технологічності деталі, обґрунтування методів виготовлення заготовки та виконана розробка структури, змісту та керуючих програм на операціях, де використовуються верстати з ЧПК. Усі прийняті в роботі технічні та технологічні рішення підтверджуються необхідними розрахунками, наведені розрахунки припусків, режимів різання, технічно-обґрунтованих норм часу. Розроблені і розраховані затискний та контрольний пристрої.

Дослідна частина присвячена аналізу токарних роботизованих комплексів, зокрема розроблено методику проведення структурно-морфологічного аналізу токарних роботизованих комплексів; проведені дослідження з визначення критеріїв якісної оцінки будови та функціонування токарних роботизованих комплексів; виконано розподіл об’єктів роботизованих комплексів на морфологічні ознаки і складено морфологічні матриці; проведено синтез варіантів виконань двозахватних промислових робіт та роботизованих комплексів; виконано багатокритеріальний вибір раціональних структур синтезованих компонувальних схем роботизованих комплексів на основі перетину нечітких множин.

ANNOTATION

for graduation qualification work of the applicant PM-22M-3

Roman Oleksandrovich Lysenko

The qualification work on the topic : "Development of the technology for machining the P00014 hub with structural and morphological analysis of turning robotic complexes" contains 76 pages, 8 posters of graphic material and a set of technological documentation in the appendices.

In the work, the analysis of the technological process of mechanical processing of hub P00014 operating at the base enterprise was performed, its shortcomings were identified and recommendations for modernization were developed.

The analysis of the accuracy and manufacturability of the part was carried out, the justification of the methods of manufacturing the workpiece was carried out, and the development of the structure, content and control programs was carried out in operations where CNC machines are used. All technical and technological decisions made in the work are confirmed by the necessary calculations, calculations of allowances, cutting modes, and technically justified time norms are given. Clamping and control devices are developed and calculated.

The research field is dedicated to the analysis of lathe robotic complexes, in particular, the methodology of structural and morphological analysis of lathe robotic complexes has been developed; carried out studies on the definition of criteria for quality assessment of the structure and functioning of lathe robotic complexes; the division of objects of robotic complexes into morphological features was performed and morphological matrices were compiled; a synthesis of options for two-grip industrial robots and robotic complexes was carried out; a multi-criteria selection of rational structures of synthesized structural schemes of robotic complexes based on the intersection of fuzzy sets was performed.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Загальна частина	
1.1 Характеристика вузла та деталей, обраних для проектування технологічних процесів	9
1.2 Характеристика виробничої програми	11
1.3 Визначення типу виробництва	12
2 Технологічна частина	
2.1 Аналіз точності та технологічності деталі	13
2.2 Аналіз діючих технологічних процесів	15
2.3 Вибір заготовок та методів їх отримання	16
2.4 Вибір вірогідних методів та маршрутів обробки поверхонь деталей	17
2.5 Розробка маршрутів виготовлення деталі	18
2.6 Розробка структури та змісту технологічних операцій	19
2.7 Вибір затискних пристроїв	22
2.8 Вибір ріжучих інструментів	23
2.9 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів	24
2.10 Визначення припусків та операційних розмірів деталей	25
2.11 Розрахунок режимів різання	25
2.12 Технічне нормування операцій	28
3 Конструкторська частина	
3.1 Розробка конструкції затискного пристрою	30
3.2 Розробка конструкції контрольного пристрою	34
3.3 Розрахунок ріжучого інструменту	36
4 Дослідна частина	
4.1 Вступ	40
4.2 Методика проведення структурно-морфологічного аналізу токарних РТК	41
4.3 Загальні особливості структурного дослідження РТК	43
4.4 Розподілення об'єктів на морфологічні ознаки і складання морфологічних матриць	44
4.5 Синтез варіантів виконань ДПР та РТК	47

4.6 Багатокритеріальний вибір раціональних структур синтезованих компонувальних схем РТК на основі перетину нечітких множин	55
4.7 Висновки	59
5 Економічна частина	
5.1 Аналіз варіантів технологічного процесу	60
5.2 Розрахунок планової цехової собівартості	70
5.3 Планування підсумкових техніко-економічних показників	72
Висновки	74
Література	75

ВСТУП

Модернізація дає можливість підприємству за короткий термін переоснастити своє виробництво високопродуктивним спеціальним обладнанням, використовуючи при цьому наявне, несучи при цьому порівняно невеликі економічні витрати та скорочуючи час освоєння випуску нової продукції.

Саме в таких умовах у нинішній час знаходиться і завод-фірма «ОСЬ» яке, освоюючи нові ринки збуту своєї продукції, зіткнулося з проблемою необхідності її видозміни, зняттям з виробництва виробів, що не користуються нині попитом, і заміною їх новими виробами, а у зв'язку з цим і з проблемою ефективного використання великої кількості металообробного обладнання, пристосуванням його для виробництва нової продукції. Тому модернізація наявного обладнання, створення на базі виведених із експлуатації верстатів нових, з новими, потрібними виробництву технологічними можливостями є надзвичайно актуальною технічною проблемою.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика вузла та деталей, обраних для проектування технологічних процесів

Причеп одноосний П-3,5М (рис. 1.1) призначений для транспортування різних вантажів. Одноосні причепа є одними з найбільш широко використовуваних видів автомобільних причепів. Причеп П-3,5М є колісним транспортним засобом з однією віссю, яку не обладнано силовою установкою та гальмівною системою.



Рисунок 1.1 – Причеп одноосний П-3,5М

Технічні характеристики причепа одноосного П-3,5М:

1. Маса причепа, кг	250
2. Маса вантажу, кг	750±20
3. Габаритні розміри кузова, мм	
- довжина	2450
- ширина	1560
- висота погрузки	500
- колія колес	1800

Деталь маточина П00014 (поз. 8) входять до складу підшипникового вузла колеса (рис. 1.2). Колісний міст причепа являє собою трубчасту вісь, у яку з двох сторін посаджені з натягом вали поз. 11. На них, через роликові однорядні підшипники двох типорозмірів поз. 7 та 9, надіті маточини поз. 8.

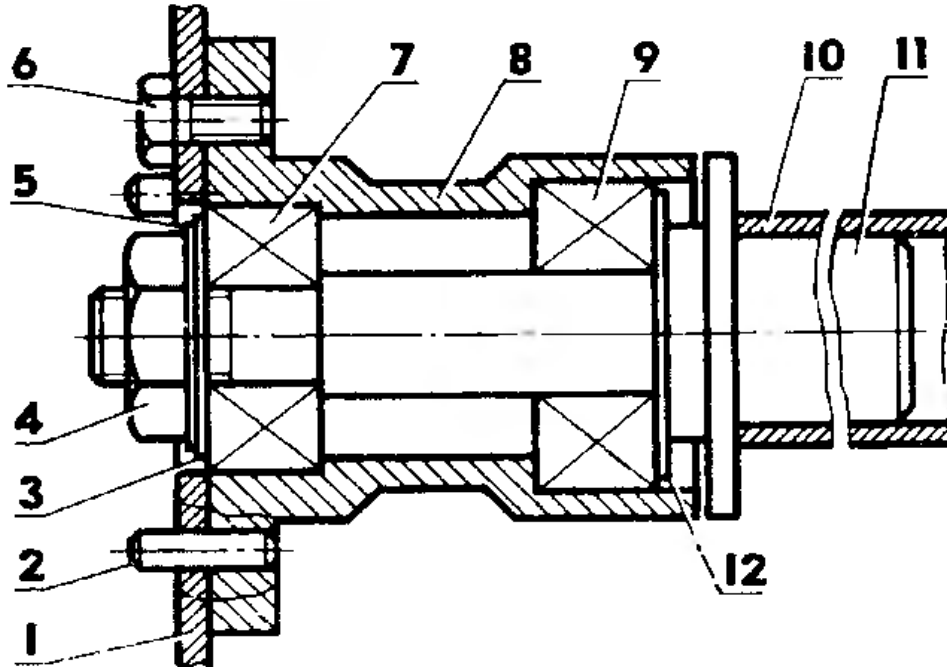


Рисунок 1.2 – Підшипниковий вузол колеса причепа П-3,5М:

1 – диск колеса; 2 – штифт центруючий; 3, 12 – пильники; 4 – гайка М24 (ліва); 5 – шайба; 6 – болт; 7 – підшипник 7605; 8 – маточина; 9 — підшипник 7606; 10 – вісь моста; 11 – вал.

Підшипникові вузли захищені з обох сторін пильниками поз. 3 та 12. Міст закріплено до поздовжніх балок рами за допомогою п'ятилистових ресор.

1.2 Характеристика виробничої програми

Річна програма випуску причепів $N_v=800$ штук. Оскільки до складу одного причепа входить по дві деталі маточини П00014, то $N_m = 1600$ шт.

При проектуванні технологічного процесу механічної обробки деталі врахуємо збільшення програми випуску на величину запасних частин, які складають 20% від заданої програми, а також величину втрат від технологічно неминучого браку та величину приросту об'єму виробництва в плануємому році, що становить 4% від заданої програми.

Характеристика виробничої програми проектного цеху приведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Подетальна річна програма механічного цеху

Назва виробу	Маса одного виробу, кг	Річна програма випуску	
		штук	тон
Причеп П-3,5М	250	800	200
Маточина П00014	2,78	1600	4,448

1.3 Визначення типу виробництва

Тип виробництва визначаємо по коефіцієнту закріплення операції K_{30} за допомогою комп'ютерної програми. Результати приведені нижче.

Розрахунок типу виробництва

Маточина П00014

Вихідні дані			
Програма випуску 1600			
Номер операції	Дійсний річний фонд часу роботи обладнання	Штучний час	
5	3977	3.8560	
10	3977	6.4520	
15	3977	0.9640	
20	3977	1.4740	
25	3977	1.0860	
30	3977	2.1910	

Результати розрахунку			
Номер операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Кількість операцій на даному верстаті
5	0.0323	1	24.75
10	0.0541	1	14.79
15	0.0081	1	99.01
20	0.0124	1	64.75
25	0.0091	1	87.89
30	0.0184	1	43.56

коефіцієнт закріплення операцій 35.79445

Тип виробництва – дрібносерійний

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз точності та технологічності деталі

Деталь маточина П00014 виготовляється з ковкого чавуну КЧ33-8-ф за ГОСТ 1215-79. Підвищені вимоги що до точності і шорсткості в даній деталі пред'являється до найбільш відповідальних по службовому призначенню отворів $\varnothing 62K7(^{+0,009}_{-0,021})$ та $\varnothing 72K7(^{+0,009}_{-0,021})$. Ці отвори є посадочними місця для підшипників кочіння. До цих отворів також висунуто вимогу по забезпеченню їх співвісності $\textcircled{\text{C}} 0.04 \text{ Г}$, Г – вісь деталі.

Допуски на всі інші поверхні на перевищують 11 – 12 квалітету точності.

Отвори для кріплення диску колеса до деталі повинні бути оброблені за умовою $\textcircled{\text{A}} 0.5$, відносно торцевої поверхні. Також до обробки цих отворів висунуто вимогу щодо позиційного допуску – $\textcircled{\text{P}} 0.8$.

На інші поверхні деталь вимог не має.

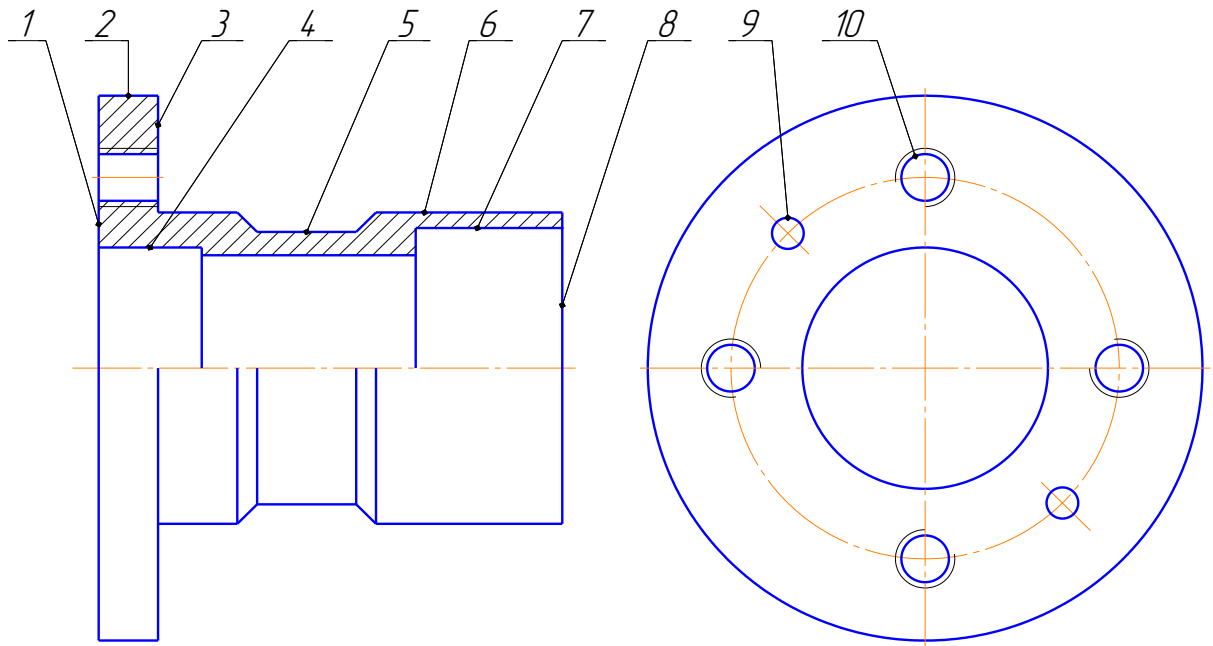


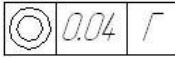
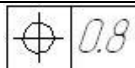
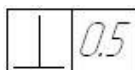
Рисунок 2.1 – Оброблювані поверхні в деталі маточина П00014

Деталь маточина не має важкодоступних ділянок для механічної обробки. Вона є досить жорсткою, що дозволяє вести обробку високопродуктивними методами. В цілому деталь є технологічною.

З проведеного аналізу креслення деталі можна зробити висновок, що постановка розмірів на кресленні виконана вірно, технологічних вимог задано достатньо, класи точності, шорсткість та допуски обумовлені службовим призначенням деталі та позначенні на кресленні технологічно досягаємі.

Вимоги до взаємного розміщення поверхонь знаходяться в межах, що встановлені квалітетами.

Таблиця 2.1 – Параметри точності деталі маточина

№	Найменування поверхні	Розміри з відхиленням	Квалітет	Точність відносних поворотів	Точність форми	R _a
1,3	Фланець	15±0,09	js12	-	-	6,3
2	Зовнішня циліндрична	Ø140 _{-0,63}	h13	-	-	6,3
4	Внутрішня циліндрична	Ø62 ^{+0,009} _{-0,021}	K7		-	2,5
5	Канавка	Ø70 _{-0,3}	h12	-	-	6,3
6	Зовнішня циліндрична	Ø80 _{-0,3}	h12	-	-	6,3
7	Внутрішня циліндрична	Ø72 ^{+0,009} _{-0,021}	K7		-	2,5
8, 1	Торці	117 _{-0,22}	h11	-	-	6,3
9	Отвір	Ø8 ^{-0,015} _{-0,037}	P8	-	-	3,2
10	Отвір з різью	M12	7H	 	-	3,2

2.2 Аналіз діючих технологічних процесів

Технологічний процес механічної обробки виготовлення маточини П00014 складається з шести операцій механічної обробки.

Позитивною ознакою даного технологічного процесу є те, що порядок розміщення операцій та обладнання дозволяє отримати відповідну точність та якість поверхонь. Вказаний на виготовлення матеріал задовольняє експлуатаційним вимогам та її службовому призначенню.

В технологічному процесі застосовується високопродуктивне обладнання та ріжучий інструмент. Заготовкою для деталі маточина, слугує відливка, що зменшує припуски і відповідає даному типу виробництва.

Вибір чорнових та чистових баз виконано вірно. Додержуються принципи єдності і постійності баз. В якості конструкторської та технологічної бази на більшості операцій використано вісь деталі.

Негативним фактором в діючому технологічному процесі є використання на усіх операціях універсальних верстатів (токарно-гвинторізних 16K20, вертикально свердлильних 2Н135 та різенарізного 2056). Використання таких верстатів є характерним для умов одиничного типу виробництва. В умовах серійного типу виробництва доцільніше використовувати верстати з числовим програмним керуванням, оскільки вони забезпечують значно вищу продуктивність праці одночасно з достатньою гнучкістю виробництва при переході на випуск іншої продукції. При проектуванні нового технологічного процесу, планується замінити токарні верстати 16K20 на сучасні токарні обробні центри з ЧПК фірми HAAS SL-20. Для обробки отворів на фланці планується використовувати свердлильний обробний центр з ЧПК Rapidrill 500 фірми Faupс. Впровадження сучасного обладнання дозволить підвищити продуктивність праці.

Базовий технологічний процес обробки маточини П00014 наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Базовий технологічний процес обробки маточина

№ операції	Найменування операції	Модель обладнання	T _{шт} , хв
005	Токарногвинторізна	16K20	3,856
010	Токарногвинторізна	16K20	6,452
015	Вертикально-свердлильна	2Н135	0,964
020	Вертикально-свердлильна	2Н135	1,474
025	Різенарізна	2056	1,086
030	Алмазно-розточна	ОС2754	2,191

2.3 Вибір заготовок та методів їх отримання

Маточина виготовляється з ковкого чавуну КЧ33-8-ф за ГОСТ 1215-79. Вибір матеріалу обумовлений умовами експлуатації та службовим призначенням деталі. Обираємо для отримання вилівка метод лиття у піщану форму.

Даний метод отримання заготовки відповідає даному типу виробництва, конфігурації деталі та її матеріалу. Креслення заготовки маточини наведено у графічній частині роботи. Хімічний склад та механічні властивості матеріалу представлено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Хімічний склад та механічні властивості матеріалу маточини

Марка матеріалу	Хімічний склад речовини, %					Механічні властивості	
	C	Mn	Si	S	P	σ_b , МПа	δ , %
КЧ33-8-ф	2,5-2,9	0,4-0,6	1,0-1,6	до 0,2	до 0,18	323	8

2.4 Вибір вірогідних методів та маршрутів обробки поверхонь деталей

Для зручності сприйняття зведемо можливі методи обробки поверхонь деталі маточина до таблиці.

Таблиця 2.4 – Зведена таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь деталі маточина

№ пов	Допуск на поверхню δ_d , мм	Допуск на заготовку δ_z , мм	Загальне уточнення, E_z	Шорсткість поверхні, мкм	Можливі варіанти маршрутів обробки		Допуск на методи обробки	Уточнення по кожному переходу
					№	Зміст маршруту		
1, 3	0,18	1,2	6,67	6,3	1	Точіння одноразове	0,18	6,67
2	0,63	1,0	1,59	6,3	1	Точіння одноразове	0,63	1,59
4	0,03	0,8	26,7	2,5	1	Розточування чорнове	0,19	4,21
						Розточування чистове	0,074	2,57
						Розточування тонке	0,03	2,47
					2	Розточування чорнове	0,3	2,67
						Розточування чистове	0,12	2,5
						Розточування тонке	0,046	2,61
						Шліфування	0,03	1,54
5	0,3	-	-	6,3	1	Точіння канавки	0,3	-
6	0,3	0,8	2,67	6,3	1	Точіння одноразове	0,3	2,67
5	0,03	0,8	26,7	2,5	1	Розточування чорнове	0,19	4,21
						Розточування чистове	0,074	2,57
						Розточування тонке	0,03	2,47
8	0,22	1,2	5,45	6,3	1	Точіння одноразове	0,22	5,45
9	0,022	-	-	3,2	1	Свердління отворів	0,09	-
						Розверчування отворів	0,022	4,09
10	0,08	-	-	3,2	1	Свердління отвору	0,11	-
						Нарізання різі	0,08	1,38

2.5 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут обробки маточини П00014:

005 Токарна з ЧПК

Верстат - токарний обробний центр з ЧПК SL-20 фірми HAAS

1. Встановити деталь;
2. Точити торець;
3. Точити поверхню $\varnothing 140h13$;
4. Розточити отвір $\varnothing 60H11$ начорно;
5. Розточити отвір $\varnothing 61,5H9$ начисто;
6. Зняти деталь.

010 Токарна з ЧПК

Верстат - токарний обробний центр з ЧПК SL-20 фірми HAAS

1. Встановити деталь;
2. Точити торець;
3. Точити поверхню $\varnothing 80h12$;
4. Точити канавку;
5. Розточити отвір $\varnothing 70H11$ начорно;
6. Розточити отвір $\varnothing 71,5H9$ начисто;
7. Зняти деталь.

015 Свердлильна з ЧПК

Верстат - вертикально-свердлильний з ЧПК Rapidrill 500 фірми Fanuc

1. Встановити деталь;
2. Свердлити чотири отвори $\varnothing 10,25$ мм;
3. Свердлити два отвори $\varnothing 7,5$ мм;
4. Розвернути два отвори $\varnothing 8$ мм;
5. Нарізати різь M12 у чотирьох отворах;
6. Зняти деталь.

025 Алмазно-розточна

Верстат - алмазно-розточний OC2754

1. Встановити деталь;

2. Розточити отвір Ø72K7;
3. Перевстановити деталь на другу позицію;
4. Розточити отвір Ø62K7;
5. Зняти деталь.

025 Слюсарна
Верстак

1. Спиляти заусенці.
- 030 Контрольна.
1. Контролювати розміри деталі.

2.6 Розробка структури та змісту технологічних операцій

Розробимо структуру та зміст операцій техпроцесу маточини і наведемо дані в таблиці 2.5.

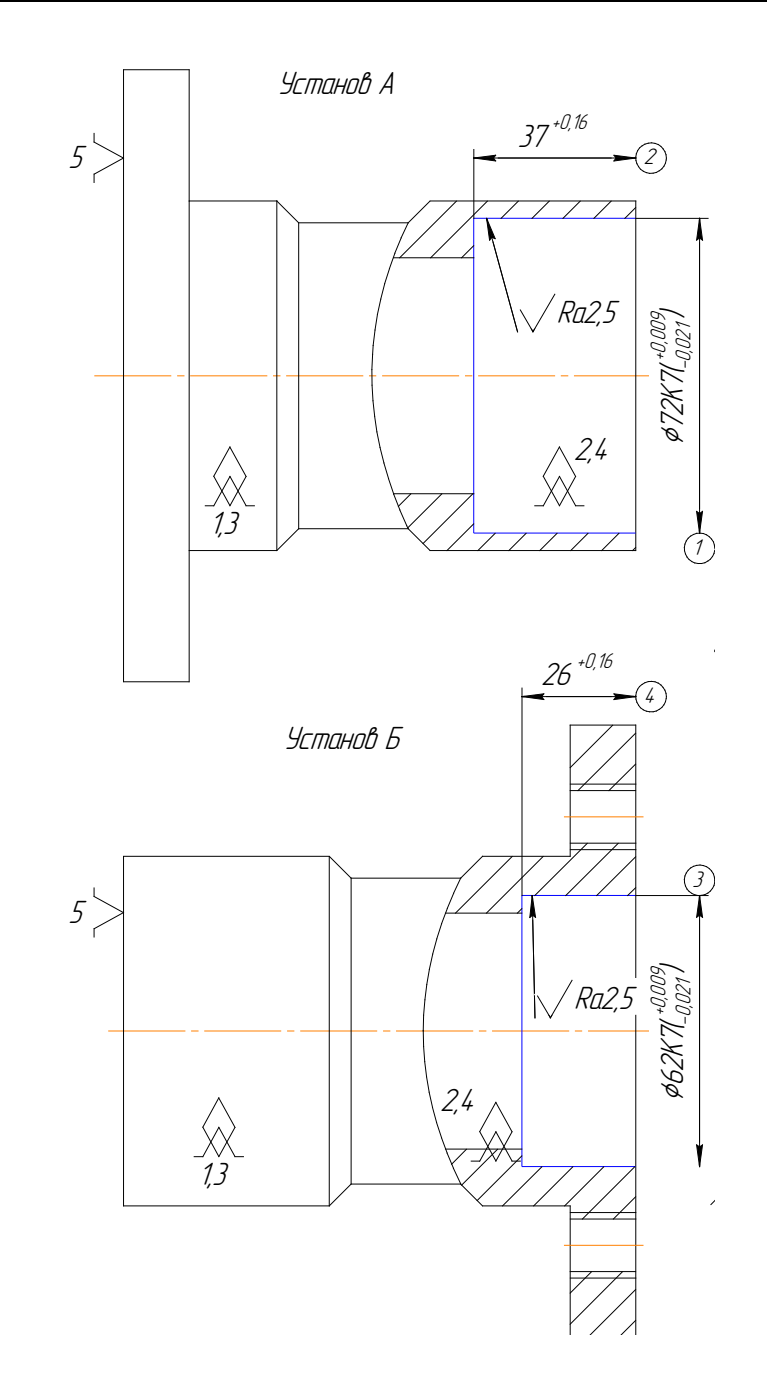
Таблиця 2.5 – Маршрут обробки корпусу

№ опер	Верстат	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
005 Токарна з ЧПК	Токарний обробний центр з ЧПК SL-20 фірми HAAS		1. Встановити деталь; 2. Точити торець витримавши розмір 1; 3. Точити зовнішню поверхню витримавши розмір 2; 4. Розточити отвір начорно, витримавши розміри 4, 3; 5. Розточити отвір начисто, витримавши розміри 3, 5; 6. Зняти деталь.

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4
010 Токарна з ЧПК	Токарний обробний центр з ЧПК SL-20 фірми HAAS		1. Встановити деталь; 2. Точити торець витримавши розмір 1; 3. Точити поверхню витримавши розмір 2; 4. Точити канавку витримавши розміри 4, 5, 6; 5. Розточити отвір начорно, витримавши розміри 7, 9; 6. Розточити отвір начисто, витримавши розміри 8, 9; 7. Зняти деталь.
015 Свердлильна з ЧПК	Вертикально-свердильний з ЧПК Rapidrill 500 фірми Fanuc		1. Встановити деталь; 2. Свердлити чотири отвори, витримавши розміри 1, 2, 3; 3. Свердлити два отвори, витримавши розміри 3, 5, 7; 4. Розвернути два отвори, витримавши розміри 3, 6, 7; 5. Нарізати різь, витримавши розміри 2, 3, 8; 6. Зняти деталь.

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4
025 Алмазно-розточна	Алмазно-розточний ОС2754		1. Встановити деталь; 2. Розточити отвір, витримавши розміри 1, 2; 3. Перевстановити деталь на другу позицію; 4. Розточити отвір, витримавши розміри 3, 4; 5. Зняти деталь.

Таблиця 2.6 – Металорізальні верстати для обробки маточини

№ опер.	Верстат	Діапазон частот обертання шпинделя	Діапазон подач	Габаритні розміри, мм довжина х ширина х висота	Маса верстату, т	Потужність двигуна, кВт
005	Токарний обробний	10-4000	б/с	3210x1880x1780	4,08	15
010	центр HAAS SL-20					
015	Вертикально-свердлильний з ЧПК Rapidrill 500	10-8000	1-4000	1100x2184x2330	1,44	6,2
020	Алмазно-розточний ОС2754	63-2500	0,01-2,0	2050x1800x2000	3,1	3,5

2.7 Вибір затискних пристроїв

Після вибору обладнання, необхідно наступним етапом встановити, які затискні пристрої у відповідності з операційними ескізами необхідні для виконання операцій, згідно прийнятих технологічних процесів механічної обробки деталі маточина П00014.

Таблиця 2.7 – Затискні пристрої для обробки деталі

№ перації	Найменування пристосування	Стандарт (код)	Вид приводу
005	Патрон VITAGANA B-210	-	Гідравлічний
010	Патрон VITAGANA B-210	-	Гідравлічний
015	Пристрій свердлильний	спец.	Пневматичний
020	Пристрій розточний	0253-1488	Гідравлічний

2.9 Вибір ріжучого інструменту

Ріжучий інструмент на операціях обираємо з урахуванням обраного верстату, поверхні яка обробляється, методу та стадії обробки (чорнова, чистова) типу виробництва, ріжучих властивостей та стійкості інструменту. На операціях, де обробка ведеться на оброблюючих центрах HAAS та Rapidrill використовуємо ріжучий інструмент фірми Iscar.

Таблиця 2.8 – Ріжучий інструмент для механічної обробки маточини

№ опер	№ пер.	Назва інструменту	Стандарт (код)	Ріжуча частина	
				Матеріал	ГОСТ
005	2, 3	Різець контурний: державка	MULNR2525M15 WNMG08...WG BNR MB50x100 CCMT 09T304 BNR MB50x100 CCMT 09T304	-	-
	4	пластина		IC 9015	DIN/ISO513
	5	Головка розточна		-	-
	5	пластина		IC 9025	DIN/ISO513
010	2, 3	Різець контурний: державка	MULNR2525M15 WNMG08...WG MAHR 25 GIG 1.50-0.10 BNR MB50x100 CCMT 09T304 BNR MB50x100 CCMT 09T304	-	-
	4	пластина		IC 9015	DIN/ISO513
	5	Різець контурний: державка		-	-
	5	пластина		IC 908	DIN/ISO513
	5	Головка розточна	BNR MB50x100 CCMT 09T304 BNR MB50x100 CCMT 09T304	-	-
	6	пластина		IC 9025	DIN/ISO513
	6	Головка розточна		-	-
	6	пластина		IC 9025	DIN/ISO513
015	2	Мітчик M12	17927-72	P6M5	19265-73
020	2	Борштанга Ø72	2556-5689	BK8	3882-74
	4	Борштанга Ø62	2556-5690	BK8	3882-74

2.10 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Засоби технічного контролю технічних операцій обирають з урахуванням точності вимірювання, розміру, якості вимірювальної поверхні.

Таблиця 2.9 – Вимірювальний інструмент для контролю деталей

№ опер	№ пер.	Параметр деталі, що контролюється	Найменування інструменту	Стандарт (код)
005	2	Лінійний розмір $119,5 \pm 0,1$ Діаметральні розміри:	Штангенциркуль	166-80
	3	$\varnothing 140_{-0,63}$	Калібр-скоба 140h13	8551-75
	5	$\varnothing 61,5^{+0,074}$	Калібр-пробка 61,5H9	14810-69
010	2	Лінійний розмір $119,5 \pm 0,1$ Діаметральні розміри:	Штангенциркуль	166-80
	3	$\varnothing 80_{-0,3}$	Калібр-скоба 80h12	8551-75
	4	$\varnothing 70_{-0,3}$	Калібр-скоба 70h12	8551-75
	6	$\varnothing 71,5^{+0,074}$	Калібр-пробка 71,5H9	14810-69
015	4	Отвір $\varnothing 8^{-0,015}_{-0,037}$	Калібр-пробка 8P8	14810-69
	5	Різь М12	Пробка різьова М12	17761-72
020	2	Отвір $\varnothing 72^{+0,009}_{-0,021}$	Калібр-пробка 72K7	14810-69
	4	Отвір $\varnothing 62^{+0,009}_{-0,021}$	Калібр-пробка 62K7	14810-69

2.10 Визначення припусків та операційних розмірів деталі

Припуски визначаємо по нормативним даним і заносимо їх до таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Припуски на обробку деталей

№ поверхні	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск $Z_{\min}$ (мм)	Технологічний допуск, мм
1, 3	Фланець	Точіння одноразове	2,5	0,18
2	Зовнішня циліндрична	Точіння одноразове	3,0	0,63
4	Внутрішня циліндрична	Розточування чорнове	3,0	0,3
		Розточування чистове	0,75	0,12
		Розточування тонке	0,25	0,03
5	Канавка	Точіння канавки	5,0	0,3
6	Зовнішня циліндрична	Точіння одноразове	3,0	0,3
7	Внутрішня циліндрична	Розточування чорнове	8,0	0,3
		Розточування чистове	0,75	0,12
		Розточування тонке	0,25	0,03
8	Торці	Точіння одноразове	2,5	0,22
9	Отвір	Свердління	3,75	0,09
		Розверчування	0,25	0,022

2.11 Розрахунок режимів різання

Аналітичним методом визначаємо режими різання для деталі маточина П00014 на 020 операцію алмазно-розточну.

Діаметр обробки на другому переході – $\varnothing 72^{+0,009}_{-0,021}$ мм, на четвертому переході – $\varnothing 62^{+0,009}_{-0,021}$ мм.

Шорсткість – $R_a=2,5$ мкм.

Глибина різання – 0.25мм;

Кількість проходів – $i = 1$;

Подачу вибираємо в залежності від параметрів оброблюваної поверхні

$$S_T = 0,1 \text{ мм/об};$$

Корегуємо значення подачі по паспортним даним верстату ОС2754 і приймаємо: $S_\phi = 0,1 \text{ мм/об}$.

Швидкість різання для обробки поверхні визначаємо за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{X_v} \cdot s^{Y_v}} \cdot K_v,$$

де C_v - стала; X_v , Y_v , m - показники ступеню;

K_v - поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv},$$

де K_{mv} – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу; K_{nv} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні; K_{iv} – коефіцієнт, що враховує якість інструментального матеріалу,

$$K_v = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8.$$

Період стійкості інструменту $T=60\text{хв}$.

Таким чином швидкість різання складає:

$$V = \frac{292}{60^{0,2} \cdot 0,25^{0,15} \cdot 0,1^{0,2}} \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 180,9 \text{ м/хв.};$$

Частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D},$$

де D - діаметр обробки (72 мм).

$$n_p = \frac{1000 \cdot 180,9}{3,14 \cdot 72} = 800,1 \text{ об/хв.}$$

Корегуємо за паспортом верстата і користуючись практичними рекомендаціями приймаємо $n_{пр} = 800 \text{ об/хв}$.

Фактичну швидкість різання визначаємо за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}.$$

$$\text{для другого переходу: } V = \frac{3,14 \cdot 72 \cdot 800}{1000} = 180,9 \text{ м/хв.}$$

$$\text{для четвертого переходу: } V = \frac{3,14 \cdot 62 \cdot 800}{1000} = 155,7 \text{ м/хв.}$$

Виконаємо перевірку вибраних режимів різання по потужності привода головного руху верстату.

Визначимо складову силу різання, яка створює основне навантаження на привод верстату і інструмент.

$$P_z = 10 C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V_\phi^n \cdot K_p;$$

Обираємо сталу C_p та показники ступеню x , y , n для конкретних умов обробки: $C_p = 92$; $x = 1$, $y = 0,75$, $n = 0$.

Визначаємо поправочний коефіцієнт

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{zp} = 1 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,87 = 0,85.$$

$$P_z = 10 \cdot 92 \cdot 0,25^1 \cdot 0,1^{0,75} \cdot 180,9^0 \cdot 0,85 = 34,8 \text{ Н.}$$

Визначаємо потужність різання:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V_\phi}{1020 \cdot 60} = \frac{34,8 \cdot 180,9}{1020 \cdot 60} = 0,1 \text{ кВт.}$$

Виконуємо перевірку по потужності приводу верстату

$$N_{\text{різ}} \leq 1,2 \cdot N_{\text{дв}} \cdot \eta;$$

$$N_{\text{дв}} = 3,5 \text{ кВт}; \quad \eta = 0,8;$$

$$N_{\text{різ}} \leq 1,2 \cdot 3,5 \cdot 0,8 = 3,36 \text{ кВт};$$

Потужність різання не перевищує потужності привода головного привода верстата.

Основний час визначаємо за формулою:

$$T_o = \frac{L}{s \cdot n} \cdot i,$$

де i - кількість проходів; L - довжина робочого ходу:

$$L = l + l_1 + l_2,$$

де l - довжина оброблюваної поверхні; l_1 - довжина врізання; l_2 - довжина перебігу (при обробці в упор $l_3=0$).

Основний час на обробку:

$$T_o = \frac{3.0 + 37}{0.1 \cdot 800} = 1,388 \text{ хв.}$$

На решту операцій елементи режимів різання визначаємо за нормативними даними. Визначені величини елементів режимів різання заносимо до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Зведена таблиця режимів різання на операції механічної обробки

Номер		L _{р.х.} , мм	t, мм	S, мм/об (мм/хв)	V, м/хв	n, об/хв	t _o , хв
операції	переходу						
005	2	52	2,5	0,2	183,4	400	0,65
	3	23	3,0	0,2	175,8	400	0,288
	4	29	3,0	0,2	94,2	500	0,29
	5	29	0,75	0,15	115,9	600	0,322
010	2	22	2,5	0,2	135	500	0,22
	3	138	3,0	0,25	125,6	500	1,104
	4	30 (i=2)	2,5	0,2	125,6	500	0,6
	5	40 (i=3)	2,7	0,2	109,9	500	1,2
	6	40	0,75	0,15	134,7	600	0,444
015	2	22 (i=4)	5,1	0,3	25,75	800	0,367
	3	22 (i=2)	3,75	0,3	18,84	800	0,183
	4	22 (i=2)	0,25	0,25	12,56	500	0,352
	5	44 (i=4)	0,5	1,75	9,42	250	0,402
020	2	40	0,25	0,1	180,9	800	1,388
	4	40	0,25	0,1	155,7	800	

2.13. Технічне нормування операцій

Виконаємо розрахунок штучно-калькуляційного часу для 020 операції алмазно-розточної, обробки маточини.

Основний технологічний час операції: $t_0 = 1,388$ хв.

Визначаємо допоміжний час, який складається з:

- часу на встановлення та закріплення деталі: $t_{д1} = 0,18$ хв.

- додатковий час пов'язаний з операцією: $t_{д2} = 0,15 + 0,15 = 0,3$ хв.

- час на контрольні вимірювання: $t_{д3} = 0,17$ хв.

Визначаємо допоміжний час на операцію:

$$T_d = t_{д1} + t_{д2} + t_{д3} = 0,18 + 0,3 + 0,17 = 0,65 \text{ хв.}$$

Час на організаційні та технічне обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, визначаємо в відсотках від оперативного часу:

$$\alpha_{\text{тех}} + \alpha_{\text{орг}} + \alpha_{\text{осп}} = 7,5\% ;$$

Визначаємо норму штучного часу:

$$T_{\text{шт}} = (T_o + T_d) \cdot \left(1 + \frac{\alpha_{\text{тех}} + \alpha_{\text{орг}} + \alpha_{\text{осп}}}{100}\right) = (1,388 + 0,65) \cdot \left(1 + \frac{7,5}{100}\right) = 2,191.$$

Визначаємо норму штучно-калькуляційного часу:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n},$$

де $T_{\text{пз}}$ – підготовчо-заключний час; n – програма запуску деталей.

Визначаємо підготовчо-заключний час:

$$T_{\text{пз}} = 15 + 7 = 22 \text{ хв};$$

Визначаємо норму штучно-калькуляційного часу:

$$T_{\text{шт-к}} = 2,191 + \frac{22}{250} = 2,279 \text{ хв.}$$

Таблиця 2.12 – Результати технічного нормування операцій механічної обробки деталі

№ операції	t_0 , хв	t_d , хв	$t_{\text{т.о.}}$, хв	$t_{\text{о.о.}}$, хв	$t_{\text{відп.}}$, хв	$t_{\text{шт.}}$, хв	$T_{\text{п.з.}}$, хв	$t_{\text{шт.к.}}$, хв
005	1,55	0,85	0,06	0,048	0,072	2,58	24	2,676
010	3,568	1,06	0,116	0,093	0,139	4,976	24	5,072
015	1,304	0,98	0,057	0,046	0,069	2,456	20	2,536
020	1,388	0,65	0,153			2,191	22	2,279

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Розробка конструкції затискного пристрою

Затискний пристрій призначений для закріплення деталі маточина П00014 на операції 020 алмазно-розточній, яка виконується на алмазно-розточувальному верстаті моделі ОС2754. На даній операції виконується кінцеве розточування двох отворів $\varnothing 72^{+0,009}_{-0,021}$ мм та $\varnothing 62^{+0,009}_{-0,021}$ мм. При цьому пристрій є двопозиційним, на одній позиції ведеться обробка отвору $\varnothing 72$ мм, а на іншій – $\varnothing 62$ мм.

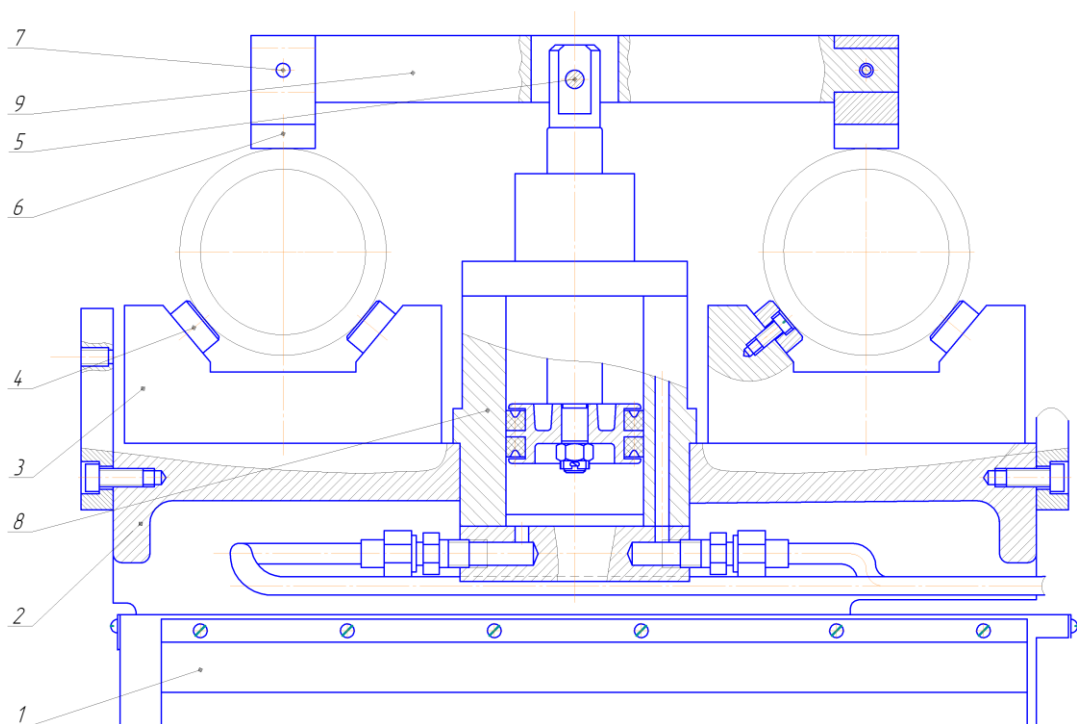


Рисунок 3.1 – Схема затискного пристрою:

1 – основа; 2 – корпус; 3 – призми; 4 – опори; 5 – вісь; 6 – притискні елементи;
7 – вісь; 8 – пневмоциліндр; 9 – коромисло.

Затискний пристрій складається з корпусу 2 (рис. 3.1), який кріпиться до основи 1, що закріплена на столі верстата за допомогою болтів. На корпусі 2 встановлено дві призми 3 (оскільки затискається одночасно дві деталі). Деталі опираються зовнішньою циліндричною поверхнею на опори 4.

До корпусу 2 приєднано гідроциліндр 8, шток якого за допомогою вісі 10 з'єднаний з коромислом 9, на якому за допомогою вісі 7 закріплені притискні елементи 6.

Затискний пристрій працює наступним чином. Деталі встановлюються на призми. Робоча рідина подається в штокову порожнину гідроциліндра 8, при цьому шток разом із коромислом 9 і притискними елементами рухається вниз і відбувається затиск деталей. Далі відбувається одночасне розточування отворів у двох корпусах. Після обробки отворів у двох деталях, робоча рідина подається в безштокову порожнину гідроциліндра 8 і відбувається розтискання деталей.

3.1.2 Розрахунок сили затиску деталі

При конструюванні затискного пристрою необхідно знайти силу затиску, яка визначається із умови рівноваги заготовки під дією сил різання, сил тяжіння, інерції, тертя, реакції в опорах та сили затиску.

Схема затиску деталі, із зазначенням точки прикладання сили затиску та її напрямком, та вказанням сил різання, сил тертя, реакцій в опорах наведено на рис. 3.2.

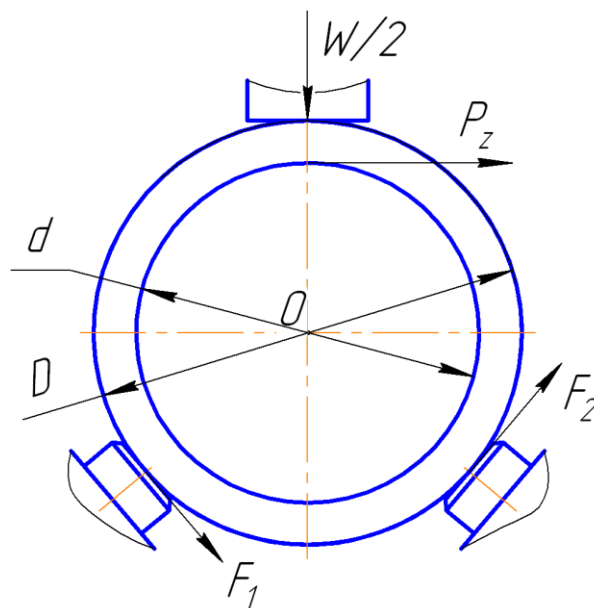


Рисунок 3.2 – Схема для розрахунку сили затиску.

Визначену силу затиску необхідно збільшити на коефіцієнт запасу.

Під дією сили різання деталей буде намагатися повернутися навколо точки O (рис. 2.2). Протистоять повертанню деталі сили тертя в опорах.

Складаємо рівняння рівноваги:

$$\sum M_o = 0.$$

$$P_z \cdot \frac{d}{2} \cdot K = (F_1 + F_2) \cdot \frac{D}{2},$$

де P_z – сила, що виникає при обробці різанням і намагається повернути деталь (сила різання $P_z = 34,8$ Н визначалася в п. 2.12 даної пояснювальної записки);

F_1 та F_2 - сили тертя в опорах.

Оскільки $F_1 = F_2 = F$, то

$$P_z \cdot \frac{d}{2} \cdot K = 2 \cdot F \cdot \frac{D}{2}.$$

F – сила тертя, що виникає між поверхнями деталі та поверхнями притискних елементів:

$$F = N \cdot f,$$

де N – нормальна сила; f – коефіцієнт тертя ($f = 0,25$).

$$N = \frac{W}{4 \cdot \sin(\alpha/2)},$$

де α – кут призми.

Тоді:

$$P_z \cdot d \cdot K = \frac{W \cdot f \cdot D}{\sin(\alpha/2)}.$$

Звідки необхідна сила затиску:

$$W = \frac{P_z \cdot K \cdot d \cdot \sin(\alpha/2)}{f \cdot D};$$

K – коефіцієнт запасу, який визначається виходячи із умов обробки:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6;$$

де K_0 – гарантований коефіцієнт запасу, $K_0 = 2,5$,

K_1 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання через зношування ріжучого інструмента: $K_1 = 1,2$.

K_2 – коефіцієнт, що враховує вид обробки (чорнова чи чистова). При чистовій $K_2 = 1,0$;

K_3 – динамічний коефіцієнт, що враховує виникаючі при деяких видах обробки удари. $K_3 = 1$;

K_4 – коефіцієнт, що враховує сталість затискного зусилля. При механізованому приводі $K_4 = 1,0$;

K_5 – коефіцієнт, що враховує зручність розміщення рукояток у ручних затискних пристроях. $K_5 = 1$;

K_6 – коефіцієнт, що враховує невизначеність положення заготовки через нерівності місця її контакту з опорними елементами (враховується лише за наявності крутного моменту, що намагається повернути заготовку). $K_6 = 1,0$.

$$K = 2,5 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 3,0.$$

Отже:

$$W = \frac{34,8 \cdot 3 \cdot 72 \cdot \sin 45^\circ}{0,25 \cdot 80} = 266 \text{ Н}.$$

Оскільки притискні елементи для обох деталей симетрично розміщені відносно вісі штоку, то $Q = W$; (тобто сила затиску відповідає силі на штоці, що створюється гідроциліндром).

Оскільки одночасно затискаються та оброблюються дві деталі, то для забезпечення утримання деталей при розточуванні, сила затиску повинна бути не менша ніж 532 Н.

3.1.3. Розрахунок параметрів силового приводу

В якості силового приводу вибираємо поршневий гідродвигун. Це обумовлено насамперед умовами обробки та конструкцією самого верстату. Приймаємо гідроциліндр двохсторонньої дії. Робочий тиск приймаємо 30 Атм.

Розраховуємо діаметр циліндра, який при заданому тиску забезпечить затиск оброблюваної деталі із розрахованою силою W .

Діаметр циліндра визначаємо за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P_g \cdot \eta} + d^2},$$

де $P_g = 30 \text{ кгс/см}^2$; η – ККД приводу, $\eta = 0,85$; d – діаметр штоку (2,4 см).

Тоді:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 53,2}{3,14 \cdot 30 \cdot 0,85}} + 2,4^2 = 4,9 \text{ см}.$$

Знайдене розрахунковим шляхом значення діаметра циліндра, округляємо до найбільшого значення із нормального ряду діаметрів, приймаємо:

$$D = 60 \text{ мм}.$$

3.1.4. Розрахунок на міцність слабкої ланки пристрою.

Слабкою ланкою в пристосуванні є штифтове з'єднання, яке з'єднує коромисло із штоком гідроциліндру.

Виконуємо розрахунок штифта $\varnothing 8$ із сталі 45.

Умова міцності штифтового з'єднання на зріз:

$$\tau = \frac{P}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \leq [\tau];$$

$$\tau = \frac{532}{\frac{3,14 \cdot 8^2}{4}} = 10,6 \text{ МПа};$$

$$[\tau] = 160 \text{ МПа};$$

Умова виконується.

3.2 Розробка конструкції контрольного пристрою

Контрольний пристрій винесено в графічну частину роботи. Він використовується для контролю співвісності двох отворів $\varnothing 72\text{K}7$ та $\varnothing 62\text{K}7$ в деталі маточина П00014. Відхилення від співвісності не повинно перевищувати 0,04 мм.

Виходячи з того, що відхилення одного отвору задано відносно другого отвору, деталь має базуватися по одному з отворів що контролюється.

Контроль будемо проводити індикатором часового типу ИЧ10 за ГОСТ 577-68 з ціною поділки 0,01 мм.

Контрольний пристрій складається з плити нижньої 1, плити верхньої 2, стійок 3, вала 4, п'яти 5, кульок 6, шайби 7, сепаратору 8, ножок 9, втулок 10 та 11, гвинта 12, важеля 13, вісі 14, щупу 15, пружини 16 опор 17 та квадрату 18.

На нижній плиті 1 на стійках 3 розміщено плиту верхню 2. В центральний отвір плити нижньої входить вал 4, що підтиснутий пружиною 28, яка притискає верхній фланець вісі до п'яти 5. Між фланцем валу 4 і п'ятою розміщені кульки в сепараторі, за допомогою яких деталь базується в пристрої.

В центральному отворі плити верхньої 2 на втулці 11 розміщено квадрат 18 в якому розміщено важіль 13, що обертається на вісі 14. До одного кінця важеля підходить головка індикатора, а на другому кінці розміщено щуп, який підтискається пружиною 16 до поверхні, що контролюється.

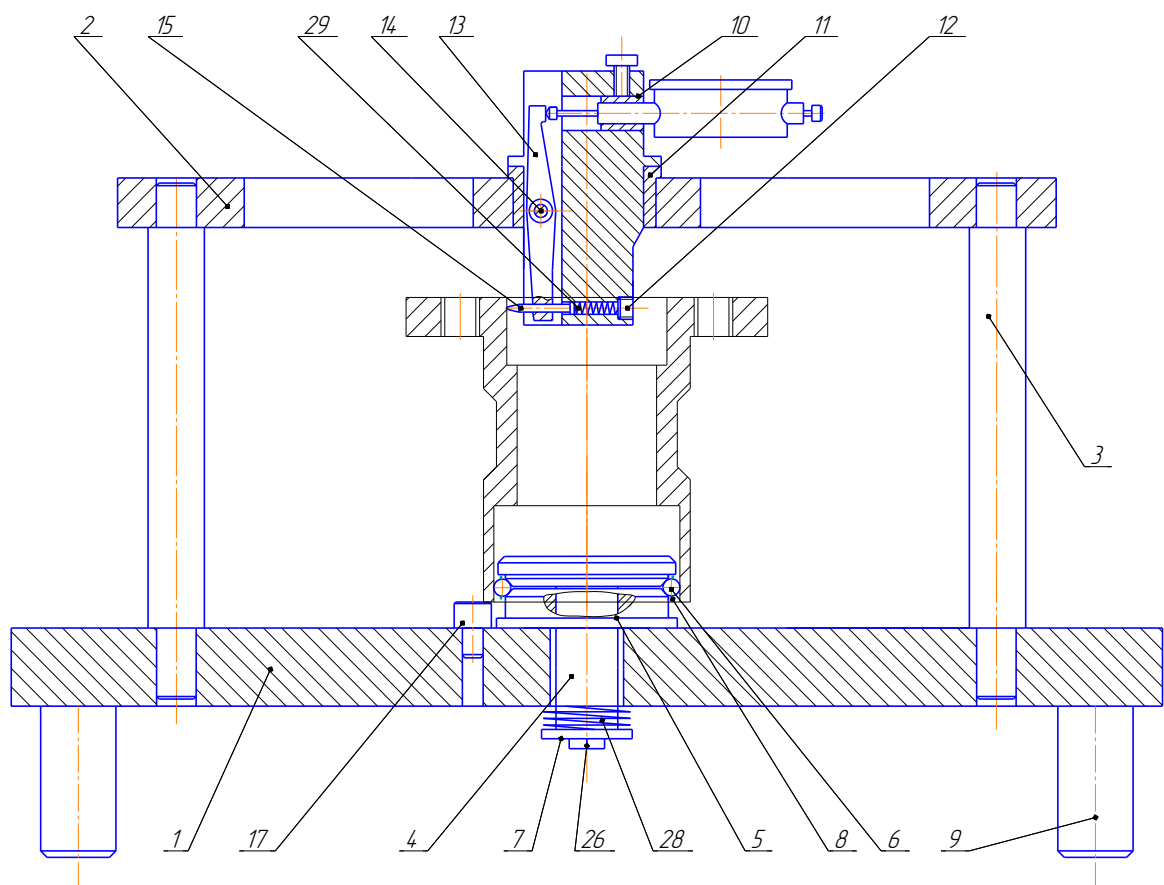


Рисунок 3.3 – Спрощена схема контрольного пристрою

Встановивши деталь на опори 17 і збазувавши її отвором Ø72 мм по кулькам, вводимо тримач з індикатором через отвір у верхній плиті 2 в контрольований отвір Ø62 мм і повертаємо навколо власної вісі не менше одного оберту. Стрілка індикатора покаже відхилення співвісності одного отвору відносно іншого.

3.3 Розрахунок ріжучого інструменту

3.3.1 Розрахунок радіального биття оправки

Для розточування отвору $\text{Ø}72^{+0.009}_{-0,021}$ мм в маточині П00014 на 020 розточувальній операції використовуються оправка з розточними різцями.

Інструментальні блоки, які встановлені в шпинделі розточувальних головок верстату мод. ОС2754 повинні забезпечити точність приводу до вильоту різальних кромek не менше, як 0,005 мм.

Биття різальних кромek інструменту в технологічній системі верстату є важливою ланкою розмірного ланцюга, яка утворена відхиленням лінійних та кутових розмірів елементів визначених інструментів.

Кутові похибки і векторні помилки елементів інструментальних блоків слід визначити шляхом приведення перекосів осей до векторного виду в площині замикаючого ланцюга за допомогою передаточних відношень.

Радіальне биття оправки визначається за формулою:

$$\bar{e}_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{\sum_1^n (e_i \cdot A_i \cdot K_i)^2}$$

де n - число елементів інструментального блоку, які впливають на точність позиціонування;

K_{Σ} – коефіцієнт відносного розсіювання;

e_i та A_i – векторні величини;

K_i – приведений коефіцієнт відносного розсіювання приєднувальних поверхонь допоміжного інструменту.

Розрахунок биття циліндричної оправки.

Вихідні данні:

- биття отвору 7:24 біля торця – 0,008 мм;
- виліт шпинделя з інструментом – 300 мм;
- биття шпинделя – 0,01 мм;
- ступінь точності виготовлення конічного хвостовика 7:24 – АТ7;
- биття конічного отвору відносно конуса 7:24 на корпусі патрона – 0,01 мм;

- биття циліндричного отвору патрона – 0,01 мм.

Радіальне биття циліндричної оправки обумовлюється такими похибками:

- биттям конічного отвору в шпинделі – 0,004 мм при $K_i=1,17$ та $A_i=1$;
- перекосом осі шпинделя при величині вильоту 300 мм, який дорівнює 0,0001/300 при $K_i = 1,09$ та $A_i = 0,53$.

- перекосом осі допоміжної втулки від похибок виготовлення конусів 7:24.

Похибка кутова 0,0025/100 при $K_i = 1,51$ та $A_i = 1,4$.

- биттям конічного отвору відносно осі хвостовика патрона з конусом 7:24 биття не більш, як 0,01 мм;

тоді похибка вектора 0,005 мм, а приведений коефіцієнт відносного розсіювання.

$$K_i = 1,21 \text{ та } A_i = 1$$

- биттям осі допоміжної втулки при її встановленні в корпусі патрона.

Похибка кутова 0,005/100 при $K_i = 1,37$ та $A_i = 0,6$.

- радіальним биттям циліндричного отвору. Похибка векторна 0,005 мм при $K_i = 1,09$ та $A_i = 1$.

Тоді,

$$\bar{e}_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{\sum_1^n (e_i \cdot A_i \cdot K_i)^2} = \frac{1}{1,04} \cdot \sqrt{(0,008 \cdot 0,8 \cdot 1,37)^2} = 11,2 \text{ мкм}$$

Биття оправки

$$2 \cdot \bar{e}_{\Sigma} = 2 \cdot 11,2 = 22,4 \text{ мкм} = 0,022 \text{ мм}$$

Реальне биття оправки менше, ніж допустиме

$$2 \cdot \bar{e}_{\Sigma} = 0,22 < 2 \cdot \bar{e}_{don} = 0,52$$

3.3.2 Розрахунок податливості інструментального блоку

Точність обробки поверхонь деталі залежить від величини деформації інструментальних блоків.

В реальних умовах обробки деформація блоку не повинна перевищувати величини допускаємої податливості блоку δ в точці прикладення зусилля різання.

Для розточних оправок при розточуванні отворів діаметром до 100 мм похибка не повинна перевищувати

$$\delta = 0,073 \text{ мкм/Н}$$

Інструментальна оправка витримує деформацію деталей на згин та деформацію контакту поверхонь елементів блоку в місті з'єднання.

Пружні контактні деформації y під дією сили P , яка діє на відстані L від стику, визначається за формулою:

$$y = \delta_o + \gamma \cdot L$$

де δ_o - контактна деформація; γ - перекося в з'єднанні.

Для конічних поверхонь

$$\delta_o = \frac{4 \cdot P \cdot \beta \cdot c}{\pi \cdot D} \cdot (\beta \cdot L_{c1} + c_2)$$

$$\gamma = \frac{4 \cdot P \cdot \beta^2 \cdot c}{\pi \cdot D} \cdot (\beta \cdot L_{c3} + c_1)$$

де β – коефіцієнт, який залежить від умов обробки та конструкції оправки.

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{1}{13 \cdot c \cdot D^3}}$$

c – коефіцієнт контактної податливості

$$c = 0,0002 \text{ мм}^3/\text{Н}$$

c_1 , c_2 та c_3 – коефіцієнти, які враховують зміну діаметру конусної поверхні по довжині кінцевого з'єднання.

$$c_1 = c_2 = 1,35$$

$$c_3 = 1$$

D - найбільший діаметр конусу

$$D = 69,85 \text{ мм}$$

P – радіальне зусилля різання

$$P = 1 \text{ кН}$$

Сумарна деформація блоку складається з:

- деформації оправки $\varnothing 72$ мм на довжині $L = 94$ мм;
- деформації циліндричної частини ($L = 170$ мм);
- деформації контактних поверхонь конуса 7:24.

Тоді деформація блоку

$$\delta_o = \frac{P \cdot l^3 \cdot 10^3}{3 \cdot E \cdot I_{xв}} + \frac{P \cdot L^3 \cdot 10^3}{0,15 \cdot E \cdot D_k} + P \cdot \frac{\theta}{M_1} \cdot L^2 + P \cdot \frac{\theta}{M_2} \cdot l^2$$

де E – модуль нормальної пружності

$$E = 2,1 \cdot 10^2 \text{ ГПа}$$

$I_{xв}$ – момент інерції хвостовика; D_k - базовий діаметр конуса; $\frac{\theta}{M_1}$ -

податливість конуса

$$\frac{\theta}{M_1} = 0,00142 \text{ мм/кНм}$$

$\frac{\theta}{M_2}$ - податливість циліндричної оправки

$$\frac{\theta}{M_2} = 0,0062 \text{ мм/кНм}$$

Підставивши вихідні данні в формулу δ_o , отримаємо

$$\delta_o = 0,1293 \text{ мм}$$

Тоді податливість блоку

$$\Pi = \frac{\delta}{P} = \frac{0,1293}{1000} = 0,0001293 \text{ мм/Н}$$

Дійсна підатливість блоку не перевищує допустиму величину

$$\Pi = 0,0001293 < \delta = 0,073$$

Таким чином, конструкція та розміри оправки дозволяють отримати задану точність розточування отвору (+0,03 мм).

4 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Структурно-морфологічний аналіз токарних роботизованих комплексів

4.1 Вступ

Актуальність теми.

Створення ефективних РТК вимагає ґрунтовного аналізу складу та розташування елементної бази комплексу, що доцільно виконувати на основі структурно-морфологічного методу. Оскільки варіантів РТК може бути дуже багато, то для визначення найбільш доцільних необхідно проаналізувати будову та функціонування верстату, особливості виконання ПР та його розташування по відношенню до ТО, використовувані ДП та комбінації їх компоновального розміщення.

Тож підвищення ефективності використання роботизованих комплексів є актуальним питанням, розгляду якого і присвячена дана магістерська робота.

Наукова новизна. Розроблено методику проведення структурно-морфологічного аналізу токарних роботизованих комплексів. Проведені дослідження з визначення критеріїв якісної оцінки будови та функціонування токарних роботизованих комплексів. Виконано розподіл об'єктів роботизованих комплексів на морфологічні ознаки і складано морфологічні матриці.

Практична цінність. Проведено синтез варіантів виконань двозахватних промислових робіт та роботизованих комплексів. Виконано багатокритеріальний вибір раціональних структур синтезованих компоновальних схем роботизованих комплексів на основі перетину нечітких множин. Розроблено структуру роботизованих технологічних комплексів.

4.2 Методика проведення структурно-морфологічного аналізу токарних РТК

Роботизований технологічний комплекс – це сукупність технологічного обладнання, промислового робота та допоміжних пристроїв, автономно функціонуючих та виконуючих багаторазові цикли.

Метою дослідження є визначення критеріїв якісної оцінки будови та функціонування токарних РТК.

Для виявлення переліку морфологічних ознак було прийняте допущення, що робота РТК залежить від таких факторів:

1. Особливості будови та функціонування елементної бази РТК (ТО, ПР, ДП).
2. Деталі, що оброблюється (характеристики деталей та умови їх затиску, умови переміщення в робочій зоні).
3. Особливості компоновального розміщення складових РТК.

Після заповнення морфологічного ящика здійснюється перехід до синтезу варіантів компоновок РТК шляхом складання матриць. Їх кількість може обчислюватися великими цифрами, оскільки кожна з n характеристик має певну кількість (K_i) різних варіантів. Сукупність всіх можливих варіантів кожної з ознак, яка визначена у вигляді матриці, дає значну кількість рішень:

$$N = \sum_{i=1}^n K_i ; \quad (4.1)$$

Наступним етапом є скорочення варіантів рішень і визначення критеріїв якісної оцінки будови та функціонування токарних РТК. Для вирішення задач багатокритеріального вибору в умовах невизначеності існує декілька математичних методів. Найбільш зручним для подання експертних оцінок є теорія нечітких множин [12]. У результаті структурного синтезу множина альтернатив компоувальних схем РТК матиме вигляд:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}. \quad (4.2)$$

Сукупність часткових критеріїв якості описуються множиною:

$$K_p = \{N, P, S_{\text{вир}}, Я\}; \quad (4.3)$$

де N – продуктивність роботи комплексу; $S_{\text{вир}}$ – виробнича площа, що займає РТК; P – загальна вартість комплексу; Y – загальна якісна оцінка обладнання (жорсткість, точність, надійність і т. ін.).

Експертні оцінки альтернативних варіантів по критеріях можуть бути подані як нечіткі множини. Нечітка множина [12] $A = \{(\mu_A(x), x)\}$, або $A = \{(\mu_A(x)/x)\}$ визначається як сукупність впорядкованих пар, складених із елементів множини x і впорядкованих значень функцій належності $\mu_A(x)$.

Відповідно до оцінки альтернатив по кожному критерію:

$$N = \left\{ \mu_N(a_1)/a_1, \mu_N(a_2)/a_2, \dots, \mu_N(a_m)/a_m \right\}; \quad (4.4)$$

$$S_{\text{вир}} = \left\{ \mu_{S_{\text{вир}}}(a_1)/a_1, \mu_{S_{\text{вир}}}(a_2)/a_2, \dots, \mu_{S_{\text{вир}}}(a_m)/a_m \right\}; \quad (4.5)$$

$$P = \left\{ \mu_P(a_1)/a_1, \mu_P(a_2)/a_2, \dots, \mu_P(a_m)/a_m \right\}; \quad (4.6)$$

$$Y = \left\{ \mu_Y(a_1)/a_1, \mu_Y(a_2)/a_2, \dots, \mu_Y(a_m)/a_m \right\}. \quad (4.7)$$

Правило вибору кращої компоновки РТК можна подати як перетин нечітких множин, що відповідають певним критеріям:

$$D = N \cap S_{\text{вир}} \cap P \cap Y; \quad (4.8)$$

де $\cap$ – операція перетину множин.

$$\mu_D(a_j) = \min_{i=1, \dots, 4} \mu_{C_i}(a_j); \quad (4.9)$$

де $\mu_{C_1} = \mu_N$, $\mu_{C_2} = \mu_{S_{\text{вир}}}$, $\mu_{C_3} = \mu_P$, $\mu_{C_4} = \mu_Y$, $j = 1, \dots, m$.

Кращою вважається альтернатива a^* , яка має найбільше значення функції належності:

$$\mu_D(a^*) = \max_{j=1, \dots, m} \mu_D(a_j). \quad (4.10)$$

Для побудови функції належності нечітких множин та оцінки альтернатив використовуються результати опитування експертів, які не підлягають безпосередньому вимірюванню.

4.3 Загальні особливості структурного дослідження РТК

У даній роботі, згідно з ГОСТом 26228 – 85, під РТК розуміють комплекс, в який входить один промисловий робот і одна одиниця ТО. Отримані висновки можуть бути розповсюджені і на роботизовані технологічні дільниці, де робот обслуговує декілька верстатів.

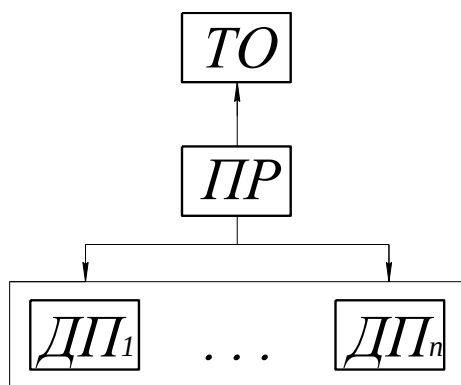


Рисунок 4.1 – Спрощена структура будови РТК

Таким чином, спрощено структуру будови РТК представлено на рис. 4.1. У даній структурі зазначено, що ПР обслуговує ТО і функціонує в сукупності з декількома ДП. Як правило таких пристроїв може бути один (подавально-приймальний), або два (окремо подавальний і приймальний). З урахуванням умов, наведених в п. 4.2, більш детально структуру будови та функціонування РТК представлено на рис. 4.2.

В основу будови і роботи комплексу приймають такі базові вимоги: 1) призначення РТК з точки зору вирішення соціальних, технологічних, економічних та ін. задач; 2) вартість, термін його окупності та планований економічний ефект від використання; 3) продуктивність роботи; 4) змінність експлуатації; 5) кількість вивільнених робітників; 6) надійність та довговічність роботи і ін.

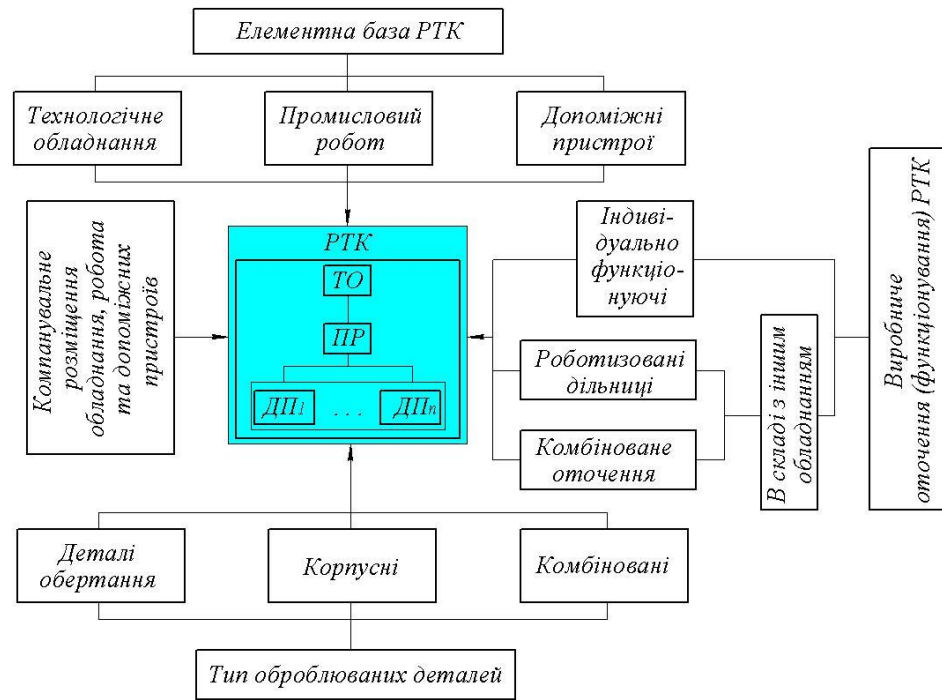


Рисунок 4.2 – Узагальнена структура будови та функціонування РТК

Зазначені показники будуть мати місце при обґрунтованому виборі всіх складових частин комплексу, в тому числі двозахватних пристроїв.

4.4 Розподілення об'єктів на морфологічні ознаки і складання морфологічних матриць

Морфологічні ознаки, прийняті для аналізу РТК, наведені в морфологічній таблиці 4.1. Представимо їх у вигляді морфологічної матриці у звернутому і розвернутому чисельному вигляді:

$$M_{РТК} = M_{ТО} \times M_{ПР} \times M_{ДП} \times M_{ХД} \times M_{УПД} \times M_{КР} ; \quad (4.11)$$

де $M_{РТК}$ – загальна кількість варіантів компоновок РТК; $M_{ТО}$ – кількість варіантів при аналізі ТО; $M_{ПР}$ – кількість варіантів при аналізі ПР; $M_{ДП}$ – кількість варіантів при аналізі ДП; $M_{ХД}$ – кількість варіантів при аналізі характеристик деталі і умов її затиску; $M_{УПД}$ – кількість варіантів при аналізі

умов переміщення деталі в робочій зоні; M_{PK} – кількість варіантів при аналізі особливостей конструювального розміщення.

$$M_{PTK} = \left| \begin{array}{ccc} 1.1 & 2.1 & 3.1 \\ 1.2 & 2.2 & 3.2 \\ 1.3 & 2.3 & 3.3 \\ & \dots & \\ & 2.21 & \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{cc} 4.1 & 5.1 \\ 4.2 & 5.2 \\ 4.3 & 5.3 \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{cccc} 6.1 & 7.1 & 8.1 & 9.1 \\ 6.2 & 7.2 & 8.2 & 9.2 \\ 6.3 & & & 9.3 \\ 6.4 & & & 9.4 \\ & & & 9.5 \end{array} \right| \times$$

$$\times \left| \begin{array}{cc} 10.1 & 11.1 \\ 10.2 & 11.2 \\ 10.3 & 11.3 \\ 10.4 & 11.4 \\ 10.5 & \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{cc} 12.1 & 13.1 \\ 12.2 & 13.2 \\ 12.3 & 13.3 \\ 12.4 & \dots \\ 12.5 & 13.6 \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{cc} 14.1 & 15.1 \\ 14.2 & 15.2 \\ 14.3 & 15.3 \\ 14.4 & 15.4 \end{array} \right|. \quad (4.12)$$

Компоненти даної матриці розписані в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Загальна морфологічна таблиця аналізу РТК

Особливості будови та функціонування елементної бази РТК						Оброблювані деталі		Особливості компонувального розміщення
Технологічне обладнання		Промисловий робот		Допоміжні пристрої		Хар-ки деталі та умови її затиску	Умови переміщен ня в робо- чій зоні	
Призначення та особливості виконання верстату	Відкритість робочої зони	Затискний пристрій верстату	Механічна частина захватів		Привод	Система керування		
Призначення	Особливості позиціонування	Координатність розміщення деталі	Тип конструктивного виконання	Тип деталі	Варіант затиску її захватом	Переміщення деталі в робочу зону	Переміщення деталі на робочу позицію	Розміщення допоміжних пристроїв
								Розміщення робота

Таблиця 4.2 – Розписана загальна морфологічна таблиця

Технологічне обладнання			
Призначення та особливості виконання верстату		Відкритість робочої зони	Затискний пристрій верстату
1		2	3
1.1 З вертикально розміщеною віссю шпинделя; 1.2 З горизонтально розміщеною віссю шпинделя; 1.3 Кількість шпинделів		Одна координата відкритості 2.1 + X; 2.2 – X; 2.3 + Y; 2.4 – Y; 2.5 + Z; 2.6 – Z; Дві координати відкритості 2.7 +X+Y; ... 2.21 –Z+X	3.1 Патрон 3.2 Центра 3.3 Цанга 3.4 Спеціальний затискний пристрій
Промисловий робот (механічна частина)			
Кількість рук		Кількість захватів	
4		5	
4.1 Одна рука; 4.2 Дві руки; 4.3 Більше двох рук;		5.1 Один захват; 5.2 Два захвати; 5.3 Більше двох захватів;	
Допоміжні пристрої			
Призначення	Особливості позиціонування	Координатність розміщення деталі	Тип конструктивного виконання
6	7	8	9
6.1 Подавальні; 6.2 Приймальні; 6.3 Приймально-подавальні; 6.4 Інші;	7.1 Одно-позиційні; 7.2 Багато-позиційні;	8.1 Одно-координатні; 8.2 Багато-координатні;	9.1 Лоток; 9.2 Транспортер; 9.3 Конвеєр; 9.4 Тактовий стіл; 9.5 Магазин;
Характеристики деталі і умови її затиску			
Тип деталі	Варіант затиску деталі захватом		
10	11		
10.1 Короткий вал; 10.2 Довгий вал; 10.3 Втулки, диски, фланці; 10.4 Корпусні; 10.5 Інші;	11.1 За зовнішню поверхню з перпендикулярно розміщеною віссю захвату до вісі деталі; 11.2 За зовнішню поверхню з співвісно розміщеною віссю захвату до вісі деталі; 11.3 За внутрішню поверхню; 11.4 Інший;		

Продовження таблиці 4.2

Умови переміщення деталі в робочій зоні	
Переміщення деталі в робочу зону	Переміщення деталі на робочу позицію
12	13
12.1 З лицьової сторони (+ Y); 12.2 З верху (+ X); 12.3 З заду (- Y); 12.4 З боку (+ Z);	13.1 Горизонтальним лінійним рухом // до вісі шпинделя; 13.2 Вертикальним лінійним рухом // до вісі шпинделя; 13.3 Лінійним рухом під довільним кутом до вісі шпинделя; 13.4 Горизонтальним обертовим рухом; 13.5 Вертикальним обертовим рухом; 13.6 Обертовим рухом під довільним кутом;
Особливості компоновального розміщення	
Особливості розміщення робота	Розміщення допоміжних пристроїв
14	15
14.1 На підлозі; 14.2 Портальний; 14.3 На верстаті; 14.4 Вмонтований в верстат.	15.1 З боку від верстату; 15.2 З заду від верстату; 15.3 По переду верстату; 15.4 Над верстатом та ін.

4.5 Синтез варіантів виконань ДПР та РТК

Морфологічний ящик при аналізі робочої зони токарних верстатів описується матрицею:

$$M_{TO} = \begin{vmatrix} 1.1 & 2.1 & 3.1 \\ 1.2 & 2.2 & 3.2 \\ 1.3 & \dots & 3.3 \\ & 2.21 & 3.4 \end{vmatrix}. \quad (4.13)$$

У розгорнутому вигляді:

$$M_{TO} = 3 \cdot 21 \cdot 4 = 252. \quad (4.14)$$

Тип та модель ТО, що використовується в РТК, відіграє важливу роль, завдяки виду та розмірам робочої зони. На токарних верстатах здебільшого деталь має горизонтально розміщену вісь і встановлюється в трикулачковий патрон чи центра. Більшість деталей, що обробляються на верстатах цієї групи, є

тілами обертання і захват їх роботом відбувається за зовнішню або внутрішню циліндричну поверхню.

Робоча зона верстату – місце, яке може бути використано захватом ПР для встановлення деталі в затискний пристрій. Вона утворюється в токарних верстатах торцем патрону чи переднім центром, торцем інструментальної головки, задньою стінкою та поверхнею напрямних. Оптимальними для роботизації є токарні верстати з ЧПК. Робочий простір токарно-гвинторізного верстату показано на рис. 4.3.

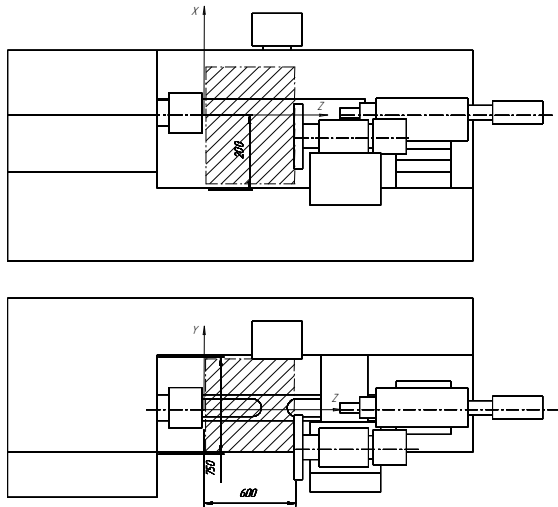


Рисунок 4.3 – Робочий простір токарного верстату з ЧПК моделі 16K20Ф3

Передача заготовок в робочу зону може відбуватися з лицьової сторони (ПР розміщено перед верстатом), зверху (портальне розміщення ПР), ззаду або збоку (довільне розміщення ПР, якщо дозволяє конструкція ТО).

Морфологічний ящик аналізу характеристик промислового робота описується матрицею:

$$M_{\text{ПР}} = \begin{vmatrix} 4.1 & 5.1 \\ 4.2 & 5.2 \\ 4.3 & 5.3 \end{vmatrix}. \quad (4.15)$$

У розгорнутому вигляді:

$$M_{\text{ПР}} = 3 \cdot 3 = 9. \quad (4.16)$$

По конструктивному виконанню механічної частини ПР розділяються на одноруку, дворуку тощо. Ще однією відмінною ознакою є кількість захватів, що

розміщені на одній руці. По цьому параметру роботи бувають однозахватні, двозахватні та ін. На рис. 4.4 представлені різні виконання ПР.

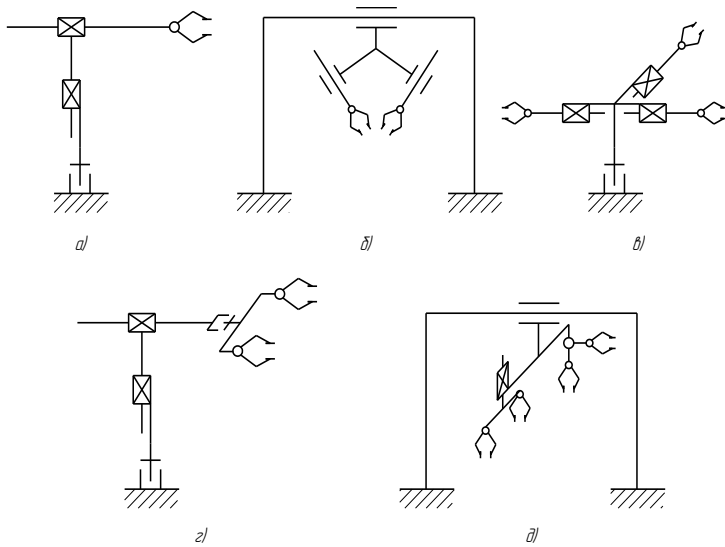


Рисунок 4.4 – Варіанти виконань ПР:

- а – однорукий, однозахватний;
- б – дворукий, однозахватний;
- в – трирукий, однозахватний;
- г – однорукий, двозахватний;
- д – дворукий, двозахватний.

При аналізі допоміжних пристроїв морфологічний ящик описується матрицею:

$$M_{дп} = \begin{vmatrix} 6.1 & 7.1 & 8.1 & 9.1 \\ 6.2 & 7.2 & 8.2 & 9.2 \\ 6.3 & & & \dots \\ 6.4 & & & 9.5 \end{vmatrix}. \quad (4.17)$$

У розгорнутому вигляді:

$$M_{ду} = 4 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 5 = 80. \quad (4.18)$$

ДП по своєму функціональному призначенню можуть виконувати роль подавальних, приймальних, подавально-приймальних пристроїв. Їх можна розділити по позиціонуванню на однопозиційні та багатопозиційні, а по координатності – на однокоординатні та багатокординатні. Схеми таких пристроїв показані на рис. 4.5 та рис. 4.6.

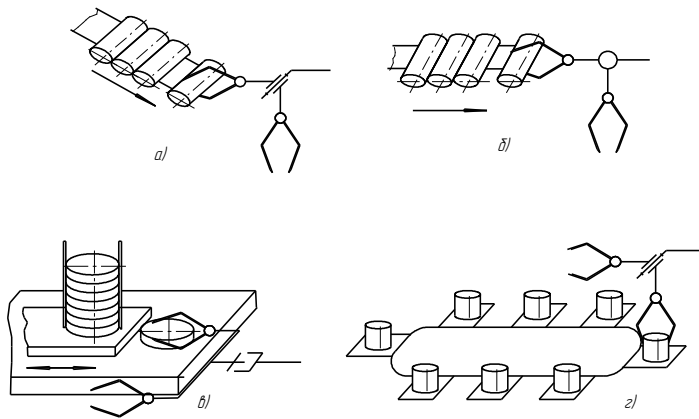


Рисунок 4.5. Однопозиційні ДП

Однопозиційні ДП характеризуються тим, що заготовки подаються в одну позицію, з якої її забирає захват робота, а потім в цю позицію подається наступна заготовка. В багатопозиційних ДП заготовки мають свої позиції і ПР бере кожну з окремої комірки.

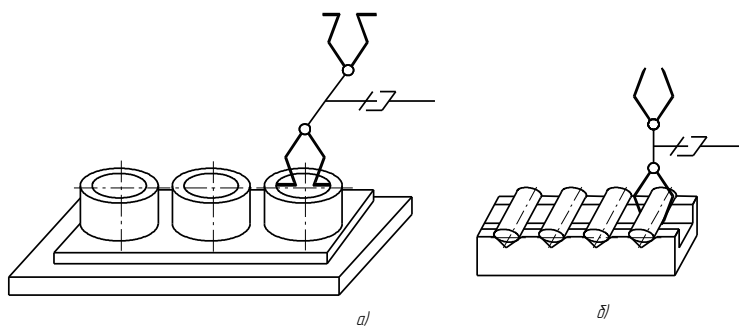


Рисунок 4.6 – Багатопозиційні допоміжні пристрої

Морфологічний ящик аналізу характеристик деталі та умови її затиску описується матрицею:

$$M_{\text{ХД}} = \begin{vmatrix} 10.1 & 11.1 \\ 10.2 & 11.2 \\ 10.3 & 11.3 \\ 10.4 & 11.4 \\ 10.5 & \end{vmatrix} \quad (4.19)$$

У розгорнутому вигляді:

$$M_{\text{ХД}} = 5 \cdot 4 = 20. \quad (4.20)$$

Захватні пристрої робота обираються в залежності від типу деталі, що обробляється. Їх можна розділити на вали короткі ($l \leq 1/4d$), середні $l = (1/4 \dots 4)d$

та довгі ($l \geq 4d$), втулки, диски, фланці та ін. Приклади даних деталей та умови їх затиску представлено на рис. 4.7.

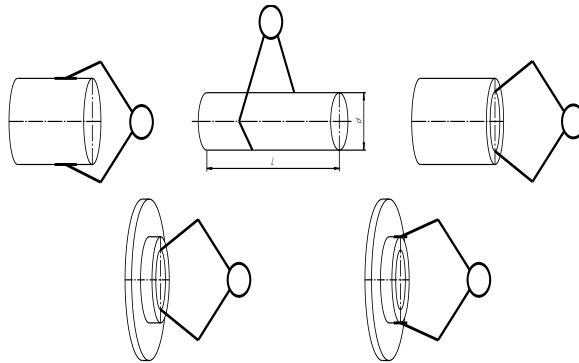


Рисунок 4.7 – Типи деталей, та варіанти їх затиску

Варіант затиску деталі захватом, обирається виходячи з конструктивних характеристик деталі. Так як затиск за зовнішню поверхню і затиск за внутрішню поверхню є ідентичними на структурному рівні, то для зменшення кількості варіантів, що підлягатимуть аналізу, відкинемо варіант затиску за внутрішню поверхню.

Аналіз умов переміщення деталі в робочій зоні верстату описується матрицею:

$$M_{упд} = \begin{vmatrix} 12.1 & 13.1 \\ 12.2 & 13.2 \\ \dots & \dots \\ 12.5 & 13.6 \end{vmatrix}. \quad (4.21)$$

У розгорнутому вигляді:

$$M_{упд} = 5 \cdot 6 = 30. \quad (4.22)$$

Подача деталей в робочу зону може відбуватися з лицьової сторони (+Y), зверху (+ X), ззаду (- Y), збоку (+ Z). Це залежить від обмежень, що має робоча зона.

На рис. 4.8 представлені варіанти подачі заготовок в робочу зону.

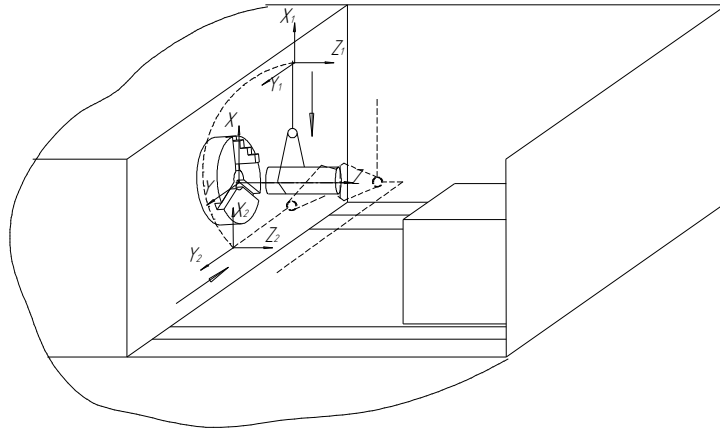


Рисунок 4.8 – Варіанти переміщення заготовок в робочу зону токарного верстату, що має горизонтально розміщену вісь шпинделя

Подача деталі на вихідну позицію може відбуватися горизонтальним лінійним рухом паралельним до вісі шпинделя, вертикальним лінійним рухом паралельним до вісі шпинделя, лінійним рухом під довільним кутом до вісі шпинделя; горизонтальним обертовим рухом, вертикальним обертовим рухом, обертовим рухом під довільним кутом.

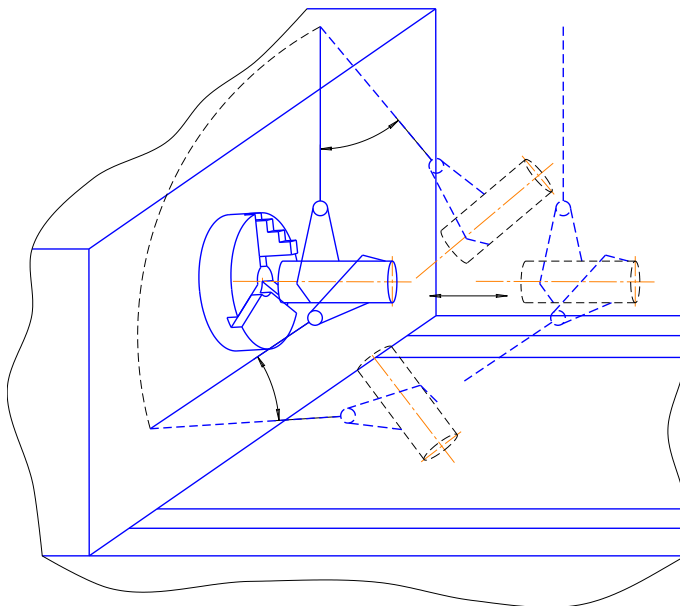


Рисунок 4.9 – Варіанти передачі заготовок на робочу позицію:

а – лінійним рухом;

б – обертовим рухом.

Аналіз компоновок роботизованих комплексів проводимо у відповідності до матриці:

$$M_{PK} = \begin{vmatrix} 14.1 & 15.1 \\ 14.2 & 15.2 \\ 14.3 & 15.3 \\ 14.4 & 15.4 \end{vmatrix}. \quad (4.23)$$

У розгорнутому вигляді:

$$M_{PK} = 4 \cdot 4 = 16. \quad (4.24)$$

За місцем розташування ПР відносно ТО можливо виділити такі групи:

1. ПР розміщено безпосередньо на ТО:

- робот прилаштовано до верстату з лицьової сторони;
- робот розміщено на передній бабці верстату.

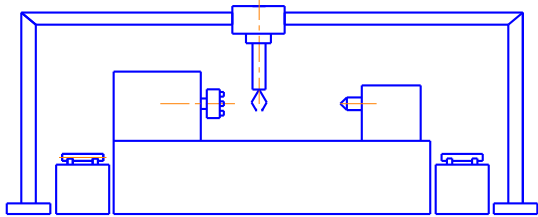
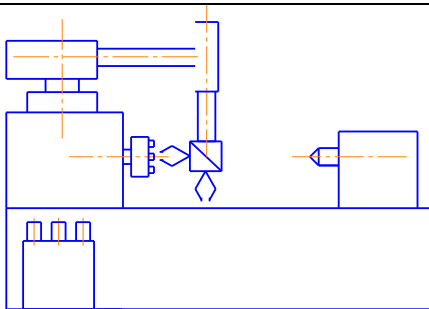
2. ПР розміщено на підлозі біля технологічного обладнання (напольне виконання).

3. ПР портального типу.

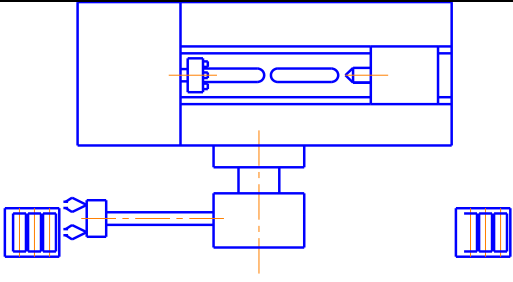
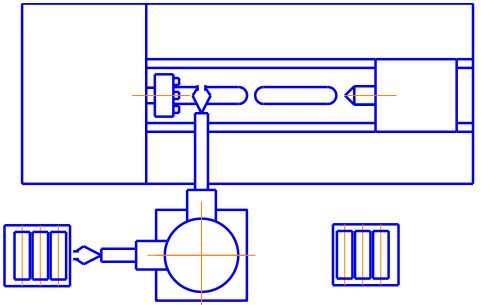
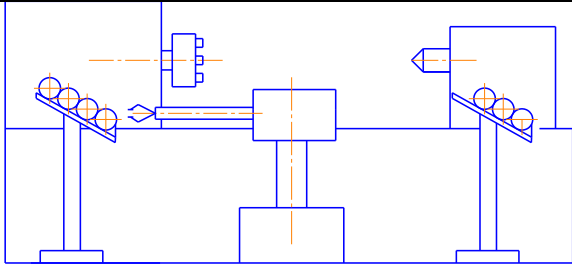
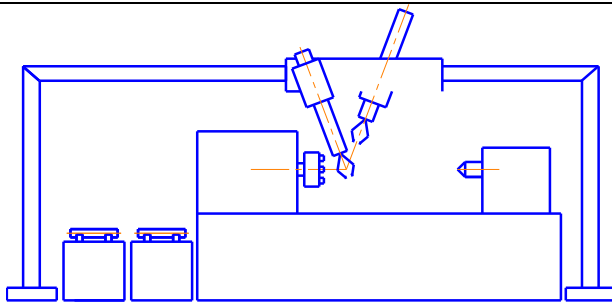
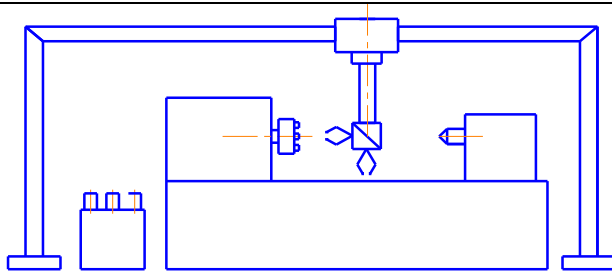
ДП можливо розмістити перед верстатом, збоку, чи ззаду.

Структурно-компонувальний синтез РТК полягає в побудові переліку всіх теоретично можливих варіантів. Їх кількість отримується внаслідок добутку множин за формулою (4.1).

Деякі структурно-компонувальні схеми РТК, які описуються відповідними формулами, наведені в таблиці 4.5.

№	Компонувальні схеми РТК	Модель структури РТК
1	2	3
1		$1.1 \times 2.7 \times 3.1 \times 4.1 \times 5.1 \times 6.1 \times 7.1 \times 8.1 \times 9.1 \times 10.2 \times 11.1 \times 12.2 \times 13.2 \times 14.1 \times 15.2$
2		$1.1 \times 2.7 \times 3.1 \times 4.1 \times 5.1 \times 6.3 \times 7.2 \times 8.1 \times 9.1 \times 10.2 \times 11.1 \times 12.2 \times 13.2 \times 14.3 \times 15.3$

Продовження таблиці 4.5

1	2	3
3		$1.1 \times 2.7 \times 3.1 \times 4.1 \times 5.2 \times 6.2 \times 7.1 \times$ $\times 8.1 \times 9.3 \times 10.1 \times 11.1 \times 12.1 \times 13.5 \times$ $\times 14.3 \times 15.3$
4		$1.1 \times 2.7 \times 3.1 \times 4.2 \times 5.1 \times 6.2 \times 7.1 \times$ $\times 8.1 \times 9.3 \times 10.1 \times 11.1 \times 12.1 \times 13.1 \times$ $\times 14.3 \times 15.1$
5		$1.1 \times 2.7 \times 3.1 \times 4.1 \times 5.1 \times 6.1 \times 7.1 \times$ $\times 8.1 \times 9.1 \times 10.1 \times 11.1 \times 12.1 \times 13.1 \times$ $\times 14.3 \times 15.1$
6		$1.1 \times 2.7 \times 3.1 \times 4.2 \times 5.1 \times 6.1 \times 7.1 \times$ $\times 8.1 \times 9.2 \times 10.1 \times 11.1 \times 12.2 \times 13.3 \times$ $\times 14.1 \times 15.2$
7		$1.1 \times 2.7 \times 3.1 \times 4.1 \times 5.2 \times 6.3 \times 7.2 \times$ $\times 8.1 \times 9.1 \times 10.3 \times 11.3 \times 12.2 \times 13.2 \times$ $\times 14.1 \times 15.2$

4.6 Багатокритеріальний вибір раціональних структур синтезованих компонувальних схем РТК на основі перетину нечітких множин

Задача вибору раціональних структур компонок РТК по сукупності часткових критеріїв із деякого набору альтернатив, отриманих в результаті структурного синтезу, як початкової стадії проектування, є задачею прийняття рішення в умовах невизначеності. В таких випадках зазвичай використовують знання експертів. Для вирішення цієї задачі скористаємося методикою, представленою в п. 4.2.

Одним із способів побудови функції належності $\mu_{C_i}(a_j)$ по наданих перевагах експертів тій чи іншій альтернативі, по певному критерію є кількісне парне порівняння, у відповідності з яким результатом опитування експертів є обернено-симетрична матриця парних порівнянь [12]:

$$M_o = \begin{vmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1m} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_{m1} & n_{m2} & \dots & n_{mm} \end{vmatrix}; \quad (4.25)$$

де n_{ij} – число, яке показує у скільки раз на думку експерта $\mu_{C_i}(a_i)$ більше $\mu_{C_i}(a_j)$; m – число альтернатив; $o = 1, \dots, q$ – номер експерта.

Обернена симетричність матриці M_o передбачає $n_{ii} = 1$, $n_{ji} = 1/n_{ij}$.

Значення функцій належності альтернатив по кожному критерію визначається на основі рівняння:

$$M_o \cdot W_o^T = \nu_{\max} \cdot W_o; \quad (4.26)$$

де $\nu_{\max}$ – максимальне власне число матриці M_k ;

$W_o = (\mu_{C_{io}}(\alpha_1), \mu_{C_{io}}(\alpha_2), \dots, \mu_{C_{io}}(\alpha_m))$ – власний вектор матриці M_o .

Величину n_{ij} приймаємо у відповідності з (табл. 4.6) [12].

Значення функцій належності в результаті опитування q експертів:

$$\mu_{C_i}(a_j) = \frac{\mu_{C_{io}}(a_j)}{\sum_{k=1}^q \mu_{C_{ko}}(a_j)}; \quad (4.27)$$

Таблиця 4.6 – Шкала відносної важливості

Значення n_{ij}	Зміст (визначення)
1	$\mu_{C_i}(a_i)$ приблизно рівна $\mu_{C_i}(a_j)$
3	$\mu_{C_i}(a_i)$ трохи більше $\mu_{C_i}(a_j)$
5	$\mu_{C_i}(a_i)$ більше $\mu_{C_i}(a_j)$
7	$\mu_{C_i}(a_i)$ значно більше $\mu_{C_i}(a_j)$
9	$\mu_{C_i}(a_i)$ набагато більше $\mu_{C_i}(a_j)$

Вагові коефіцієнти відповідних критеріїв визначаються за процедурою парного порівняння. Приклад зіставлення компоувальних схем РТК виконано на основі перетину нечітких множин.

Розглянемо задачу вибору кращої компоновки РТК, що призначений для обробки деталей типу вал. Альтернативами будуть чотири синтезовані компоновки, які описуються моделями:

$$a_1 = 1.1 \times 2.7 \times 3.1 \times 4.1 \times 5.1 \times 6.3 \times 7.2 \times 8.1 \times 9.1 \times 10.2 \times 11.1 \times 12.2 \times 13.2 \times 14.3 \times 15.3 ;$$

$$a_2 = 1.1 \times 2.7 \times 3.1 \times 4.1 \times 5.1 \times 6.1 \times 7.1 \times 8.1 \times 9.1 \times 10.1 \times 11.1 \times 12.1 \times 13.1 \times 14.3 \times 15.1 ;$$

$$a_3 = 1.1 \times 2.7 \times 3.1 \times 4.1 \times 5.2 \times 6.3 \times 7.2 \times 8.1 \times 9.1 \times 10.3 \times 11.3 \times 12.2 \times 13.2 \times 14.1 \times 15.2 ;$$

$$a_4 = 1.1 \times 2.7 \times 3.1 \times 4.2 \times 5.1 \times 6.1 \times 7.1 \times 8.1 \times 9.2 \times 10.1 \times 11.1 \times 12.2 \times 13.3 \times 14.1 \times 15.2 ;$$

Критеріями якості слугуватимуть $N, S_{\text{вир}}, P, Я$. Ступінь ваги критеріїв приймаємо однаковим.

Складемо обернено-симетричні матриці парних порівнянь по часткових критеріях при опитуванні одного експерта:

$$M_N = \begin{vmatrix} 1 & 9 & 1 & 1/3 \\ 1/9 & 1 & 1/9 & 1/9 \\ 1 & 9 & 1 & 1/3 \\ 3 & 9 & 3 & 1 \end{vmatrix};$$

$$M_P = \begin{vmatrix} 1 & 1/3 & 5 & 7 \\ 3 & 1 & 5 & 7 \\ 1/5 & 1/5 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1 \end{vmatrix};$$

$$M_{S_{вир}} = \begin{vmatrix} 1 & 7 & 3 & 3 \\ 1/7 & 1 & 1/5 & 1/5 \\ 1/3 & 5 & 1 & 1 \\ 1/3 & 5 & 1 & 1 \end{vmatrix};$$

$$M_{Я} = \begin{vmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1/3 & 1/3 \\ 5 & 3 & 1 & 1 \\ 3 & 3 & 1 & 1 \end{vmatrix};$$

Значення функцій незалежності альтернатив по кожному критерію визначаємо за допомогою програмного продукту MathCAD.

$$\begin{aligned} V_n &:= \text{eigenvals}(M_n) & V_n &= \begin{pmatrix} 4.155 \\ -0.077 + 0.797i \\ -0.077 - 0.797i \\ 0 \end{pmatrix} & W_n &:= \text{eigenvec}(M_n, 4.155) & W_n &= \begin{pmatrix} -0.365 \\ -0.056 \\ -0.365 \\ -0.854 \end{pmatrix} \\ V_p &:= \text{eigenvals}(M_p) & V_p &= \begin{pmatrix} 4.148 \\ 0.069 + 0.967i \\ 0.069 - 0.967i \\ -0.287 \end{pmatrix} & W_p &:= \text{eigenvec}(M_p, 4.148) & W_p &= \begin{pmatrix} 0.486 \\ 0.859 \\ 0.142 \\ 0.076 \end{pmatrix} \\ V_s &:= \text{eigenvals}(M_s) & V_s &= \begin{pmatrix} 3.948 \\ 0.026 + 0.439i \\ 0.026 - 0.439i \\ 0 \end{pmatrix} & W_s &:= \text{eigenvec}(M_s, 3.948) & W_s &= \begin{pmatrix} -0.879 \\ -0.087 \\ -0.352 \\ -0.308 \end{pmatrix} \\ V_j &:= \text{eigenvals}(M_j) & V_j &= \begin{pmatrix} 4.228 \\ -0.014 + 0.979i \\ -0.014 - 0.979i \\ -0.2 \end{pmatrix} & W_j &:= \text{eigenvec}(M_j, 4.228) & W_j &= \begin{pmatrix} 0.489 \\ 0.855 \\ 0.153 \\ 0.075 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Оцінки варіантів по критеріях матимуть вигляд:

$$N = \left\{ 0.365/a_1, 0.056/a_2, 0.365/a_3, 0.854/a_4 \right\}, P = \left\{ 0.486/a_1, 0.859/a_2, 0.142/a_3, 0.076/a_4 \right\},$$

$$S_{вир} = \left\{ 0.879/a_1, 0.087/a_2, 0.352/a_3, 0.308/a_4 \right\}, Я = \left\{ 0.489/a_1, 0.855/a_2, 0.153/a_3, 0.075/a_4 \right\}$$

Ранжування альтернатив шляхом перетину нечітких множин:

$$D = \left(\left\{ \min(0.365; 0.486; 0.879; 0.489) \right\} \left\{ \min(0.056; 0.859; 0.087; 0.855) \right\} \right)$$

$$\left(\left\{ \min(0.365; 0.142; 0.352; 0.153) \right\} \left\{ \min(0.854; 0.076; 0.308; 0.075) \right\} \right)$$

Кращою альтернативою є та, яка має найбільше значення функції після взяття мінімуму $\max \mu_D(a_j) = \max(0.365; 0.056; 0.142; 0.075)$.

В результаті оцінки кращою компоновальною схемою виявилася схема a_1 , на другому місці – a_3 , на третьому – a_4 і на четвертому – a_2 .

Схеми a_1 та a_3 оснащені ДПР, що і визначило перевагу в продуктивності та економії займаної виробничої площі.

4.7 Структура РТК

Розглянувши загальну морфологічну таблицю, можна структуру комплексу записати в загальному вигляді: $РТК = В + ПР + ДП$.

Але для більш повного уявлення про будову комплексу в структурі слід конкретизувати особливості виконання кожної складової частини. Так для оцінки особливостей технологічного обладнання у формулі після позначення верстату (В) може вказуватись або його модель, або найбільш важливі ознаки виконання з точки зору використання його в РТК. Так, в цьому випадку, вказується його призначення (токарний – Т, свердлильний – С, фрезерний – Ф і т.д.); кількість шпинделів (одношпиндельний – 1ш, двошпиндельний – 2ш і т.д.); просторове розміщення шпинделя (горизонтальне – Г, вертикальне – В); тип затискного пристрою (патрон – П, цанга – Цн, центра – Цр і т.д.). В позначенні робот (ПР) вказуємо на його розміщення (на підлозі – Пл, на верстаті – В, порталний – П і т.д.); кількість рук (однорукий – 1р, дворукий – 2р і т.д.); кількість захватів (однозахватний – 1з, двозахватний – 2з і т.д.). Таким же чином можна уточнити і виконання допоміжних пристроїв вказавши після позначення (ДП) його призначення (подавальний – Пд, приймальний – Пр, подавально-приймальний – ПП); характер позиціонування (однопозиційні – 1п, багатопозиційні – Бп); тип координатності (однокоординатні – 1к, багатокординатні – Бк); особливості конструктивного виконання (магазин – М, тактовий стіл – ТС, конвеєр – К тощо).

З урахуванням наведених відмінних ознак структура комплексу для компоновки, представленої першою в таблиці 2.5, матиме вигляд:

$$РТК = В(Т, 1ш, Г, П) + ПР(П, 1р, 1з) + ДП(Пд, Пр, 1п, 1к, М).$$

Наведена форма запису структури РТК дозволяє наглядно представляти будову комплексу враховуючи усі його відмінні ознаки та більш системно виконувати пошук оптимальних їх компоновок у відповідності до функціонального призначення.

4.8 Висновки

1. Розроблено методику проведення структурно-морфологічного аналізу токарних роботизованих комплексів.
2. Проведені дослідження з визначення критеріїв якісної оцінки будови та функціонування токарних роботизованих комплексів.
3. Виконано розподіл об'єктів роботизованих комплексів на морфологічні ознаки і складано морфологічні матриці.
4. Проведено синтез варіантів виконань двозахватних промислових робіт та роботизованих комплексів.
5. Виконано багатокритеріальний вибір раціональних структур синтезованих компонувальних схем роботизованих комплексів на основі перетину нечітких множин.
6. Розроблено загальну структуру роботизованих технологічних комплексів.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Аналіз варіантів технологічного процесу

Для того, щоб довести доцільність впровадження запропонованого у даній кваліфікаційній роботі варіанту технологічного процесу, необхідно зробити його економічний аналіз. Цей аналіз здійснюється шляхом визначення та порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі по кожному з альтернативних варіантів (базовому і проектному):

$$C_{tex} = V \cdot N_z + P,$$

де V – змінні витрати у технологічній собівартості, величина яких змінюється пропорційно зміні обсягу випуску продукції, грн./рік.

P – постійні витрати, величина яких не змінюється або змінюється неістотно в залежності від зміни річного випуску продукції грн./рік.

Порівнюючи варіанти технологічного процесу, проаналізуємо та зіставимо лише ті статті витрат, величина яких змінюється при переході від одного варіанту до іншого.

5.1.1. Розрахунок змінних витрат

За поелементним методом розрахунку змінні витрати визначаються за формулою:

$$V = M_o + Z_{одв} + E_c + B_p + B_{мд} + B_{ін.ун} + B_{пр.ун} + B_{ам.у} + B_{ен},$$

де M_o – вартість основних матеріалів (не змінюються у порівнюваних варіантах техпроцесу, тому не розраховуються), грн.;

$Z_{одв}$ – заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з урахуванням єдиного соціального внеску, грн.;

E_c – витрати на електроенергію силову, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

$B_{мд}$ – витрати на матеріали допоміжні, грн.;

$B_{ін.ун}$ – витрати на експлуатацію універсального ріжучого інструменту, грн. (однакові у порівнюваних варіантах);

$B_{ам.у}$ – витрати на амортизацію універсального обладнання, грн.;

$B_{ен}$ – витрати на експлуатацію приміщень, грн.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову з урахуванням єдиного соціального внеску:

$$З_{одв} = C_{z(i)} \frac{t_{ум(i)}}{60} (1 + K_o) \cdot (1 + K_c),$$

де $C_{z(i)}$ – годинна тарифна ставка відповідного розряду i -тої операції техпроцесу, грн./год.;

$t_{ум(i)}$ - штучний час i -тої операції, хв.;

K_o , K_c – коефіцієнти, які враховують відповідно додаткову заробітну плату та відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний внесок).

В базовому варіанті:

$$З_{одв.баз} = \frac{29,148 \cdot 1,656 + 32,387 \cdot 8,511 + 36,705 \cdot 5,483}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 11,7463 \text{ г}$$

рн.

В проектному варіанті:

$$З_{одв.пр} = \frac{29,148 \cdot 6,885 + 32,387 \cdot 7,51}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 9,9288 \text{ грн.}$$

Наступні статті витрат пов'язано з утриманням та експлуатацією обладнання. Тому, перед їх розрахунком, на основі [25, дод. Д2 та 24, с. 91] складемо таблицю характеристики обладнання, яке використовується у порівнюваних операціях базового та проектного техпроцесів (табл. 5.1).

Таблиця 6.1 – Характеристика обладнання

Модель обладнання	Габаритні розміри: довжина × ширина, м	Потужність електродвигунів верстата, кВт	а-са, т	Група ремонтної складності механічної/електричної частини, УРО	площа в плані $S_{од}$, м ²	іна, тис. грн.
Базовий техпроцес						
Токарно-гвинторізний 16K20	2,50×1,19	10,0	2,8	11/12	2,98	95,0
Токарний з ЧПК Hyundai E 200	3,05×1,71	11,0	4,4	18/15	5,22	800,0
Вертикально фрезерний з ЧПК 6Т13Ф3	3,45×4,30	7,5	5,9	15/7,5	14,84	160,0
Проектний техпроцес						
Токарний з ЧПК Hyundai E 200	3,05×1,71	11,0	4,4	18/15	5,22	800,0
Вертикальний обробний центр HAAS VF-3DHE	0,51×0,41	22,4	2,8	18/15	0,21	60,0

Витрати на електроенергію силову:

$$E_c = \frac{N_{\epsilon} \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_{\delta}}{\eta_{\epsilon} \cdot \eta_m} \cdot \frac{t_{um}}{60} \cdot C_{ел},$$

де N_{ϵ} – встановлена потужність електродвигунів обладнання, кВт;

K_o – коефіцієнт одночасної роботи двигунів, $K_o=0,65\dots0,8$;

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (приймається у розмірі 0,5...0,8 – для токарних, 0,6...0,7 – для фрезерних верстатів);

K_{δ} – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за часом, $K_{\delta}=0,3\dots0,5$;

η_{ϵ} – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі, $\eta_{\epsilon}=0,92\dots0,96$;

η_m – ККД електродвигунів, $\eta_m=0,86\dots0,9$;

$C_{ел}$ – ціна 1 кВт-год електроенергії без ПДВ, грн.

$$E_{c.баз} = \frac{(10 \cdot 1,656 + 11 \cdot 5,483 + 7,5 \cdot 8,511) \cdot 0,6 \cdot 0,4 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88 \cdot 60} \cdot 2,429 = 0,8144 \text{ грн.}$$

$$E_{c.пр} = \frac{(11 \cdot 6,885 + 22,4 \cdot 7,51) \cdot 0,6 \cdot 0,4 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88 \cdot 60} \cdot 2,429 = 1,4176 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_p = \frac{W_m \cdot R_m + W_e \cdot R_e}{T_{pc}} \cdot \frac{t_{um}}{60},$$

де W_m, W_e – витрати на всі види ремонту та обслуговування за ремонтний цикл, які припадають на одиницю ремонтної складності, відповідно механічної та електричної частини обладнання, грн.;

R_m, R_e – категорія ремонтної складності відповідно механічної та електричної частин обладнання, УРО;

T_{pc} – тривалість ремонтного циклу, год., розраховується за формулою:

$$T_{pc} = T_{pc.n} \cdot \beta_m \cdot \beta_{mv} \cdot \beta_n \cdot \beta_v,$$

де $T_{pc.n}$ – норматив тривалості міжремонтного циклу (для металорізального обладнання $T_{pc.n}=24000$ год.);

β – коефіцієнти, які враховують: оброблюваний матеріал ($\beta_m=0,85$ для металорізального обладнання); тип виробництва ($\beta_{mv}=1,3$ для середньосерійного виробництва); значення основного параметру ($\beta_n=1,0$ для металорізального обладнання); масу обладнання ($\beta_v=1,0$ для легких та середніх металорізальних верстатів з масою до 10 т).

$$T_{pc} = 24000 \cdot 0,85 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1 = 26520 \text{ год.}$$

$$B_{p.баз} = \frac{(490 \cdot 11 + 215 \cdot 12) \cdot 1,656 + (490 \cdot 18 + 215 \cdot 15) \cdot 5,483 + (490 \cdot 15 + 215 \cdot 7,5) \cdot 8,511}{26520 \cdot 60} = 0,0977 \text{ грн.}$$

$$B_{p.нр} = \frac{(490 \cdot 18 + 215 \cdot 15) \cdot 14,395}{26520 \cdot 60} = 0,1090 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{мд} = \frac{M_{зв} \cdot R_m \cdot t_{um}}{100 \cdot 60} \cdot K_v,$$

де $M_{зв}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали, коп.;

K_v – коефіцієнт, який враховує тип виробництва (для серійного $K_v=1$).

$$B_{мод.баз} = \frac{28,5 \cdot (11 \cdot 1,656 + 18 \cdot 5,483 + 15 \cdot 8,511)}{100 \cdot 60} \cdot 1,0 = 1,2779 \text{ грн.}$$

$$B_{мод.пр} = \frac{28,5 \cdot 18 \cdot 14,395}{100 \cdot 60} \cdot 1,0 = 1,2308 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію універсального обладнання:

$$B_{ам} = \frac{\Phi_{бал} \cdot H_a \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot 100 \cdot \eta_{зн}},$$

де $\Phi_{бал}$ – балансова вартість одиниці обладнання, грн.

$$\Phi_{бал} = \Pi_{опт} \cdot K_{тмф},$$

де $\Pi_{опт}$ – оптова ціна обладнання, грн.;

$K_{тмф}$ – коефіцієнт, який враховує витрати на транспортування обладнання (0,05...0,1), його монтаж (0,04...0,06), улаштування фундаменту (0,02...0,08);

H_a – норма амортизації на реновацію, %.

$$B_{ам.баз} = \frac{(95000 \cdot 1,656 + 800000 \cdot 5,483 + 160 \cdot 8,511) \cdot 1,19 \cdot 15}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,85} = 5,6166 \text{ грн.}$$

$$B_{ам.пр} = \frac{(800000 \cdot 6,885 + 560000 \cdot 7,51) \cdot 1,19 \cdot 15}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,8} = 9,2385 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію приміщення:

$$B_{ен} = \frac{S_{од} \cdot k_f \cdot C}{F_{дрм} \cdot \eta_{зн}} \cdot \frac{t_{ум}}{60},$$

де $S_{од}$ – площа в плані, яку займає одиниця обладнання, м²;

k_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (проходи, проїзди, транспортно-складські приміщення) [25, табл. 4].

C – річні витрати, пов'язані з експлуатацією 1м² виробничого приміщення, грн.

$$B_{ен.баз} = \frac{(2,98 \cdot 3,5 \cdot 1,656 + 5,22 \cdot 3 \cdot 5,483 + 14,84 \cdot 2 \cdot 8,511) \cdot 320}{3680 \cdot 60 \cdot 0,85} = 0,6066 \text{ грн.}$$

$$B_{ен.пр} = \frac{(5,22 \cdot 3 \cdot 6,885 + 0,21 \cdot 4 \cdot 7,51) \cdot 320}{3680 \cdot 60 \cdot 0,85} = 0,1946 \text{ грн.}$$

5.1.2. Розрахунок постійних витрат

За поелементним методом розрахунку постійні витрати включають:

$$P = B_{нал} + B_{сп.осн} + B_{ам.сп} + B_{пр},$$

де $B_{нал}$ – витрати на налагодження обладнання, грн.;

$B_{сп.осн}$ – витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн. (у порівнюваних варіантах відсутнє);

$B_{ам.сп}$ – витрати на амортизацію спеціального обладнання (у порівнюваних варіантах відсутнє), грн.;

$B_{пр}$ – витрати на створення програмного забезпечення верстатів з ЧПК (вартість програмного забезпечення для G20P CNC SUPERTEC в проектному варіанті входить до його вартості).

Витрати на налагодження обладнання:

$$B_{нал} = C_{гн} \cdot \frac{t_{н-з}}{60} \cdot (1 + K_{\phi}) \cdot (1 + K_c) \cdot A,$$

де $C_{гн}$ – годинна тарифна ставка наладчика відповідного розряду грн./год.;

$t_{н-з}$ – підготовчо-заключний час даної операції, хв.;

A – кількість партій, що відповідає кількості переналагоджень за рік.

$$B_{нал.баз} = \frac{36,705 \cdot 25 + 43,183 \cdot (20 + 22 \cdot 4)}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 18 = 134823,94 \text{ грн.}$$

$$B_{нал.пр} = 43,182 \cdot \frac{20 + 24}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 18 = 764,94 \text{ грн.}$$

Витрати на створення програмного забезпечення:

$$B_{пр} = T_{пр} \cdot Z_{год} \cdot K_{дс},$$

де $T_{пр}$ – трудомісткість підготовки програмного забезпечення, яка враховує трудомісткість розробки операційної карти техпроцесу, керуючої програми, карт налагодження інструменту, карти кодування інформації, год.;

$Z_{год}$ – середньогодинна заробітна плата інженерів з підготовки програмного забезпечення, грн./год.;

$K_{ос}$ – коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну плату та єдиний соціальний внесок.

$$B_{пр.баз} = 58,0 \cdot 4 \cdot 56,82 \cdot 1,342 = 17690,57 \text{ грн.}$$

Вартість програмного забезпечення для токарного верстату з ЧПК Hyundai E 200 та вертикального обробного центру HAAS VF-3DHE входить до їхньої вартості.

5.1.3. Розрахунок технологічної собівартості

Усі виконані розрахунки змінних та постійних витрат, а також розрахунок технологічної собівартості зведемо до табл. 5.2.

Технологічна собівартість:

$$C_{тех.баз} = 20,1595 \cdot 3000 + 19937,64 = 80416 \text{ грн.}$$

$$C_{тех.пр} = 22,1193 \cdot 3000 + 764,94 = 67123 \text{ грн.}$$

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей «маточина» $N_3=1600$ шт. є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

Таблиця 5.2 – Розрахунок технологічної собівартості

№ з/п	Статті витрат	Витрати, грн.	
		Базовий	Проект
1.	<u>Змінні витрати V</u>		
1.1	Заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з єдиним соціальним внеском	11,7463	9,9288
1.2	Електроенергія силова	0,8144	1,4176
1.3	Ремонт обладнання	0,0977	0,1090
1.4	Матеріали допоміжні	1,2779	1,2308
1.5	Амортизація універсального обладнання	5,6166	9,2385
1.6	Експлуатація приміщень	0,6066	0,1946
	Всього змінних витрат	20,1595	22,1193
2.	<u>Постійні витрати P</u>		
2.1	Налагодження обладнання	2247,07	764,94
2.2	Вартість програмного забезпечення	17690,57	-
	Всього постійних витрат	19937,64	764,94
	Технологічна собівартість річного випуску деталей C_{tex}	80416	67123

Для розмежування області ефективного використання того чи іншого варіанту технологічного процесу розрахуємо критичну програму випуску деталей $N_{кр}$, за якої варіанти, що порівнюються, будуть рівноцінними, тобто $C_{tex.баз}=C_{tex.пр}$:

$$N_{кр} = \frac{P_{пр} - P_{баз}}{V_{баз} - V_{пр}} = \frac{764,86 - 19937,64}{20,1595 - 22,1193} = 9783 \text{ шт.},$$

Співвідношення собівартості порівнюваних варіантів можливо здійснити шляхом побудови графіку зміни витрат по варіантах в залежності від зміни річного обсягу виробництва даної деталі (рис. 5.1). З графіку видно, що при програмі запуску деталі «маточина», яка не перевищує $N_{кр}=9783$ шт., в тому числі для заданої програми запуску $N_3=1600$ шт., більш ефективним є проектний варіант техпроцесу. При програмі запуску понад $N_{кр}$, ефективнішим є базовий варіант.

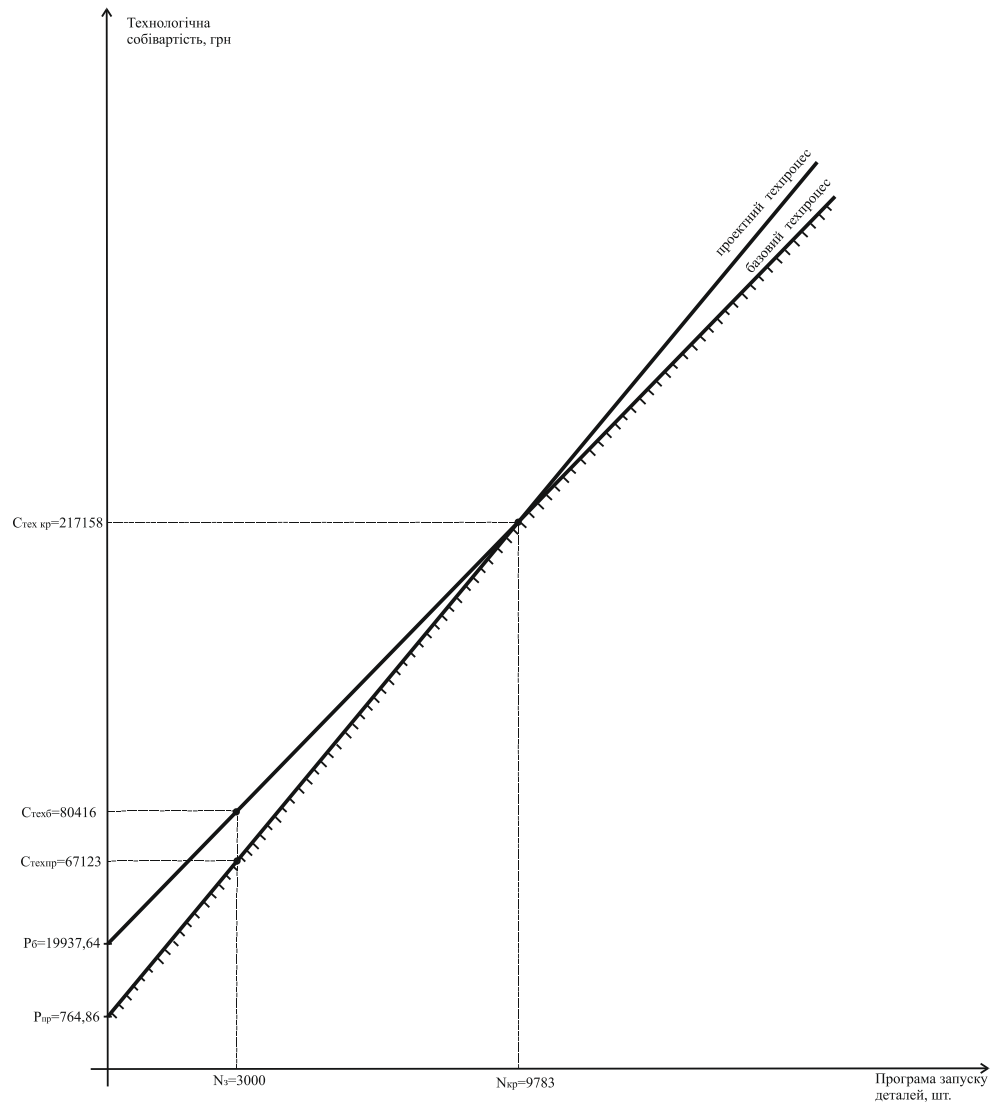


Рисунок 5.1 – Графічне зображення розмежування області ефективного використання варіантів техпроцесу механічної обробки деталі

5.1.4. Розрахунок показників економічної ефективності проектного варіанту технологічного процесу

Річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу:

$$E_p = (C_{\text{тех.баз}} + E_n \cdot K_{\text{баз}}) - (C_{\text{тех.пр}} + E_n \cdot K_{\text{пр}}),$$

де E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень;

$K_{\text{баз}}, K_{\text{пр}}$ – відповідно капітальні вкладення базового і проектного варіантів

техпроцесу, грн.

Капітальні вкладення по кожному варіанту складаються із вкладень в обладнання $\Phi_{бал}$, оснащення $B_{осн}$, а також у приміщення, яке це обладнання займає $K_{бюд}$, скореговані на коефіцієнт завантаження обладнання тих деталей-операцій, які відрізняються у порівнюваних варіантах:

$$K = (\Phi_{бал} + B_{осн} + K_{бюд}) \cdot \eta_{з_1},$$

Капітальні вкладення в будівлі розраховуємо за формулою:

$$K_{бюд} = S_{од} \cdot K_f \cdot q_{np} \cdot h \cdot \Pi_{бюд},$$

де h - висота приміщення цеху, м;

$\Pi_{бюд}$ – ціна 1м² виробничої площі висотою 8-10 м, грн./м³.

$$K_{бюд.баз} = (2,98 \cdot 3,5 + 5,22 \cdot 3 + 14,84 \cdot 2 \cdot 4) \cdot 8 \cdot 4000 = 4633920 \text{ грн.}$$

$$K_{бюд.нр} = (5,22 \cdot 3 + 0,21 \cdot 4) \cdot 8 \cdot 4000 = 528000 \text{ грн.}$$

Балансова вартість обладнання:

$$\Phi_{бал.баз} = (95000 + 800000 + 160000 \cdot 4) \cdot 1,19 = 1826650 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{бал.нр} = (800000 + 560000) \cdot 1,19 = 1618400 \text{ грн.}$$

$$K_{баз} = (4633920 + 1826650) \cdot 0,035 = 226120 \text{ грн.}$$

$$K_{нр} = (528000 + 1618400) \cdot 0,095 = 203908 \text{ грн.}$$

$$E_p = (80416 + 0,16 \cdot 226120) - (67123 + 0,16 \cdot 203908) = 16850 \text{ грн.}$$

При впровадженні нового технологічного процесу додаткові капітальні вкладення – відсутні.

Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу (у відсотках) розраховуємо за формулою:

$$\Delta T_p = \frac{\sum_{i=1}^m t_{ум(i)}^{баз}}{\sum_{i=1}^m t_{ум(i)}^{нр}} \cdot 100 - 100 = \frac{15,65}{14,395} \cdot 100 - 100 = 8,7\%,$$

5.2. Розрахунок планової цехової собівартості деталі

Цехова собівартість виготовлення деталі визначається як сума калькуляційних статей витрат:

$$C_{цех} = M_o + Z_{од} + B_c + B_{ин} + B_o + B_{ц},$$

де M_o - вартість основних матеріалів, грн.; $Z_{од}$ - основна та додаткова заробітна плата основних виробничих робітників, грн.; B_c - відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний внесок), грн.; $B_{ин}$ - витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн.; B_o - витрати на утримання та експлуатацію обладнання, грн.; $B_{ц}$ - цехові витрати, грн.

Вартість основних матеріалів:

$$M_o = a_p \cdot Ц_m \cdot K_{тр} - a_v \cdot Ц_v,$$

де a_p - норма витрат матеріалу на деталь (сталі 18ХГТ), кг.; $Ц_m$ - ціна матеріалу, грн./кг.; $K_{тр}$ - коефіцієнт, який враховує транспортно-заготівельні витрати, витрати на зберігання матеріалів (приймається у розмірі 1,05...1,08); a_v - маса відходів, кг.; $Ц_v$ - ціна відходів, грн./кг.

$$M_o = 6,10 \cdot 58,0 \cdot 1,05 - 1,72 \cdot 8,70 = 356,526 \text{ грн.}$$

Заробітна плата основна й додаткова виробничих робітників:

$$Z_{од} = P_{\epsilon} (1 + K_{\delta}),$$

де P_{ϵ} - відрядний розцінок на деталь (основна зарплата), що визначається, як сума операційних розцінок $P_{on(i)}$:

$$P_{\epsilon} = \sum_1^m P_{on_i} = \sum_1^m \frac{e_{год_i}^{\epsilon} \cdot t_{um-\kappa_i}}{60},$$

де $e_{год_i}^{\epsilon}$ - годинна тарифна ставка відрядника відповідного розряду роботи i -ої операції технологічного процесу, грн./год.;

$t_{um-\kappa_i}$ - штучно-калькуляційний час i -ої операції технологічного процесу, хв.:

На операції 005 техпроцесу:

$$P_{on_1} = 29,148 \cdot \frac{6,885}{60} = 3,3933 \text{ грн./шт.}$$

Розрахунок відрядної розцінки на деталь зведемо до табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок відрядної розцінки на деталь

п.	Найменування операції	$t_{шт-к}$, хв.	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Розцінка на деталь, грн.
005	Токарна з ЧПК	6,985	3	29,148	3,3933
010	Токарна з ЧПК	1,458	4	32,387	0,7870
015	Фрезерна з ЧПК	6,962	4	32,387	3,7580
020	Комплексна з ЧПК	7,610	4	32,387	4,1078
	Всього	23,015	—	—	12,0461

$$З_{од} = 12,0461 \cdot (1 + 0,1) = 13,2507 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби виробничих робітників:

$$B_c = 13,2507 \cdot \frac{22}{100} = 2,9152 \text{ грн.,}$$

де K_c - відсоток єдиного соціального внеску.

Витрати на експлуатацію спеціального оснащення, що припадають на одну деталь, складають 10-15 грн. на одну нормо-годину трудомісткості виготовлення деталі (менше значення відповідає ДС, більше – ВС).

$$B_{осн} = 15 \cdot \frac{22,515}{60} = 5,6288 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

$$B_o = З_o \cdot \frac{П_{60}}{100} = 12,0461 \cdot \frac{320}{100} = 38,5475 \text{ грн.,}$$

де $П_{60}$ - процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання;

$З_o$ - основна заробітна плата за виготовлення деталі, грн.

Загальноцехові витрати в собівартості деталі:

$$B_{\text{ц}} = Z_o \cdot \frac{P_{\text{ц}}}{100} = 12,0461 \cdot \frac{240}{100} = 28,9106 \text{ грн.},$$

де $P_{\text{ц}}$ – процент цехових витрат.

Калькуляцію цехової собівартості деталі слід звести до табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Калькуляція цехової собівартості виготовлення деталі

№ з/п	Найменування статей	Витрати, грн.
1.	Матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів	356,5260
2.	Основна заробітна плата виробничих робітників	12,0461
3.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	1,2046
4.	Відрахування у соціальні фонди	2,9151
5.	Експлуатація спеціального оснащення	5,6288
6.	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	38,5475
7.	Цехові витрати	28,9106
8.	Всього цехова собівартість $C_{\text{ц}}$	445,7787

5.3. Планування підсумкових техніко-економічних показників

Крім показників, розрахованих у попередніх розділах дипломної роботи, слід додатково визначити такі:

- виробіток продукції на одного робітника:

$$B_n = \frac{T_p}{R_o} = \frac{14360}{8} = 1795 \text{ нормо-год./ос.},$$

де T_p – трудомісткість річної виробничої програми дільниці, нормо-год.;

R_o – чисельність основних робітників цеху, осіб;

- зарплатомісткість продукції:

$$Z_{\text{зн}} = \frac{Z_{\text{од}}}{C_{\text{ц}}} \cdot 100 = \frac{13,251}{445,779} \cdot 100 = 3,0\%,$$

де $Z_{\text{од}}$ – основна й додаткова заробітна плата у собівартості деталі, грн.;

$C_{\text{ц}}$ - цехова собівартість деталі, грн.

- матеріаломісткість продукції:

$$Z_{mn} = \frac{M_o}{C_{\text{ц}}} \cdot 100 = \frac{356,526}{445,779} \cdot 100 = 80,0\%,$$

де M_o – матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів у собівартості деталі, грн.

- собівартість товарної продукції цеху:

$$C_{mn} = C_{\text{ц}} \cdot N_z \cdot K_{\text{дов}}$$

де N_z - річна програма запуску деталей, шт./рік.

$$C_{mn} = 445,779 \cdot 3000 \cdot 10,63 = 14215900 \text{ грн.}$$

Підсумкові техніко-економічні показники роботи цеху слід звести до табл. 5.5.

Таблица 5.5 – Техніко-економічні показники цеху

№ з/п	Показник	Одиниця виміру	Величина
1.	Програма запуску деталі (N_z)	шт./рік	3000
2.	Трудомісткість виробничої програми (T_p)	нормо-год.	14360
3.	Цехова собівартість деталі	грн.	445,48
4.	Собівартість товарної продукції цеху (C_{mn})	тис. грн./рік	14215,9
5.	Чисельність основних робітників	осіб	8
6.	Виробіток продукції на одного робітника	нормо-год.	1795
7.	Матеріаломісткість продукції	%	80,0
8.	Зарплатомісткість продукції	%	3,0
9.	Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу ΔT_p	%	8,7
10.	Річний економічний ефект від застосування проектного варіанту техпроцесу E_p	грн.	46850

ВИСНОВКИ

1. Розроблена технологія обробки маточини П00014. У відповідності до існуючого типу виробництва було запропоновано використання сучасних обробних центрів з ЧПК. Для запропонованого технологічного процесу були розроблені структура та зміст операцій, вибране технологічне обладнання, визначені режими різання і технічно обґрунтована норма часу.

2. Зпроектовані конструкції затискного спеціального пристрою та контрольного пристрою індикаторного типу.

3. Розроблено методику проведення структурно-морфологічного аналізу токарних роботизованих комплексів. Проведені дослідження з визначення критеріїв якісної оцінки будови та функціонування токарних роботизованих комплексів. Виконано розподіл об'єктів роботизованих комплексів на морфологічні ознаки і складано морфологічні матриці.

4. Проведено синтез варіантів виконань двозахватних промислових робіт та роботизованих комплексів. Виконано багатокритеріальний вибір раціональних структур синтезованих компонувальних схем роботизованих комплексів на основі перетину нечітких множин. Розроблено загальну структуру роботизованих технологічних комплексів

5. Усі прийняті у кваліфікаційній роботі технічні та технологічні рішення обґрунтовані техніко-економічними розрахунками. Річний економічний ефект від впровадження запропонованої технології становить 46850 грн.

ЛІТЕРАТУРА

1. Горбачевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения.-Мн.:Выш. Школа, 1983.
2. Машиностроительные материалы: Краткий справочник/В.М. Чуенков, Н.Ф. Бессонова, Д.А. Вейс.-3-е изд. Переработанное и дополненное-М.: Машиностроение, 1980.
3. Проектирование и производство заготовок в машиностроении: Учебное пособие/П.А. Руденко-К.: Выща школа, 1991.
4. Методические указания к выполнению курсового проекта по технологии машиностроения для студентов специальности 0501-Кировоград. КИСХМ-1986.
5. Справочник технолога-машиностроителя. Т1.,2-М.: Машиностроение, 1982.
6. Балабанов А.Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя.-М.: Издательство стандартов, 1992.
7. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технологического нормирования работ на металлорежущих станках.-М.: Машиностроение, 1974.
8. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть II-Москва.: Экономика, 1990.
9. Станочные приспособления: Справочник. В 2-х т./Под редакцией Б.Н. Вардашкина, -М.: Машиностроение, 1984.
10. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник.-2-е изд., перераб. и доп. -М.: Машиностроение, 1990.
11. А.К. Кутай. Справочник контрольного мастера.-Л.: Лениздат, 1980.
12. Справочник технолога-машиностроителя. /Под редакцией А.Г. Косиловой.- М.: ГНТИ машиностроительной литературы, 1956.
13. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы. Справочник. – М.: Машиностроение, 1983. – 374с.
14. Справочник по промышленной робототехнике. / Под ред. Ш. Нофа – М.: Машиностроение, 1989.

15. Справочник металлиста. Т.3. Под редакцией А.Н.Малова/Е.Д. Баклунов, А.К. Белопухов и др. –М.: Машиностроение, 1977.
16. Промышленные роботы в машиностроении: Альбом схем и чертежей. /Под ред. Соломенцева Ю.М. - М.: Машиностроение, 1987 - 140с.
17. Справочник технолога-машиностроителя. Т.1. Под ред. А.Н. Малова/ В.Н. Гриднев, В.В. Достачов и др. –М.: Машиностроение, 1972.
18. Механика промышленных роботов. В 3-х к. /Под ред. Фролова К.Ф., Воробьева Е.И. – М.: Высшая школа, 1988.
19. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування. Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420.
20. Павленко І.І. Промислові роботи та РТК. Монографія – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф. 2016. – 492с.
- 21.Павленко І.І., Мажара В.А. Роботизовані технологічні комплекси: Навчальний посібник. Кіровоград: КНТУ, 2010. – 392с.
- 22.Маталин А.А., Френкель Б.И. Проектирование технологических процессов обработки деталей на станках с числом программным управлением. – Л., Изд-во Ленингр.универс., 1977.
23. Ординарцев А.А. Справочник инструменталиста. – М.: Машиностроение
24. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник. /Под ред. Великанова К.М.-Л.: Машиностроение. Ленинградское отд., 1989.
25. Економічні та організаційно-планові розрахунки при проектуванні цеху механічної обробки. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту для студентів спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування». /Укл. Журило І.В., Романюк Л.М. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017 – 25 с.
26. Ткачук К.Н., Зацарний В.В. Сабарно Р.В. та ін. Охорона праці та промислова безпека : Навч. посіб. – К.: Лібра, 2010. – 268 с.
27. Порядок розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві. Постанова Кабінету Міністрів України від 17 квітня 2019 р. № 337.