

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

**Дослідження параметрів цангових механізмів з
розробкою технології обробки шестерні ведучої**

**Research of collet mechanism parameters with
development of driving gear machining technology**

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури групи ГМ-23М-3
ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
_____ **Станіслав СІТНИЦЬКИЙ**

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент
_____ **Віталій МАЖАРА**

Рецензент:
канд. техн. наук, доцент
_____ **Руслан ОСІН**

Завідувач кафедри ММР
канд. техн. наук, доцент
_____ **Андрій ГРЕЧКА**

Кропивницький 2025

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

Другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

Освітньо-наукова програма: Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

машинобудування,

мехатроніки і робототехніки

канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

Завдання на кваліфікаційну роботу за другим (магістерським) рівнем вищої освіти Сітницькому Станіславу Павловичу

Тема роботи:

Дослідження параметрів цангових механізмів з розробкою технології обробки шестерні ведучої

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Віталій МАЖАРА

Затверджено наказом ЦНТУ від 20 січня 2025 року № 234-02.

Строк подання роботи до захисту:

20 травня 2025 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: підвищення ефективності використання цангових затискних пристроїв в металообробному обладнанні.

Завдання: розробити технологічний процес виготовлення шестерні ведучої; провести структурно-системні дослідження цангових затискних механізмів з використанням морфологічного аналізу; провести аналіз конструктивних параметрів цангових механізмів та дослідити їх вплив на довжину пелюстки цанги; дослідити вплив тиску в системі стиснутого повітря та між діаметрального зазору на силу затиску; провести експериментальні дослідження цангових механізмів.

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	канд. екон. наук, доцент Ірина ЖУРИЛО		

Календарний план

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	01.03.2025 р.	
2	Виконання загальної частини	15.03.2025 р.	
3	Виконання технологічної частини	02.04.2025 р.	
3	Виконання конструкторської частини	18.04.2025 р.	
4	Виконання дослідної частини	01.05.2025 р.	
5	Виконання економічної частини	12.05.2025 р.	
6	Виконання графічної частини	15.05.2025 р.	
7	Перевірка роботи на академічний плагіат	15.05.2025 р.	
8	Рецензування роботи	16.05.2025 р.	

Дата видачі завдання
03 лютого 2025 р.

Здобувач вищої освіти

Станіслав СІТНІЦЬКИЙ

Керівник роботи

Віталій МАЖАРА

АНОТАЦІЯ

Сітніцький С. П. Дослідження параметрів цангових механізмів з розробкою технології обробки шестерні ведучої : кваліфікаційна магістерська робота : спец. 133 «Галузеве машинобудування» ОНП «Галузеве машинобудування» / наук. кер. В. А. Мажара. Центральнoукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. - 85 с.

Графічна частина – 8 аркушів формату А1.

Метою роботи є підвищення ефективності використання цангових затискних пристроїв в металообробному обладнанні.

Актуальність роботи. Проблема використання затискних цангових патронів виникають при переході на обробку заготовок іншого номіналу діаметрів, коли необхідно провести заміну затискних цанг або цангових патронів. При цьому витрачається значна кількість допоміжного часу на переналадку верстату в цілому. Тож пошук і створення нових конструкцій цангових патронів і їх окремих елементів, які забезпечують затиск заготовок в широкому діапазоні номіналів діаметрів та теоретичне і експериментальне дослідження їх характеристик є актуальною проблемою.

Наукова новизна. Проведені структурно-системні дослідження цангових затискних механізмів з використанням морфологічного аналізу, які дозволили розробити нові конструкції таких механізмів. Проведено аналіз конструктивних параметрів цангових механізмів, та досліджено їх вплив на довжину пелюстки цанги. Досліджено вплив тиску в системі стиснутого повітря та між діаметрального зазору на силу затиску. Експериментальним шляхом виведено математичні моделі впливу параметрів на силу затиску. Побудовано відповідні графіки та поверхні відгуку.

цанговий патрон, шестерня ведуча, технологічний процес, затискний пристрій

ANNOTATION

Sitnitskyi S. P. Research of collet mechanism parameters with development of driving gear machining technology : qualification work for the educational level "Master's" : specialty 133 "Industrial Machinery Engineering" ESP "Industrial Machinery Engineering" / scientific director V. A. Mazhara. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi: TsNTU, 2025. - 85 p.

Graphic part - 8 sheets of A1 format.

The aim of the work is to increase the efficiency of using collet clamping devices in metalworking equipment.

Relevance of the work. The problem of using clamping collet chucks arises when switching to machining workpieces of a different diameter rating, when it is necessary to replace clamping collets or collet chucks. This requires a considerable amount of additional time to change over the machine as a whole. Therefore, the search for and creation of new collet chuck designs and their individual elements that provide clamping of workpieces in a wide range of diameter ratings and theoretical and experimental study of their characteristics is an urgent problem.

Scientific novelty. Structural and systematic studies of collet clamping mechanisms using morphological analysis were carried out, which allowed the development of new designs of such mechanisms. The structural parameters of collet mechanisms were analysed and their influence on the length of the collet petal was investigated. The effect of pressure in the compressed air system and the inter-diameter gap on the clamping force is investigated. The mathematical models of the influence of parameters on the clamping force were experimentally derived. The corresponding graphs and response surfaces are constructed.

collet chuck, drive gear, technological process, clamping device

ЗМІСТ

ВСТУП	8
 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	
1.1 Характеристика вузла та деталі, що обрана для проектування технологічного процесу	9
1.2 Характеристика виробничої програми та визначення типу виробництва	11
 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	
2.1 Аналіз точності та технологічності деталі	13
2.2 Аналіз діючого технологічного процесу	15
2.3 Вибір методів обробки поверхонь	17
2.4 Розробка маршруту виготовлення деталі	19
2.5 Розробка структури та змісту технологічних операцій	21
2.6 Вибір технологічного оснащення, ріжучого та контрольного інструменту	28
2.7 Розрахунок режимів різання та технічне нормування	32
 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	
3.1 Опис будови та роботи затискного пристрою	37
3.2 Розрахунок сили затиску деталі	38
3.3 Розрахунок параметрів силового приводу	40
 4 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	
4.1 Вступ	41
4.2 Структурно - системні дослідження цангових затискних механізмів	42
4.3 Аналіз конструктивних параметрів цангових механізмів	51

4.4 Дослідження впливу тиска в системі та зазору між деталлю і цангою на силу затиску	60
4.5 Висновки	71

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Аналіз варіантів технологічного процесу	72
5.2 Розрахунок показників економічної ефективності проектного варіанту технологічного процесу	78
5.3 Планування підсумкових техніко-економічних показників	79
Висновки	81
Література	82

ВСТУП

Для забезпечення ефективного функціонування швидко переналагоджуваного виробництва необхідно впроваджувати нові сучасні технології, нове технологічне обладнання, побудоване на базі верстатів з ЧПК.

Необхідно також вирішити проблему раціонального поєднання продуктивності праці та гнучкого виробництва.

Слід відмітити, що в умовах серійного виробництва, в сучасних умовах, першорядне значення повинно бути як за технологією виробництва, так і за побудовою технологічного обладнання для реалізації запропонованого технологічного процесу.

Таким чином, повинен здійснюватись принцип – не вибір існуючого обладнання для реалізації розробленого технологічного процесу, а проектування гнучкого обладнання для реалізації нової сучасної технології виробництва.

Випускна кваліфікаційна робота присвячена розробці технології механічної обробки шестерні ведучої та дослідженню конструктивних параметрів цангових механізмів.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика вузла та деталі, що обрана для проектування технологічного процесу

Насоси шестеренні серії MASTER (рис. 1.1) призначені для нагнітання робочої рідини в гідравлічні системи тракторів, сільськогосподарських машин.

Насос має торцову та радіальну компенсацію зазорів, які в поєднанні з обмеженою зоною високого тиску забезпечують надійну роботу на малов'язких робочих рідинах при збереженні високого ККД.

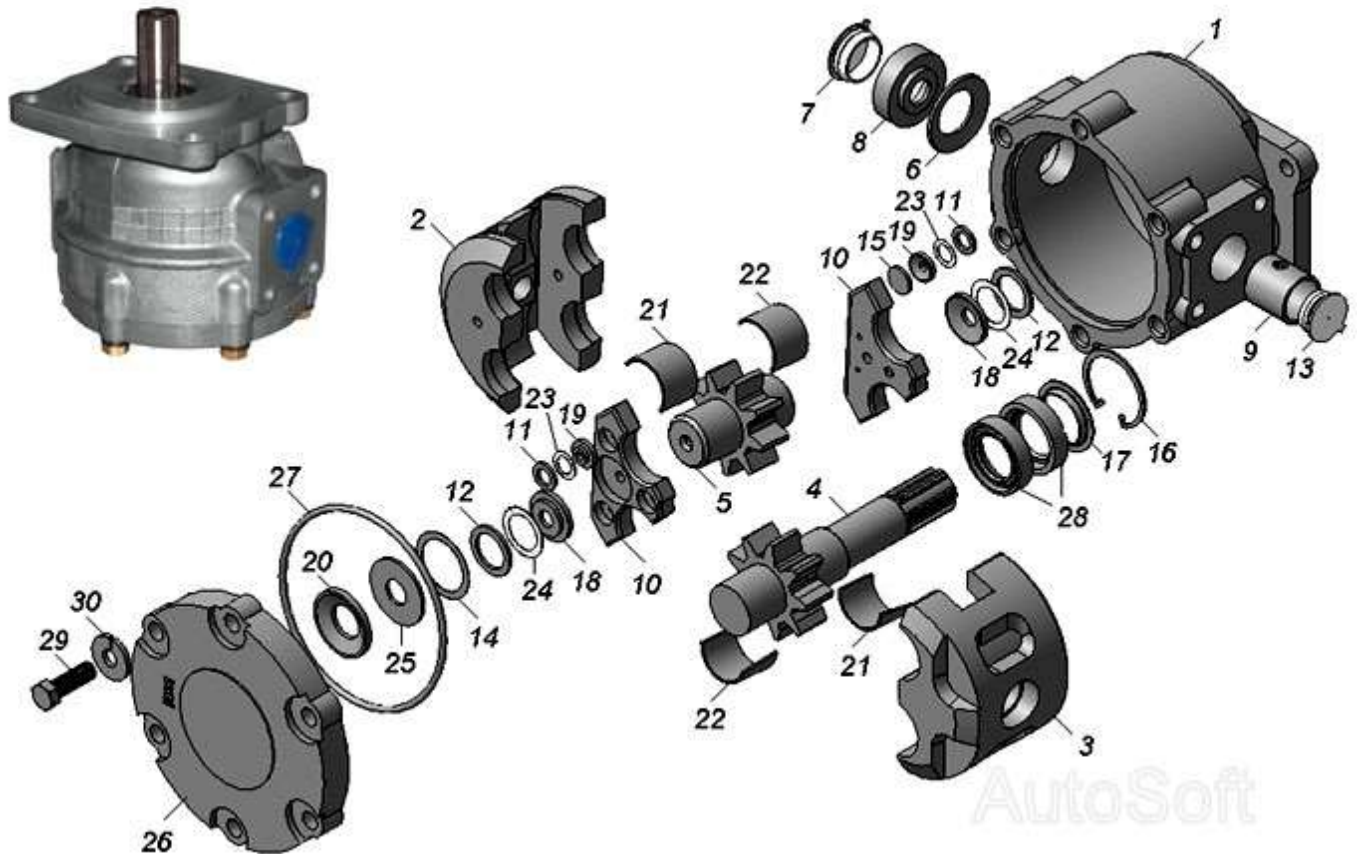


Рисунок 1.1 – Схема насосів шестеренних серії MASTER

Насос (рис. 1.1) складається з таких основних частин: корпус поз. 1, обойма підтискна поз. 2, обойма підшипникова поз. 3, шестерня ведуча поз. 4, шестерня ведена поз. 5 та кришка поз. 26. В даній кваліфікаційній роботі розглядається шестерня ведуча НШ32М-3-03 для насосу серії MASTER 32 виконання.

Робоча рідина в шестереному насосі нагнітається за допомогою ведучої (поз. 4) та веденої (поз. 5) шестерен, розташованих в розточках корпуса (поз. 1). Шестерні розташовуються між металофторопластовими втулками (поз. 21 та 22) які виконують роль підшипників і одночасно являють собою компенсатори зазорів. Зазначені втулки встановлюються у обойми – підтискну (поз. 2) та підшипникову (поз. 3). Кришка (поз. 26) приєднується до корпуса (поз. 1) бовтами, під якими встановлені пружинні шайби. Герметичність по площині роз'єму корпус-кришка досягається установкою гумового кільця (поз. 27).

Технічні характеристики насосу наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики насосу

Найменування параметру	Норма
Номінальний робочий об'єм, см ³	32
Тиск на виході, Мпа	- номінальний - максимальний
	16 25
Частота обертання, с ⁻¹	- номінальна - мінімальна - максимальна
	25 8,3 40
Номінальна об'ємна подача, л/хв..	173,4
Коефіцієнт подачі,	0,95
Загальний коефіцієнт поліпної дії,	0,86
Номінальна потужність, кВт,	64,1
Маса, кг	17
Габаритні розміри, мм	205x210x267
Кінематична в'язкість робочої рідини, мм ² /с	55 ... 70
Температура навколишнього середовища, °С	
- мінімальна	- 60
- максимальна	+ 50

Шестерня ведуча НШ32М-3-03 (поз. 5, рис. 1.1) разом із шестернею веденою утворюють качаючий вузол насоса шестеренного. Для передачі крутного моменту від двигуна на шийці шестерні нарізано шість шліців. Шийки шестерні $\varnothing 25^{+0,115}_{-0,13}$ призначені для базування деталі на підшипники ковзання і мають високі параметри точності та шорсткості.

1.2 Характеристика виробничої програми та визначення типу виробництва

Річна програма випуску шасосів 32 серії $N_v=10000$ штук, тож програма випуска шестерні ведучої НШ32М-3-03 – $N_{ш.} = 10000$ шт.

Характеристика виробничої програми приведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристика виробничої програми

Назва виробу	Маса одного виробу, кг	Річна програма випуску	
		штук	тон
Шестерня ведуча НШ32М-3-03	0.715	10000	7.15

Тип виробництва по ГОСТ 3.1108-74 характеризується коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о.}$. Розрахунок типу виробництва виконуємо за допомогою компютера, використовуючи дані базового технологічного процесу ($T_{шт.}$).

Розрахунок типу виробництва

Шестерня ведуча НШ32М-3-03

Вихідні дані

Програма випуску 10000

Номер операції	Дійсний річний фонд часу роботи обладнання	Штучний час
5	3977	2.2670
10	3977	2.8870
15	3977	3.3650
20	3977	7.3670
25	3977	3.5690
30	3977	2.1290
35	3977	1.0140
40	3977	1.8310
45	3977	1.6130
50	3977	1.6130
55	3977	0.7850
60	3977	1.1210

Результати розрахунку

Номер операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Кількість операцій на даному верстаті
5	0.3262	1	2.45
10	0.4095	1	1.95
15	0.7005	1	1.14
20	1.7532	2	0.91
25	0.6679	1	1.20
30	0.3522	1	2.27
35	0.1422	1	5.62
40	0.2492	1	3.21
45	0.2207	1	3.63
50	0.2207	1	3.63
55	0.1112	1	7.20
60	0.1552	1	5.15

Коефіцієнт закріплення операцій 10.951209

Тип виробництва – середньосерійний

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз точності та технологічності деталі

Аналіз точності параметрів заданих деталей виконується з метою їх оцінки вимогам механічної обробки та відповідності діючим стандартам і службовому призначенню.

З метою виконання аналізу точності деталей необхідно виконати ескіз деталі з нумерацією всіх оброблюємих поверхонь, а висновки по точності параметрів занести в таблицю 2.1.

Шестерня ведуча НШ32М-3-03 не має нетехнологічних елементів. Конфігурація деталі не ускладнює використання прохідних різців. Торці зубчатого колеса обробляються з піднутрінням. Це викликане необхідністю зменшення витoku мастила крізь торцеві зазори під час роботи насоса. Жорсткість деталі є достатньою для використання сучасного обладнання та ріжучого інструменту для отримання розмірів високої точності.

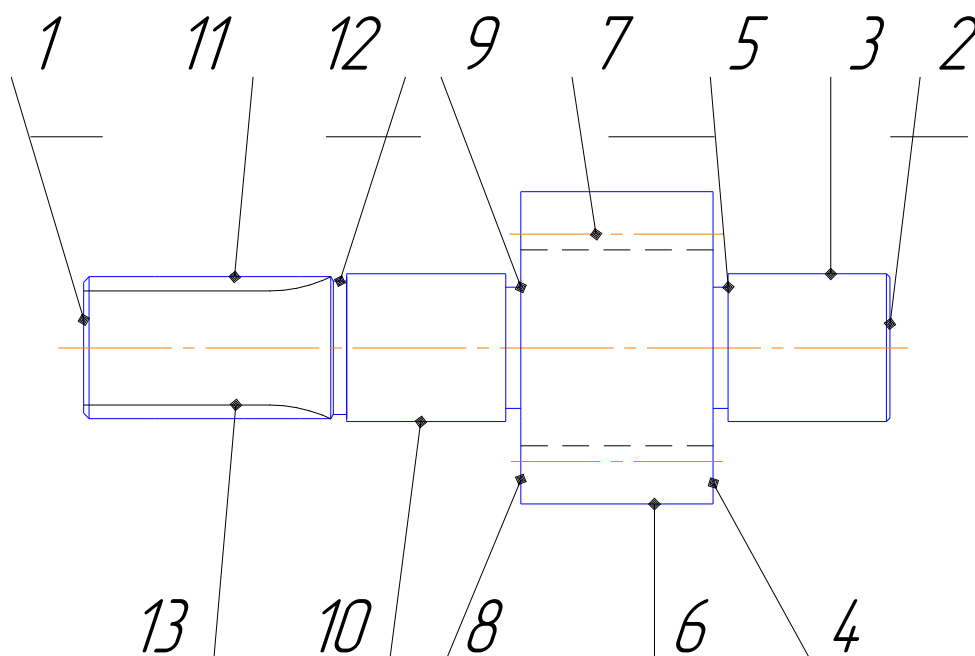
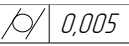
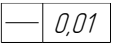
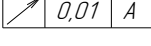
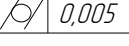
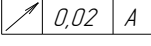
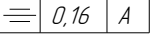


Рисунок 2.1 – Поверхні що обробляються в шестерні ведучій НШ32М-3-03

Шийки шестерні $\varnothing 25^{-0,115}_{-0,13}$ (пов. 3, 10) та торці зубчатого вінця $24.02_{-0,02}$ (пов. 4, 8) мають параметр шорсткості $R_a 0,16$. Зубчатий вінець $\varnothing 54.1^{-0,01}_{-0,04}$ (пов. 6) та шліцева поверхня $\varnothing 25^{-0,04}_{-0,092}$ мають параметр шорсткості $R_a 1,25$. Шорсткість поверхні зубців по евольвентному профілю складає $R_a 2,5$. Перераховані поверхні є найбільш складними та вимагають використання шліфувальних та суперфінішних верстатів. Інші поверхні оброблюються за 11 – 14 квалітетами і мають параметри шорсткості $R_a 3,2 – 12,5$ що можна досягти лезовою обробкою.

Таблиця 2.1 – Параметри точності деталі шестерня НШ32М-3-03

№	Найменування поверхні	Розміри з відхиленням	Квалітет	Точність відносних поворотів	Точність форми	R_a
1, 2	Торці	$154_{-0,7}$	h13	-	-	12,5
3	Зовнішня циліндрична	$\varnothing 25^{-0,115}_{-0,13}$	f6	 $0,005$ A	 $0,005$	0,16
				 $0,008$ A		
4, 8	Торці	$24.02_{-0,02}$	h7	-	 $0,01$	0,16
5	Канавка	$\varnothing 24,85_{-0,52}$	h9	-	-	6,3
7	Западина зуба	$\varnothing 35_{-0,62}$	h9	 $0,01$ A	-	2,5
6	Зубчатий вінець	$\varnothing 54.1^{-0,01}_{-0,04}$	g7		-	1,25
9	Канавка	$\varnothing 24,85_{-0,52}$	h9	-	-	6,3
10	Зовнішня циліндрична	$\varnothing 25^{-0,115}_{-0,13}$	f6	 $0,005$ A	 $0,005$	0,16
11	Зовнішня циліндрична	$\varnothing 25^{-0,04}_{-0,092}$	e9	 $0,02$ A	-	1,25
				-		
12	Канавка	$\varnothing 23.5_{-0,21}$	h12		-	6,3
		$2,4^{+0,3}_{-0,3}$	js16	-		
13	Шліці	$\varnothing 20.1_{-0,07}$	h14	 $0,16$ A	-	3,2
		$5^{-0,035}_{-0,15}$				

Деталь є нескладною та в цілому, технологічною, але високі вимоги по точності і шорсткості призводять до високої трудомісткості. З точки зору механічної обробки деталь технологічна. Вона має зручні базові поверхні для закріплення деталі. Конструкція деталі дозволяє використовувати при токарній обробці поверхонь токарні верстати з ЧПУ. До всіх оброблюваних поверхонь є вільний доступ різального і вимірювального інструментів.

Аналіз технічних умов на виготовлення деталі:

1. Цементувати h 0,7...1,3 мм; 57...63 HRC; серцевина 25...45 HRC.
2. Гострі кромки по профілю евольвенти та западини зубця заокруглити R0,06...0,15 мм.
3. Допускається неплоскостинність поверхонь 4 та 8 з вогнутістю в тіло шестерні 0,012мм, не більше, та випуклістю 0,005мм, не більше.
4. Різниця діаметрів цапф (3 та 10) не більше 0,005 мм.
5. Невказані граничні відхилення розмірів: $h14; \pm(t2/2)$.

Заготовка піддається термообробці – відпалу. Кінцева термообробка – цементация. Метод простановки розмірів – комбінований.

Технічні умови задані коректно і відповідають діючим стандартам. Кількість їх достатня для виготовлення деталей.

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу

Аналіз діючого технологічного процесу механічної обробки шестерні ведучої показує, що він забезпечує виготовлення деталі у повній відповідності з даними вимогами, що до точності, продуктивності та собівартості.

Базовий технологічний процес обробки деталі наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Базовий технологічний процес обробки шестерні

№ операції	Найменування операції	Обладнання	T _{шт} , хв
005	Токарна з ЧПК	GA-2000-300 GOODWAY	2.267
010	Токарна з ЧПК	GA-2000-300 GOODWAY	2.887
020	Зубофрезерна	5B312	3.365
025	Зубодовбальна	5122 KH24	7.367
030	Зубошевінгувальна	5702B	3.569
035	Шліцефрезерна	5350A	2.129
060	Круглошліфувальна	3A151	1,014
065	Круглошліфувальна	3A151	1,831
070	Торцекруглошліфувальна	3T160	1,613
075	Торцекруглошліфувальна	3T160	1,613
080	Суперфінішна	ЗД879	0,785
085	Доводочна	020-011	1,121

Відповідно до серійного типу виробництва в технологічному процесі застосовуються сучані верстати з числовим програмним керуванням.

Чорнова та чистова токарна обробка поверхонь деталі виконується на токарних верстатах з ЧПК GA-2000-300 фірми GOODWAY, що забезпечує необхідну якість обробки, продуктивність та гнучкість.

Обробка зубчатого вінця складається з трьох операцій. Основний припуск знімається на зубофрезерному верстаті. Зубофрезерування є однією з найбільш трудомістких операцій технологічного процесу. Підвищити продуктивність можна за рахунок режимів різання та збільшуючи число заходів фрези. Також можна підвищити продуктивність використовуючи заготовку з зубчатим вінцем отриманим методами пластичного деформування. Друга операція – зубодовбальна прийнята як напівчистова. Цей метод обробки дозволяє отримати більш високу

точність профілю зуба та параметр шорсткості поверхні. Третя операція – зубошевінгування дисковим шевером призначена для чистової обробки зубців, підвищення точності зубчатого зачеплення та параметра шорсткості поверхні профілю зубців.

Обробка шліців ведеться на шліцефрезерному верстаті спеціальною черв'ячною фрезою. Це дозволяє підвищити продуктивність. Спеціально розрахований профіль фрези дозволяє отримати високий параметр шорсткості поверхні шліців.

Чистова обробка циліндричних поверхонь деталі після термообробки виконується на круглошліфувальних верстатах, а обробка торців шестерні та опорних шийок одночасно на торцекруглошліфувальних верстатах.

Для отримання високих параметрів шорсткості поверхонь торців шестерні та опорних шийок застосовують спеціальні суперфінішні та доводочні верстати.

Даний технологічний процес добре адаптований під вимоги сучасного виробництва, але можливо замінити два круглошліфувальних верстати 3A151, які використовувалися на 060 та 065 операціях на більш сучасний круглошліфувальний верстат з ЧПК G20P CNC фірми SUPERTEC який дозволить підвищити продуктивність та замінить два верстати.

2.3 Вибір методів обробки поверхонь

Методи та маршрути обробки поверхонь визначаємо виходячи з вимог, щодо точності та якості готової деталі, щоб найкоротшим і найекономічнішим шляхом забезпечити задані параметри [20].

Таблиця 2.3 – Зведена таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь деталі шестерня ведуча

Позначення поверхні	Допуск на поверхню деталі δ_d , мм	Шорсткість поверхні R_a	Допуск на заготовку δ_z , мм	Загальне уточнення ϵ_z	Можливі технологічні маршрути обробки		Економічні допуски на проміжні методи обробки	Частинні коефіцієнти уточнення
					№	Зміст маршруту		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1, 2	0,7	12,5	1.8	2,57	1	Точіння одноразове	0,7	2.57
3, 10	0,015	0,16	0.8	53,33	1	Точіння чорнове	0,13	6.154
						Точіння чистове	0,052	2,5
						Шліфування	0,033	1.576
						Суперфініш	0,015	2,2
					2	Точіння чорнове	0,21	3.81
						Точіння чистове	0,084	2,5
						Шліфування чорнове	0,033	2.55
						Шліфування чистове	0,021	1.571
						Шліфування тонке	0,015	1,4
4, 8	0,02	0,16	1,8	90	1	Точіння чорнове	0,25	7,2
						Точіння чистове	0,1	2,5
						Шліфування	0,039	2,56
						Доводка	0,02	1,95
6	0,03	1,25	1.2	40	1	Точіння чорнове	0,19	6.32
						Точіння чистове	0,074	2,57
						Шліфування	0,03	2.47

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	0,1	2,5	-	-	1	Фрезерування	0,25	-
						Довбання	0,15	1,67
						Шевингування	0,1	1,5
13	0,062	1,25	0.8	12.9	1	Точіння чорнове	0,13	6.154
						Точіння чистове	0,084	1.548
						Шліфування	0,052	1,62
						Фрезерування шліців	0,167	-
11	0,062	1,25	0.8	12.9	1	Точіння чорнове	0,13	6.154
						Точіння чистове	0,084	1.548
						Шліфування	0,052	1,62

2.4 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут обробки деталі будуюмо з урахуванням обраних маршрутів обробки окремих поверхонь, типу виробництва, технологічних можливостей вибраних металорізальних верстатів, технічних вимог тощо.

Маршрут виготовлення деталі шестерня ведуча НШ32М-3-03.

005 Токарна з ЧПК (токарний з ЧПК GA-2000-300 фірми GOODWAY)

Точити торець, цапфу з короткої сторони та вінець начорно та начисто, точити канавку, свердлити центровий отвір.

010 Токарна з ЧПК (токарний з ЧПК GA-2000-300 фірми GOODWAY)

Точити торець, цапфу з довгої сторони та торець вінця начорно та начисто, точити дві канавки, свердлити центровий отвір.

020 Зубофрезерна (зубофрезерний напівавтомат 5B312)

Фрезерувати зубці.

025 Зубодовбальна (зубодовбальний напівавтомат 5122KH24)

Довбати зубці.

030 Зубшевінгувальна (зубшевінгувальний напівавтомат 5702B)

Шевінгувати зубці.

035 Шліцефрезерна (шліцефрезерний напівавтомат 5350A)

Фрезерувати шліці.

050 Термічна

060 Круглошліфувальна (круглошліфувальний з ЧПК G20P CNC фірми SUPERTEC)

Шліфувати зубчатий вінець, шліфувати шліцьову шийку.

070 Торцекруглошліфувальна (торцекруглошліфувальний 3T160)

Шліфувати одночасно цапфу з довгої сторони і торець вінця.

075 Торцекруглошліфувальна (торцекруглошліфувальний 3T160)

Шліфувати одночасно цапфу з короткої сторони і торець вінця.

080 Слюсарна

Спилять заусенці.

085 Суперфінішна (суперфінішний напівавтомат 3Д879)

Суперфінішувати шийки шестерні одночасно.

090 Доводочна (доводочний автомат 020-011)

Довести торці зубчатого вінця одночасно.

095 Слюсарна

Спилять заусенці.

100 Контрольна

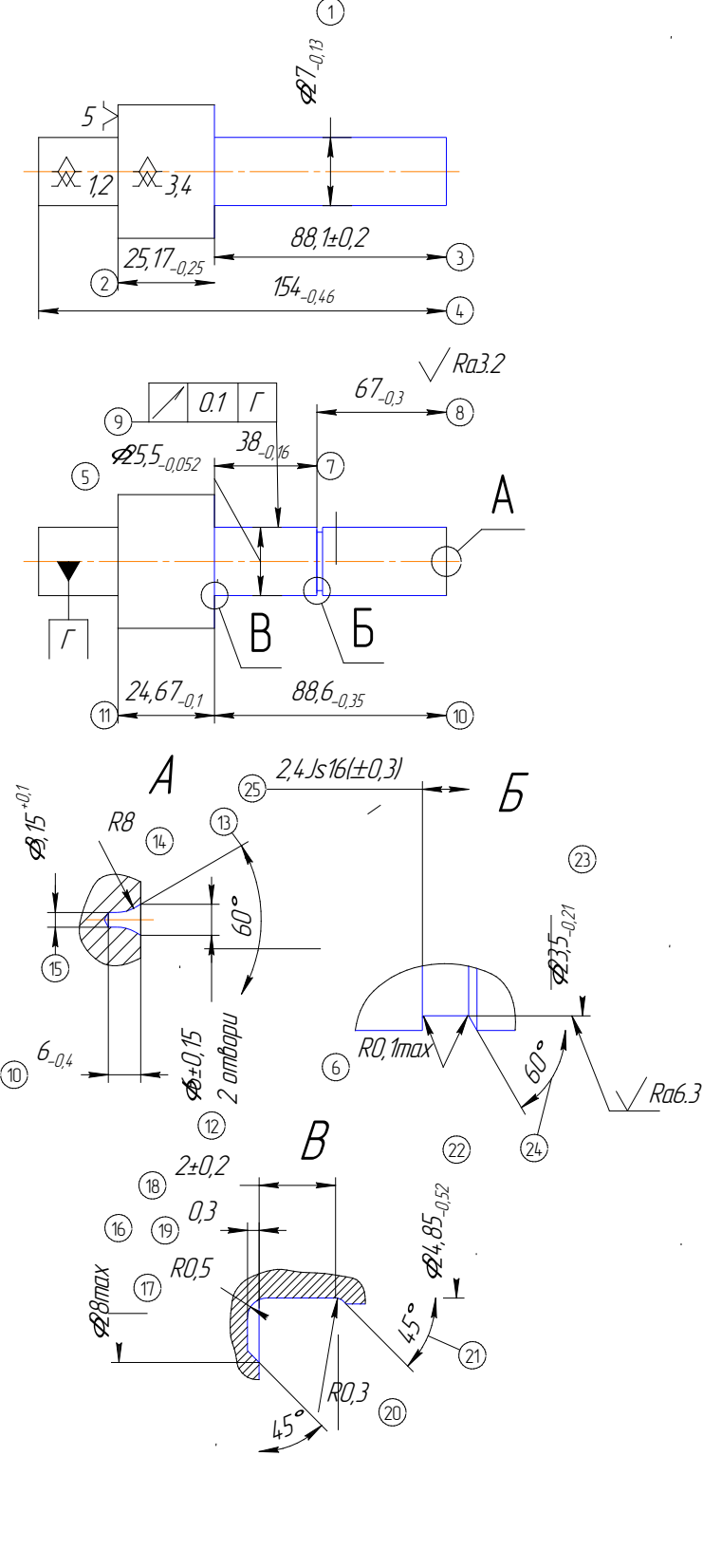
2.5 Розробка структури та змісту технологічних операцій

На підставі технологічного маршруту обробки деталі, маршрутів обробки окремих поверхонь з урахуванням технічних вимог до окремих поверхонь, розробляється структура та зміст кожної операції [6].

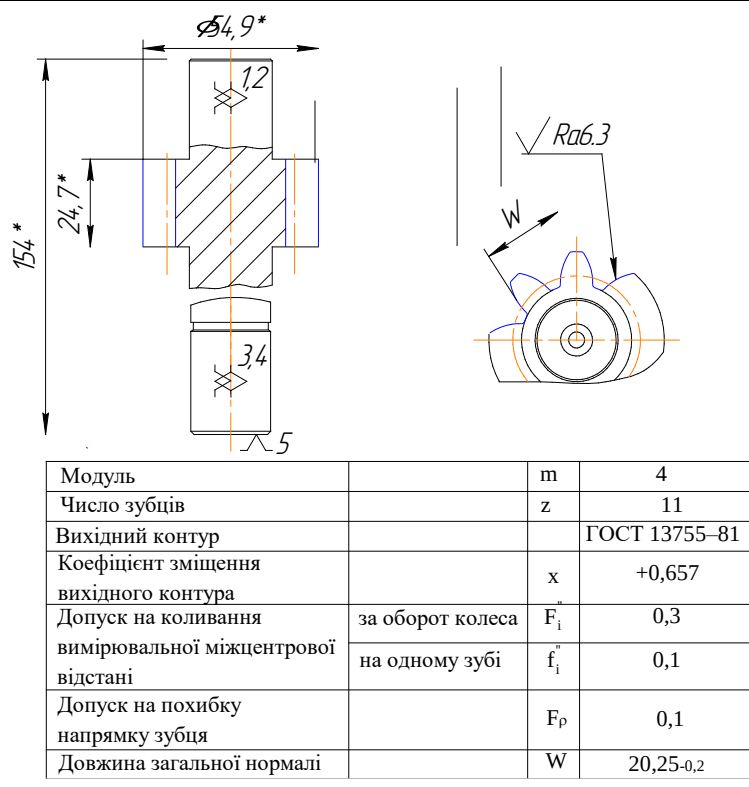
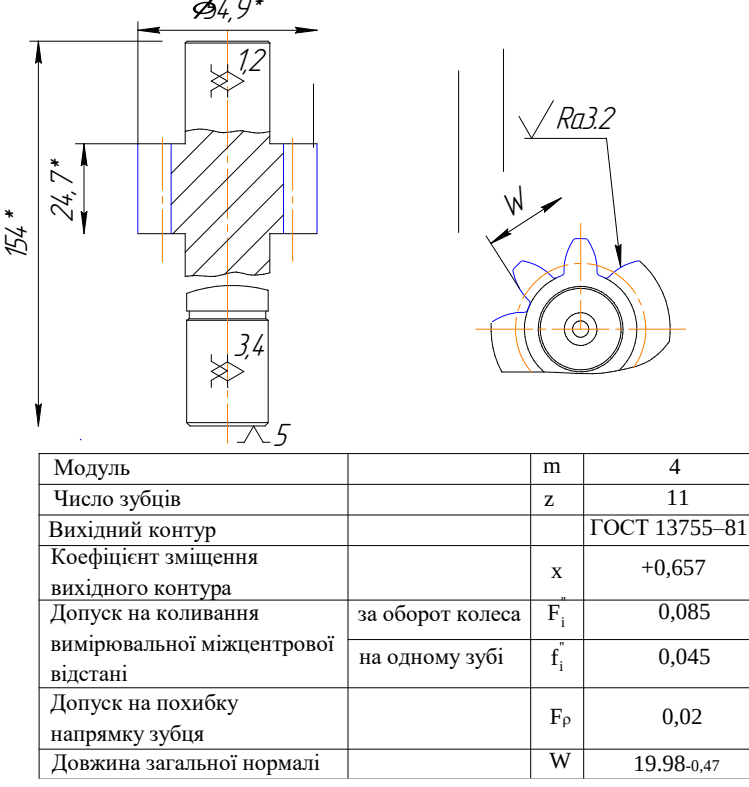
Таблиця 2.4 – Розробка маршруту обробки деталі шестерня ведуча

№ опер	Обладнання	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
005 Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК GA-2000-300 фірми GOODWAY		1. Встановити деталь. 2. Точити торець, цапфу з короткої сторони та вінець начорно, витримавши розміри 1, 2, 3, 4. 3. Точити цапфу з короткої сторони та вінець начисто, витримавши розміри 5, 6, 7, 8, 9. 4. Точити канавку, витримавши розміри 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21. 5. Свердлити центровий отвір, витримавши розміри 10, 11, 12, 13, 14. 6. Зняти деталь.

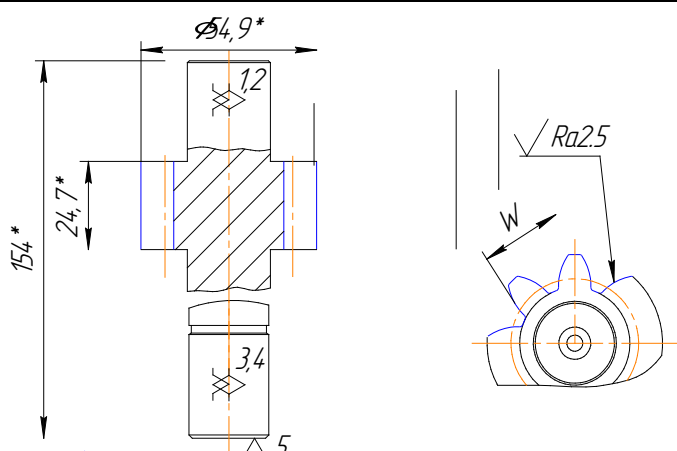
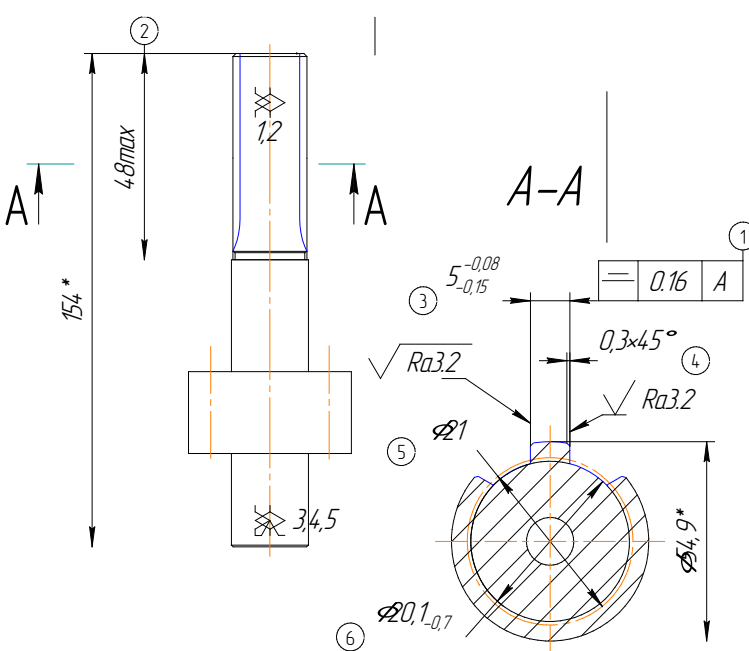
Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
010 Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК GA-2000-300 фірми GOODWAY		1. Встановити деталь. 2. Точити торець, цапфу з довгої сторони та торець вінця начорно, витримавши розміри 1, 2, 3, 4. 3. Точити цапфу з довгої сторони та торець вінця начисто, витримавши розміри 5, 8, 9, 10, 11. 4. Точити канавку, витримавши розміри 7, 23, 24, 25, 6. 5. Точити канавку, витримавши розміри 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22. 6. Свердлити цетровий отвір, витримавши розміри 12, 13, 14, 15, 23. 7. Зняти деталь.

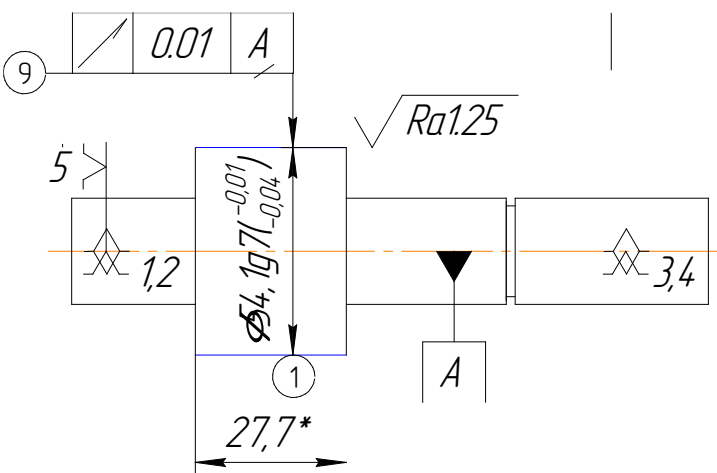
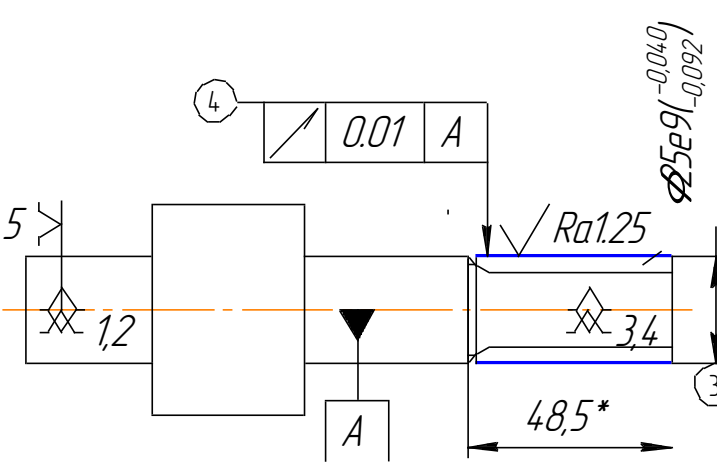
Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4																															
020 Зубофрезерна	Зубофрезерний напівавтомат 5В312	 <table border="1"> <tr> <td>Модуль</td><td></td><td>m</td><td>4</td></tr> <tr> <td>Число зубців</td><td></td><td>z</td><td>11</td></tr> <tr> <td>Вихідний контур</td><td></td><td></td><td>ГОСТ 13755-81</td></tr> <tr> <td>Коефіцієнт зміщення вихідного контура</td><td></td><td>x</td><td>+0,657</td></tr> <tr> <td rowspan="2">Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані</td><td>за оборот колеса</td><td>F_i''</td><td>0,3</td></tr> <tr> <td>на одному зубі</td><td>f_i''</td><td>0,1</td></tr> <tr> <td>Допуск на похибку напрямку зубця</td><td></td><td>F_p</td><td>0,1</td></tr> <tr> <td>Довжина загальної нормалі</td><td></td><td>W</td><td>20,25-0,2</td></tr> </table>	Модуль		m	4	Число зубців		z	11	Вихідний контур			ГОСТ 13755-81	Коефіцієнт зміщення вихідного контура		x	+0,657	Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані	за оборот колеса	F_i''	0,3	на одному зубі	f_i''	0,1	Допуск на похибку напрямку зубця		F_p	0,1	Довжина загальної нормалі		W	20,25-0,2	1. Встановити деталь. 2. Фрезерувати зубці шестерні, витримавши розміри згідно таблиці. 3. Зняти деталь.
Модуль		m	4																															
Число зубців		z	11																															
Вихідний контур			ГОСТ 13755-81																															
Коефіцієнт зміщення вихідного контура		x	+0,657																															
Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані	за оборот колеса	F_i''	0,3																															
	на одному зубі	f_i''	0,1																															
Допуск на похибку напрямку зубця		F_p	0,1																															
Довжина загальної нормалі		W	20,25-0,2																															
025 Зубодовбальна	Зубодовбальний напівавтомат 5122КН24	 <table border="1"> <tr> <td>Модуль</td><td></td><td>m</td><td>4</td></tr> <tr> <td>Число зубців</td><td></td><td>z</td><td>11</td></tr> <tr> <td>Вихідний контур</td><td></td><td></td><td>ГОСТ 13755-81</td></tr> <tr> <td>Коефіцієнт зміщення вихідного контура</td><td></td><td>x</td><td>+0,657</td></tr> <tr> <td rowspan="2">Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані</td><td>за оборот колеса</td><td>F_i''</td><td>0,085</td></tr> <tr> <td>на одному зубі</td><td>f_i''</td><td>0,045</td></tr> <tr> <td>Допуск на похибку напрямку зубця</td><td></td><td>F_p</td><td>0,02</td></tr> <tr> <td>Довжина загальної нормалі</td><td></td><td>W</td><td>19.98-0,47</td></tr> </table>	Модуль		m	4	Число зубців		z	11	Вихідний контур			ГОСТ 13755-81	Коефіцієнт зміщення вихідного контура		x	+0,657	Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані	за оборот колеса	F_i''	0,085	на одному зубі	f_i''	0,045	Допуск на похибку напрямку зубця		F_p	0,02	Довжина загальної нормалі		W	19.98-0,47	1. Встановити деталь. 2. Довбати зубці шестерні, витримавши розміри згідно таблиці. 3. Зняти деталь.
Модуль		m	4																															
Число зубців		z	11																															
Вихідний контур			ГОСТ 13755-81																															
Коефіцієнт зміщення вихідного контура		x	+0,657																															
Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані	за оборот колеса	F_i''	0,085																															
	на одному зубі	f_i''	0,045																															
Допуск на похибку напрямку зубця		F_p	0,02																															
Довжина загальної нормалі		W	19.98-0,47																															

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4																																
030 Зубошевінговальна	Зубошевінгувальний напівавтомат 5702В	 <table border="1"> <tr> <td>Модуль</td><td></td><td>m</td><td>4</td></tr> <tr> <td>Число зубців</td><td></td><td>z</td><td>11</td></tr> <tr> <td>Вихідний контур</td><td></td><td></td><td>ГОСТ 13755-81</td></tr> <tr> <td>Коефіцієнт зміщення вихідного контура</td><td></td><td>x</td><td>+0,657</td></tr> <tr> <td>Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані</td><td>за оборот колеса</td><td>F_i</td><td>0,052</td></tr> <tr> <td></td><td>на одному зубі</td><td>f_i</td><td>0,028</td></tr> <tr> <td>Допуск на похибку напрямку зубця</td><td></td><td>F_p</td><td>0,15</td></tr> <tr> <td>Довжина загальної нормалі</td><td></td><td>W</td><td>18.698^{-0.347}_{-0.447}</td></tr> </table>	Модуль		m	4	Число зубців		z	11	Вихідний контур			ГОСТ 13755-81	Коефіцієнт зміщення вихідного контура		x	+0,657	Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані	за оборот колеса	F _i	0,052		на одному зубі	f _i	0,028	Допуск на похибку напрямку зубця		F _p	0,15	Довжина загальної нормалі		W	18.698 ^{-0.347} _{-0.447}	1. Встановити деталь. 2. Шевінгувати зубці шестерні, витримавши розміри згідно таблиці. 3. Зняти деталь.
Модуль		m	4																																
Число зубців		z	11																																
Вихідний контур			ГОСТ 13755-81																																
Коефіцієнт зміщення вихідного контура		x	+0,657																																
Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані	за оборот колеса	F _i	0,052																																
	на одному зубі	f _i	0,028																																
Допуск на похибку напрямку зубця		F _p	0,15																																
Довжина загальної нормалі		W	18.698 ^{-0.347} _{-0.447}																																
035 Шліцефрезерна	Шліцефрезерний напівавтомат 5350А		1. Встановити деталь. 2. Фрезерувати шліці, витримавши розміри 1, 2, 3, 4, 5, 6 та вимогу 7. 3. Зняти деталь.																																

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
060 Круглошліфувальна з ЧКП	Круглошліфувальний з ЧПК G20P CNC фірми SUPERTec		1. Встановити деталь. 2. Шліфувати зубчатий вінець, витримавши розмір 1 та допуск 2.
			3. Шліфувати шліцьову шийку, витримавши розмір 3 та допуск 4. 4. Зняти деталь.

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
070 Торцекруглошліфувальна	Торцекруглошліфувальний 3Т160		1. Встановити деталь. 2. Шліфувати одночасно цапфу довгої сторони і торець вінця, витримавши розміри 1, 2 та вимоги 3, 4, 5, 6, 7. 3. Зняти деталь.
075 Торцекруглошліфувальна	Торцекруглошліфувальний 3Т160		1. Встановити деталь. 2. Шліфувати одночасно цапфу короткої сторони і торець вінця, витримавши розміри 1, 2 та вимоги 3, 4, 5, 6, 7. 3. Зняти деталь.

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
085 Суперфінішна	Суперфінішний автомат 3Д879		1. Встановити деталь. 2. Суперфінішувати шийки одночасно витримавши розміри 1, 2 та вимоги 3, 4, 5. 3. Зняти деталь
090 Доводочна	Доводочний автомат 020-011		1. Встановити деталь. 2. Довести торці одночасно витримавши розмір 1 та вимоги 2, 3, 4, 5. 3. Зняти деталь.

2.6 Вибір технологічного оснащення, ріжучого та контрольного інструменту

Наступним етапом обираємо, які затискні пристрої необхідні для реалізації операцій, згідно прийнятого технологічного процесу обробки шестерні ведучої.

Таблиця 2.5 – Затискні пристрої для обробки деталі

№ перації	Найменування пристосування	Стандарт (код)	Вид приводу
005	Патрон VITAGANA B-210	-	Гідравлічний
010	Патрон VITAGANA B-210	-	Гідравлічний
020	Пристрій зубофрезерний	7533-4065	Гідравлічний
	Центр нижній	7533-6007	Гідравлічний
	Центр верхній	7533-6080	
025	Пристрій зубодовбальний	7520-4073	Гідравлічний
	Центр задній	7520-4063-1	
	Центр передній	7520-4063-2	
030	Пристрій шевінгувальний	7030-4081	Гідравлічний
035	Центр передній	7032-4006	Гідравлічний
	Хомут	7067-6059	
060	Центр задній	7032-0032	Пневматичний
	Центр передній	7032-0033	
	Поводок	1309-86	
070; 075	Центр задній	7032-0032	Пневматичний
	Центр передній	7032-0033	
	Поводок	1309-86	
085	Валок (2 штуки)	7662-6023	-
090	Центр задній	2742-75	Механічний
	Центр передній	7032-6046	

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 [17]. На операціях, де обробка ведеться на оброблюючих центрах GA-2000-300 GOODWAY використовуємо ріжучий інструмент фірми Iscar.

Таблиця 2.6 – Ріжучий інструмент для механічної обробки деталей

№ опер	№ пер.	Назва інструменту	Стандарт (код)	Ріжуча частина	
				Матеріал	ГОСТ
1	2	3	4	5	6
005	2, 3	Різець контурний: державка пластина	MULNR2525M15 WNMG08...WG	- IC 9015	- DIN/ISO513
	4	Різець канавочний державка пластина	BNR MB24x100 CCMT 09T304	- IC 9025	- DIN/ISO513
	5	Свердло центрове	14952-72	P6M5	19265-73
010	2, 3	Різець контурний: державка пластина	MULNR2525M15 WNMG08...WG	- IC 9015	- DIN/ISO513
	4	Різець канавочний державка пластина	BNR MB24x100 CCMT 09T304	- IC 9025	- DIN/ISO513
	5	Різець канавочний державка пластина	BNR MB24x100 CCMT 09T304	- IC 9025	- DIN/ISO513
	6	Свердло центрове	14952-72	P6M5	19265-73
020	2	Фреза черв'ячна m=4мм	18695-88	P6M5	19265-73

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6
025	2	Довбач дисковий m=4мм	9323-79	P6M5	19265-73
030	2	Шевер дисковий m=4мм	8570-80	P6M5	19265-73
035	2	Фреза черв'ячна шліцьова	2520-4003	P6M5	19265-73
060	2	Круг шліфувальний ПП600х80х305	2424-83	14A25ПС3 Т1К6	3647-81
070	2	Круг шліфувальний ПП750х63х305	2424-83	14A16ПСМ2 С16К6	3647-81
075	2	Круг шліфувальний ПП750х63х305	2424-83	14A16ПСМ2 С16К6	3647-81
080	2	АББС 125х80х5х16	37397-83	АСМ20/14 К3-02-1-К	-
085	2	Алмазний круг 200х32х50х3	ТУ2-037-233-78	В3-0150	-

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

Таблиця 2.7 – Вимірювальний інструмент для контролю деталей

№ опер	№ пер.	Параметр деталі, що контролюється	Найменування інструменту	Стандарт (код)
1	2	3	4	5
005	3	Діаметр цапфи $\varnothing 25,5_{-0,052}$ Довжина цапфи $39.2 \pm 0,2$ Діаметр вінця $\varnothing 54.9_{-0,074}$	Калібр-скоба 25,5h9 Шаблон 39.2 Калібр-скоба 54.9h9	8551-75 2556-3669 8551-75

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4	5
	4	Діаметр канавки $\varnothing 24,85_{-0,52}$	Калібр-скоба 24,85h12	8551-75
010	3	Діаметр цапфи $\varnothing 25,5_{-0,052}$ Ширина вінця $24.67_{-0,1}$	Калібр-скоба 25,5h9 Шаблон 24.67	8551-75 2556-3687
010	4	Діаметр канавки $\varnothing 23,5_{-0,21}$ Ширина канавки $2.4 \pm 0,3$	Калібр-скоба 23.5h12 Шаблон $2.4 \pm 0,3$	8551-75 2556-3662
	5	Діаметр канавки $\varnothing 24,85_{-0,52}$	Калібр-скоба 24,85h13	8551-75
020	2	Допуск на похибку напрямку зубців 0,1	Прибор для контролю	8532-4054
025	2	Допуск на похибку напрямку зубців 0,02	Прибор для контролю	8532-4054
030	2	Допуск на похибку напрямку зубців 0,017	Прибор для контролю	8532-4054
035	2	Діаметр западин $\varnothing 20.1_{-0,7}$ Ширина шліця $5^{-0,08}_{-0,15}$	Скоба $20.1_{-0,7}$ Калібр $5^{-0,08}_{-0,15}$	8111-4004 8152-4010
060	2	Діаметр вінця $\varnothing 54.1^{-0,01}_{-0,04}$	Калібр-скоба 54.1g7	8551-75
	3	Діаметр шліцьової шийки $\varnothing 25^{-0,04}_{-0,092}$	Калібр-скоба 25e9	8551-75
070	2	Ширина вінця $24.37_{-0,02}$ Діаметр цапфи $\varnothing 25^{-0,087}_{-0,12}$	Калібр-скоба $24.37_{-0,02}$ Калібр-скоба $25^{-0,087}_{-0,12}$	8551-75 8551-75
075	2	Ширина вінця $24.07_{-0,02}$ Діаметр цапфи $\varnothing 25^{-0,087}_{-0,12}$	Калібр-скоба $24.07_{-0,02}$ Калібр-скоба $25^{-0,087}_{-0,12}$	8551-75 8551-75
085	2	Діаметр цапфи $\varnothing 25^{-0,115}_{-0,13}$	Калібр-скоба 25f6	8551-75
090	2	Ширина вінця $24.02_{-0,02}$ Відхилення від площинності 0,01 мм	Калібр-скоба $24.02_{-0,02}$ Пристрій для контролю площинності	8551-75 7455-5887

2.7 Розрахунок режимів різання та технічне нормування

Аналітичним методом визначаємо режими різання на 025 операцію зубодовбальну. На даній операції проводиться напівчистова обробка зубців шестерні.

Вихідні дані:

Верстат – зубодовбальний напівавтомат 5122KH24;

Різальний інструмент – дисковий довбач Ø125мм з швидкоріжучої сталі Р6М5.

Приймаємо колову подачу S згідно з [2]. Тож при модулі зубчастого зачеплення $m=5$ та потужності привода головного руху $N=7,5$ кВт, кількістю зубців шестерні $z=11$ приймаємо $S_T=0,35$ мм/подв.хід.

Вносимо поправки у відповідності з зміненими умовами роботи

$$S = S_T \cdot K_s, \quad (2.1)$$

де $K_s = 0,9$ - поправочний коефіцієнт у зв'язку із зміненими умовами роботи.

$$S = 0.35 \cdot 0.9 = 0.32 \text{ мм/подв.хід}. \quad (2.2)$$

Визначаємо радіальну подачу $S_{\text{рад}}$ згідно рекомендацій [2]:

$$S_{\text{рад}} = (0,1 \dots 0,3) \cdot S = (0,1 \dots 0,3) \cdot 0.32 = 0.07 \text{ мм/подв.хід}. \quad (2.3)$$

Приймаємо швидкість різання V згідно з [2]. Отже при модулі зубчастого зачеплення $m=5$ та коловій подачі $S=0,32$ приймаємо $V_T= 16$ м/хв.

Вносимо поправки у відповідності з зміненими умовами роботи

$$V = V_T \cdot K_v, \quad (2.4)$$

де $K_v = 0,9$ - поправочний коефіцієнт у зв'язку із зміненими умовами роботи.

$$V = 16 \cdot 0.9 = 14,4 \text{ м/хв}. \quad (2.5)$$

Визначаємо число подвійних ходів довбача за хвилину:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{2 \cdot L}, \quad (2.6)$$

де $L = b + 2 \cdot l_{\text{пер}}$ - довжина ходу довбача; $b = 25$ мм - ширина вінця шестерні;

$l_{пер} = 8\text{мм}$ - довжина перебігу.

Тож $L = 25 + 2 \cdot 8 = 41\text{мм}$.

$$n = \frac{1000 \cdot 14,4}{2 \cdot 41} = 176 \text{ по дв.хв} / \text{хв}. \quad (2.7)$$

Визначаємо потужність різання N :

$$N = N_T \cdot K_N, \quad (2.8)$$

де N_T – табличне значення потужності різання; $K_N = 0,9$ - поправочний коефіцієнт у зв'язку із зміненими умовами роботи.

При модулі зубчастого зачеплення $m=4$ та коловій подачі $S=0.32$ приймаємо $N_T=2.3$ кВт.

$$N = 2.3 \cdot 0.9 = 2.1 \text{ кВт}. \quad (2.9)$$

Щоб визначити чи можлива обробка на даному верстаті перевіримо умову:

$$\begin{aligned} N_{об} \cdot \eta &\geq N \\ 7.5 \cdot 0.6 &\geq 2.1, \\ 4.5 &\geq 2.1 \end{aligned} \quad (2.10)$$

умова виконується, обробка можлива.

Для розрахунку сили затиску також визначаємо силу різання

$$P_z = \frac{N \cdot 1020 \cdot 60}{V} = \frac{2.1 \cdot 1020 \cdot 60}{14.4} = 8925 \text{ Н}. \quad (2.11)$$

Визначаємо основний час на обробку t_o :

$$t_o = \frac{\pi \cdot m \cdot z}{n \cdot S} \cdot i + \frac{h_1}{n \cdot S_{пад}}, \quad (2.12)$$

де $i=2$ число робочих ходів;

$h_1 = 9$ мм – висота нарізуваного зубця.

$$t_o = \frac{3.14 \cdot 4 \cdot 11}{176 \cdot 0.32} \cdot 2 + \frac{9}{176 \cdot 0.07} = 5.86 \text{ хв}. \quad (2.13)$$

На решту операцій елементи режимів різання визначаємо за нормативними даними.

Таблиця 2.8 – 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 _о , хв
операції	переходу						
1	2	3	4	5	6	7	8
005	2	105	2,0	0,25	149,7	800	0,525
	3	85	0,75	0,2	142,2	800	0,563
	4	12	2,0	0,15	64,1	800	0,1
	5	8.5	3,0	0,1	9,42	500	0,17
010	2	125	2,0	0,25	142,2	800	0,76
	3	105	0,75	0,2	142,2	800	0,863
	4	12	2,0	0,15	64,1	800	0,1
	5	5	2,4	0,15	64,1	800	0,042
	6	85	3,0	0,1	9,42	500	0,17
020	2	46	8,8	2,8	28,3	100	2,21
025	2	138	0,8	0,32	14.4	176	5.86
030	2	20	0,12	56	50	20	2,4
035	2	64	2,9	1,2	56	224	1,1
060	2	56	0,4	0,08	50/40	950/375	0,737
	3	35	0,4	0,08	50/40	950/375	0,461
070	2	53	0,2	0,6	50/30	1250/250	0,96
075	2	53	0,2	0,6	50/30	1250/250	0,96
085	2	-	0,025	600	17	300	0,26
090	2	-	0,025	0,015	45	300	0,573

Норми часу на виконання операцій визначаємо розрахунковим методом.

Виконаємо розрахунок штучно-калькуляційного часу для 025 операції – зубодовбальної.

Основний технологічний час операції: $t_o = 5,86$ хв.

Визначаємо допоміжний час, який складається з:

- часу на встановлення та закріплення деталі: $t_{д1} = 0,22$ хв.

- додатковий час пов'язаний з операцією, включає в себе час на включення верстата, перевірку повернення інструмента в задану точку після обробки, встановлення та зняття щитка що запобігає заляпування емульсією:

$$t_{д2} = 0,21 + 0,25 = 0,46 \text{ хв.} \quad (2.14)$$

- час на контрольні вимірювання: $t_{д3} = 0,25$ хв.

Визначаємо допоміжний час на операцію:

$$T_d = t_{д1} + t_{д2} + t_{д3} = 0,22 + 0,46 + 0,25 = 0,93 \text{ хв.} \quad (2.15)$$

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

$$\alpha_{\text{тех}} + \alpha_{\text{орг}} + \alpha_{\text{осп}} = 8,5\% ; \quad (2.16)$$

Визначаємо норму штучного часу:

$$T_{\text{шт}} = (T_o + T_d) \cdot \left(1 + \frac{\alpha_{\text{тех}} + \alpha_{\text{орг}} + \alpha_{\text{осп}}}{100}\right) = (5.86 + 0.93) \cdot \left(1 + \frac{8.5}{100}\right) = 7.367 \text{ хв.} \quad (2.17)$$

Визначаємо норму штучно-калькуляційного часу:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n}, \quad (2.18)$$

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

Визначаємо підготовчо-заключний час:

$$T_{\text{пз}} = 15 + 9 = 24 \text{ хв;} \quad (2.19)$$

Визначаємо норму штучно-калькуляційного часу:

$$T_{\text{шт-к}} = 7.367 + \frac{24}{250} = 7.463 \text{ хв.} \quad (2.20)$$

Таблиця 2.14 – Результати технічного нормування операцій механічної обробки деталі

№ операції	t _о , хв	t _д , хв	t _{т.о.} , хв	t _{о.о.} , хв	t _{відп.} , хв	t _{шт.} , хв	T _{п.з.} , хв	t _{шт.к.} , хв
005	1,358	0,75	0,053	0,042	0,063	2,267	20	2,347
010	1,935	0,75	0,067	0,054	0,081	2,887	20	2,967
020	2,21	0,92	0,078	0,063	0,094	3,365	24	3,461
025	5,86	0,93	0,673			7,367	24	7,463
030	2,4	0,92	0,083	0,066	0,1	3,569	24	3,665
035	1,1	0,88	0,05	0,04	0,059	2,129	24	2,225
060	1,198	0,48	0,042	0,034	0,05	1,804	18	1,876
070	0,96	0,52	0,044	0,037	0,052	1,613	18	1,685
075	0,96	0,52	0,044	0,037	0,052	1,613	18	1,685
085	0,26	0,46	0,022	0,018	0,025	0,785	16	0,849
090	0,573	0,46	0,031	0,026	0,031	1,121	16	1,185

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Опис будови та роботи затискного пристрою

Для довбання зубців в деталі шестерня ведуча НШ32М-3-03 на операції 025 Зубодовбальна технологічного процесу механічної обробки використовується одномісний гідравлічний затискний пристрій.

Креслення пристрою винесено в графічну частину роботи. Затискний пристрій складається з корпусу поз.1, який встановлено на корпус стола верстата за допомогою двох штифтів поз.41 та п'ятнадцяти гвинтів поз.36, в який вмонтовано пневмоциліндр (складається з гільзи поз.11 та поршня поз.4 з ущільнюючими кільцями поз.18) та який також має напрямні поверхні по яким переміщуються напрямна поз.2. До напрямної в свою чергу за допомогою трьох гвинтів поз.35 приєднані кронштейн поз.3 із запресованим в ньому центром верхнім поз.7. Герметичність штокової та безштокової порожнини забезпечують фланці поз.5 та поз.6 з встановленими в них ущільнюючими кільцями поз.18.

Нижня частина пристрою складається з кронштейна поз.8, який встановлено на обертовий стіл верстата за допомогою 8 болтів поз.37. На кронштейн встановлено фланець поз.9, в який встановлено нижній центр поз.10, підпружинений за допомогою пружини поз.20, гвинта поз.21, упора 17, опори поз.15 та ковпака поз.16. Кронштейн поз.8 під час налагодження центрується на столі верстата відносно верхнього центра.

Оброблюєма деталь встановлюється центровим отвором довгої сторони на плаваючий нижній центр та піднімається до контакту з верхнім центром.

Поворотом рукоятки гідросистеми робоча рідина подається в безштокову порожнину гідроциліндра. Під дією робочої рідини поршень разом з кронштейном поз.12 переміщуються вниз, закріплена на кронштейні напрямна рухається разом з ним. На напрямній закріплено верхній центр в кронштейні поз.3, який переміщуючись вниз притискає деталь до фланця поз.9.

Після затиску виконується довбання зубців. Розтиск обробленої деталі виконується в зворотньому порядку – робоча рідина потрапляє в штокову порожнину, поршень разом з закріпленим на ньому кронштейном поз.12, та прямою закріпленою до кронштейна рухаються вгору. Центр верхній закріплений до прямої за допомогою кронштейна поз.3 рухаючись вгору припиняє дію на деталь, після цього деталь знімається з пристрою.

3.2 Розрахунок сили затиску деталі

Оброблюєма деталь встановлюється одним центровим отвором в плаваючий нижній, торцем опирається на фланець пристрою і зверху затискається центром верхнім по другому центровому отвору. Внаслідок виконання механічної обробки виникає сила P_z , яка намагається повернути деталь відносно навколо точки О. Внаслідок даного провороту в точці контакту верхнього центра та центрового отвору виникає виштовхуюча сила (P_{np}), яка намагається змістити верхній центр догори [7].

Визначаємо мінімально необхідну силу затиску, привевши силу P_z до сили P_{np} , що діє в точці контакту верхнього центра та центрового отвору, та намагається відтиснути верхній центр від заготовки [18]:

$$P_z \cdot l_1 = P_{np} \cdot l_2, \quad (3.1)$$

$$P_{np} = \frac{P_z \cdot l_1}{l_2} = \frac{8925 \cdot 0,0125}{0,154} = 724,4 \text{ Н.} \quad (3.2)$$

Сума всіх сил по вісі Y повинна дорівнювати нулю:

$$\sum F_y = 0; \quad (3.3)$$

$$P_B - W = 0. \quad (3.4)$$

$$P_B = P_{np} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2} + \varphi\right), \quad (3.5)$$

де α – кут верхнього центра;

φ – кут тертя між верхнім центром та центровим отвором деталі.

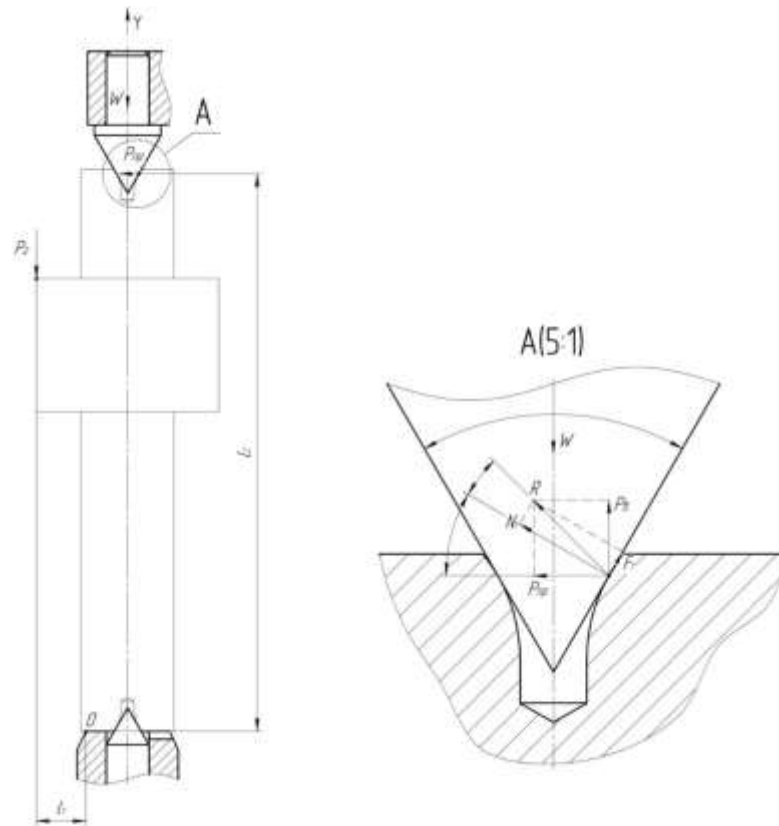


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема для визначення сили затиску

$$P_B = 724.4 \cdot \tan \left(\frac{60^\circ}{2} + 8.5^\circ \right) = 619.14 \text{ Н}$$

$$W = P_B \cdot K. \quad (3.6)$$

де K – коефіцієнт запасу, який визначається з умов обробки.

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6; \quad (3.7)$$

де K_0 – гарантований коефіцієнт запасу, $K_0 = 1.5$,

$K_1 - K_6$ коефіцієнти, що враховують умови обробки [14].

$$K = 1.5 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot 1.2 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 3.24.$$

$$W = W_p \cdot K = 619.14 \cdot 3.24 = 2006 \text{ Н}.$$

Тож для забезпечення затиску деталі при виконанні зубодовбання сила затиску повинна бути не менша ніж 2006Н.

3.3 Розрахунок параметрів силового приводу

Визначаємо діаметр силового приводу. Приводом нашого затискного пристрою являється гідроциліндр [21].

Оскільки даний затискний пристрій не має підсилюючих ланок то:

$$Q = W = 2006\text{Н} = 200,6\text{кгс},$$

де Q – сила на штоці.

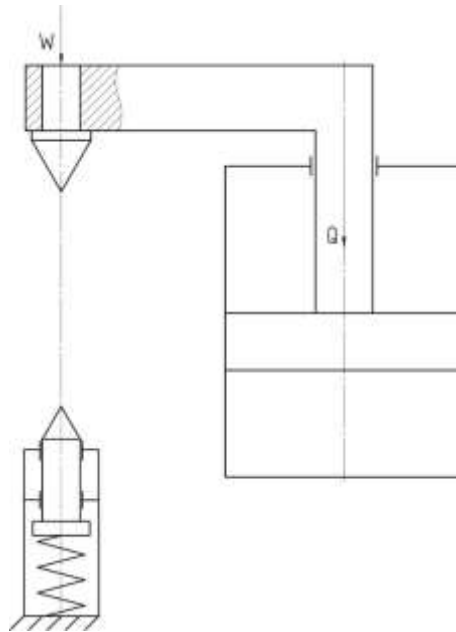


Рисунок 3.2 – Схема до розрахунку силового приводу

Затискання деталі відбувається при подачі рідини в штокову порожнину гідроциліндру, тож його діаметр визначається залежністю [14]:

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

де P – тиск стиснутого повітря в системі 30-50 кгс/см²;

$\eta = 0,85$ – ккд приводу; $d=1.8$ см діаметр штоку гідроциліндра.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 200.6}{3,14 \cdot 30 \cdot 0,85} + 1.8^2} = 3.64\text{см}$$

Із стандартного ряду діаметрів циліндрів, а також із конструктивних міркувань, приймаємо найближче більше значення $D = 40$ мм.

4 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1 Вступ

Актуальність теми.

Для затиску пруткових і штучних заготовок на токарних верстатах з ЧПК зокрема і на верстаті GA-2000-300 фірми Goodway, який використовується при обробці деталі шестерня ведуча НШ32М-3-03 у всьому діапазоні затискуваних заготовок використовують комплекти цанг, що забезпечують затиск тільки одного номіналу діаметрів. При переході на обробку заготовок іншого номіналу діаметрів проводять заміну затискних цанг або цангових патронів і при цьому витрачається значна кількість допоміжного часу на переналадку автомата в цілому. Значна кількість комплектів затискних цангових патронів вимагає великого розходу матеріалу і енергії для їх виготовлення. Пошук і створення нових конструкцій цангових патронів і їх окремих елементів, які забезпечують затиск заготовок в широкому діапазоні номіналів діаметрів та теоретичне і експериментальне дослідження їх характеристик є актуальною проблемою.

Головною деталлю цангового механізму є цанга, тобто пружинна втулка, форма і розміри якої визначають, в основному, конструкцію і розміри інших деталей механізму. Цангові пристрої призначені, як правило, для виконання установочних і затискних функцій, і однаковою мірою використовуються для установки як по внутрішніх, так і по зовнішніх поверхнях, для баз малого і великого діаметру, довгих і коротких деталей, з великим і малим відношенням бази до її довжини і т.д. Тому конструкції і розміри цанг досить різноманітні, як різноманітне і конструктивне оформлення цангових пристроїв цілому.

Мета і завдання дослідження.

1. Провести структурно-системні дослідження цангових затискних механізмів;
2. Виконати аналіз існуючих методик розрахунку характеристик і параметрів цангових патронів;

3. Дослідити вплив тиску в системі стиснутого повітря та між діаметрального зазору на силу затиску.

Наукова новизна.

Проведено аналіз існуючих конструкцій затискних елементів, який показав, що використання цанги є ефективним і обґрунтованим для затиску деталі типу тіла обертання, та забезпечує необхідну точність розмірів при обробці деталі і її надійність закріплення. Проведені структурно-системні дослідження цангових затискних механізмів з використанням морфологічного аналізу дозволили розробити нові конструкції таких механізмів. Проведено аналіз конструктивних параметрів цангових механізмів, та досліджено їх вплив на довжину пелюстки цанги. Досліджено вплив тиску в системі стиснутого повітря та між діаметрального зазору на силу затиску. Експериментальним шляхом виведено математичні моделі впливу параметрів на силу затиску. Побудовано відповідні графіки та поверхні відгуку.

4.2 Структурно - системні дослідження цангових затискних механізмів

Дослідженням та синтезом затискних механізмів з розширеними технологічними можливостями займались А.М. Дальський, М.Л. Орліков, В.Б. Ільницький, Ю.М.Кузнєцов, В.М. Ахрамович, А.А. Вачев, В.Н. Волошин, В.Г. Кушик, О.В. Литвин, П.М. Неделчева, Р.Г. Редько, та ін. [9-11]

Конструкції цанг надзвичайно різноманітні і використовують на верстатах в усьому світі. Так, на рисунку 4.1 подані цанги для одношпиндельних та багатошпиндельних верстатів та верстатів з ЧПК.



Рисунок 4.1 – Затискні цанги для верстатів

У технологічній системі машин від характеристик затискних механізмів (ЗМ) в значній мірі залежить точність і продуктивність обробки деталей, оскільки вони роблять істотний вплив на режими різання, точність установки заготовок і інструментів, стабільність і вібростійку технологічної системи. Значну частину серед ЗМ в машинобудуванні, приладобудуванні і інструментальному виробництві займають цангові патрони (ЦП). В зв'язку з цим проблема по створенню ЦП, що задовольняють підвищеним вимогам сучасного виробництва, є вельми актуальною.

Структурно-системні дослідження динамічних систем, до яких відносяться ЦП, що відрізняються еволюційною різноманітністю структурних різновидів, зумовлюють необхідність побудови і використання моделей високого рівня узагальнення. Ці моделі за допомогою мінімальної кількості інваріантних критеріїв дозволяють формувати основні принципи структурної будови ЗМ і визначати системні властивості потенційно можливої безлічі об'єктів, що належать до цього класу і підкласів системи ЗМ. Методичною основою таких досліджень є науково обгрунтовані класифікації, які одночасно виконують роль своєрідних системних моделей [9].

Метого даного розділу є розробка методологічних основ машинобудівного інженірінга, що дають повний комплекс засобів для автоматизованого проектування і аналізу ЦП високої осьової точності.

Використовуючи евристичний прийом повного подовжнього розчленовування затискного елемента з клиновим передаточно- підсилювальною ланкою у вигляді губки цанги із зовнішнім конусом (рис. 4.2, а.), можна досягти високої осьової точності. При цьому синтезований цанговий патрон (ЦП) містить дві групи затискних елементів (рис.4.2, б.): основних (ОЕ), пов'язаних з приводом і перетворюючих осьовий рух x від приводу типа, що тягне, за рахунок клинкової передавально-підсилювальної ланки (ПУЗ) в радіальне переміщення в проміжних елементах (ПЕ), які за рахунок зв'язку з корпусом патрона (шпинделем) виключають їх осьовий зсув, а отже забезпечують стабільне положення прутка або відсутність зсуву при затиску в порівнянні з ЦП типа, що тягне, де ОЕ виконаний у вигляді стандартної затискної цанги (рис. 4.2, а.), що переміщає пруток губками при затиску. Щоб виключити осьовий зсув заготовки (прутка), що затискається, необхідно виключити осьовий зсув ОЕ (рис. 4.2, в.), як це виконується в одношпіндельних токарно-револьверних автоматах, або розташувати вхідне зусилля (R , $P_{окр}$, момент $M_{кр}$) від приводу в площині, перпендикулярній осі прутка (рис. 4.2, г.).

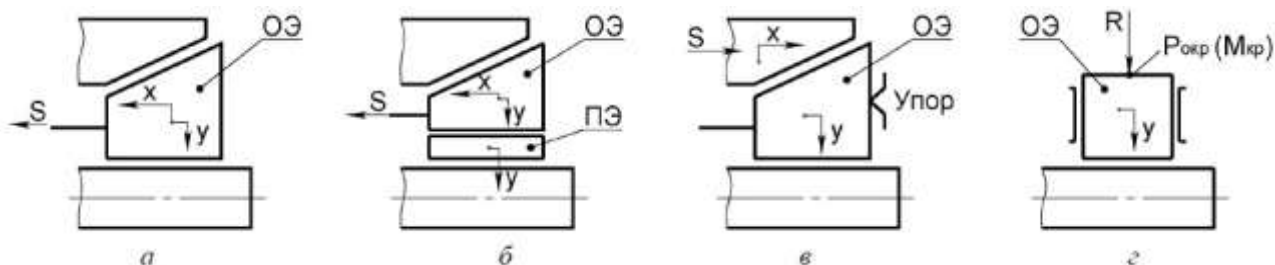


Рисунок 4.2 – Структури затискних патронів з різною дією зусилля від приводу затиску: а, б) осьове тягове зусилля S ; в) осьове натискне зусилля S ; г) радіальне R чи окружне (тангенціальне) зусилля або крутний момент $P_{окр}$ ($M_{кр}$).

Цангові патрони можуть застосовуватися для затиску прутків, труб, штучних заготовок і ріжучих інструментів з циліндровим хвостовиком в токарних, свердлильних, фрезерних, багатоцільових і інших верстатах з різними діями зусилля затиску від приводу.

Для пошуку нових технічних вирішень ЦП, що забезпечують підвищену осьову точність затиску при модернізації і створенні нових верстатів з ЧПК, виділяються основні конструктивні елементи патрона, за наступних умов: об'єкт закріплення – пруток; зв'язок конструктивних елементів патрона з шпинделем через фланець зовні (для виключення осьового зсуву), тобто з боку переднього торця; затиск одинарний; кількість функціональних елементів не більше 4.

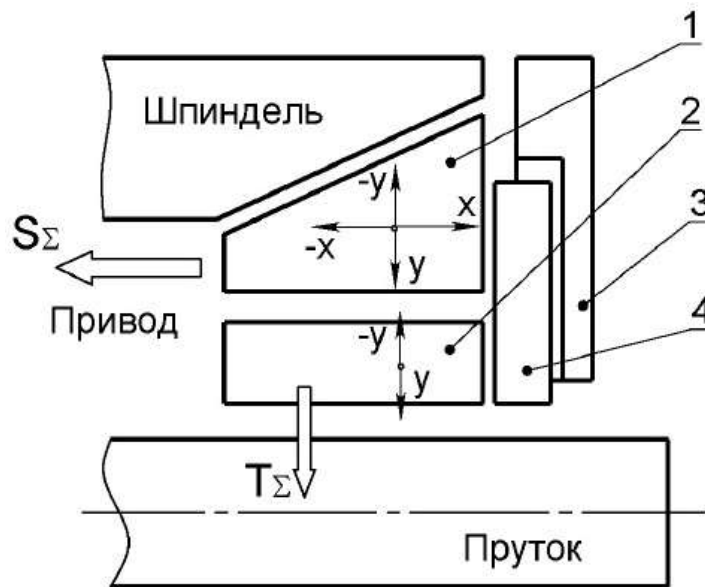


Рисунок 4.3 – Структура цангового патрону

Конструктивні функціональні елементи цангового патрону фланцевого типа (рис. 4.3.) є: 1 – основний затискний елемент (ОЕ); 2 – проміжний затискний елемент (ПЕ); 3 – сполучний елемент - фланець (Ф); 4 – допоміжний елемент (ВЕ).

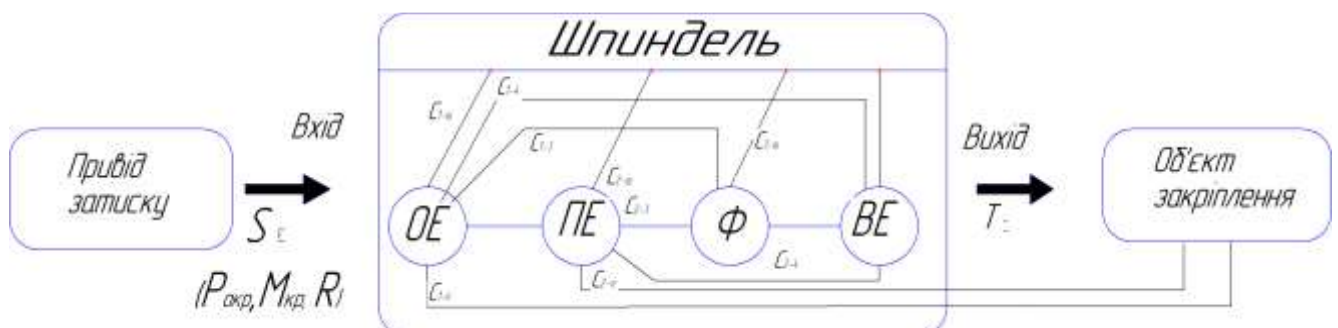


Рисунок 4.4 – Структурна схема взаємодії елементів ВЦП (внутрішнього і зовнішнього: з приводом – вхід; з об'єктом закріплення - вихід).

Для системи привід затиску - патрон (ЦП) - об'єкт закріплення побудована структурна схема (рис. 4.4) з позначеними внутрішніми зв'язками ВЦП: С1- 2 (ОЕ-ПЭ); С1-3 (ОЕ-Ф); С1-4 (ОЕ-ВЭ); С2-3 (ПЕ-Ф); С2-4 (ПЕ-ВЭ); С3-4 (Ф-ВЭ), зовнішніми зв'язками ВЦП з шпинделем (Ш): С1-Ш (ОЕ-Ш); С2-Ш (ПЕ-Ш); С3-Ш (Ф-Ш); С4-Ш (ВЕ-Ш) і зовнішніми зв'язками ВЦП з об'єктом закріплення (ОЗ): С1-ОЗ (ОЕ-ОЗ); С2-ОЗ (ПЕ-ОЗ); С3- ОЗ (Ф-ОЗ); С4-ОЗ (ВЕ-ОЗ).

Оскільки реально не бувають зв'язки шпинделя з об'єктом закріплення, то загальний граф зв'язків для системи привід затиску - патрон (ЦП) - об'єкт закріплення не може бути повним, тобто.

Вхід-дія зусилля від привода (У)
В.1 Тягуче осьове
В.2 Натискне осьове
В.3 Скручуюче (тангенціальне) $P_{\text{тан}}(M_{\text{кр}})$
В.4 Радіальне R
В.5 Комбіноване
В.6 Об'ємне

а

Вихід – об'єкт закріплення (О)
О.1 Пруток круглий
О.2 Пруток гранивий
О.3 Пруток профільний уздовж
О.4 Труба
О.5 Штучна заготівка
О.6 Інструмент з циліндричним хвостовиком
О.7 Інструмент з конічним хвостовиком

б

Рисунок 4.5 – Морфологія входу - Мвх (а) і виходу - Мвих (б) у ВЦП

Морфологію конструктивних схем ВЦП - МВЦП з врахуванням його взаємодії з приводом затиску (вхід) і об'єктом закріплення (вихід) можна представити у вигляді сполучених між собою п'яти морфологічних блок-схем, створюючих морфологічну модель:

- входу – $M_{\text{вх}}$ (рис. 4.7.а.);
- виходу – $M_{\text{вих}}$ (рис. 4.7.б.);
- структури ВЦП – $M_{\text{ст}}$ (рис. 4.6.);
- зв'язків ВЦП – $M_{\text{св}}$ (внутрішні - рис. 4.7.а., зовнішні - рис. 4.7.б.).

Структура ВЦП

1. Особливий записаний елемент (ОЕ)	2. Проміжний записаний елемент (ПЕ)	3. Сполучний елемент фланець (Ф)	4. Допоміжний елемент (ДЕ)
ПНЗ Конусний	2.1 Циліндрична губка (вкладіш)	3.1 Плоский диск з круглими отворами	4.1 Угнана гайка
11 Губка з подвійними пелюстками, напружувачем поперечним та радіальним	2.2 Циліндрична цанга з подвійними пелюстками	3.2 Плоский сегмент	4.2 Зовнішня (зовнішня прокладка) різноманітності перетину
12 Губка з подвійними пелюстками і напружувачем поперечним	2.3 Відсутній	3.3 Плоский диск зі шліцевим або різьбовим отвором	4.3 Мембрана з відгнутими пелюстками
13 Губка без подвійних пелюсток	2.4 Циліндрична цанга з подвійним осью і додатковими пелюстками	3.4 Плоский диск з двиступенями	4.4 Відсутній
ПНЗ Сферичне	2.5 Як 2.2 але з додатковими надрізаними губками	3.5 Гайка угнана	4.5 Конусна втулка зі сторони протидії зовнішній ПНЗ
14 Губка з подвійними пелюстками, напружувачем поперечним та радіальним	2.6 Губка з трікутним поперечним перетином	3.6 Диск з поперечними пазами, утворюючим пелюстки	4.6 Пелюстка втулка зі сторони пелюстки
ПНЗ Спираль Архимеда	2.7 Губка з протонувальним поперечним перетином	3.7 Диск зі спиральними пазами (по Архимеду)	4.7 Втулка зі сторони переднього торця шпindelю з коничними отворами
15 Губка без подвійних пелюсток	2.8 Циліндрична пружина з круглим або іншим перетином	3.8 Диск з протинами або нахиленими пазами	4.8 Тиж шпindelю з 4.7 з додатковими пелюстками отворами (палі усередині протидії)
16 Губка з подвійними пелюстками і напружувачем поперечним	2.9 Так же як 2.7 але з подвійними пелюстками	3.9 Диск з радіальними пазами	4.9 Циліндрична шестерня з отворами
ПНЗ Плоский клин	2.10 Концентричні втулки з відступами від подвійних конусів	3.10 Диск з гофрами	4.10 Штатівальник або ролик
17 Губка без подвійних пелюсток	2.11 Концентричні втулки з подвійними або гідравлічними пазами (внутрішніми і зовнішніми)	3.11 Диск зі шпирками	4.11 Комбінація 4.9 і 4.10
18 Губка в поперек		3.12 Відсутній	4.12 Осереді пелюстки (або набір)
19 Торцевий об'ємний під тиском			
110 Торцевий об'ємний з металевими кулями			
111 Концентричні втулки з конусами			
112 Відсутній			

рис. 4.6 Морфологія структури- М_с ВЦП



а



б

Рисунок 4.7 – Морфологія зв'язків ВЦП - М_{св} (а – внутрішні, б - зовнішні)

Щоб не ускладнювати морфологічну модель конструктивних схем ВЦП зайвими ознаками зв'язків, перебір їх альтернатив слід обмежити, орієнтуючись на конструктивного виконання традиційних шпиндельних вузлів токарних автоматів. Тому беруться наступні зв'язки, як ознаки морфологічної моделі: С1-2, С1-3, С2-3, С1-Ш, С2-Ш, С3-Ш.

Морфологічні блок-схеми (рис. 4.6 – 4.7) загальної морфологічної моделі ВЦП можуть бути представлені морфологічною матрицею в згорнутому і розгорнутому чисельному вигляді:

$$M_{ВЦП} = M_{вх} \wedge M_{ст} \wedge M_{св} \wedge M_{вих}$$

$$M_{ВЦП} = \begin{matrix} \begin{matrix} B.1 \\ B.2 \\ B.3 \\ B.4 \\ B.5 \\ B.6 \end{matrix} \end{matrix} \wedge \begin{matrix} \begin{matrix} 1.1 & 2.1 & 3.1 & 4.1 \\ 1.2 & 2.2 & 3.2 & 4.2 \\ 1.3 & 2.3 & 3.3 & 4.3 \\ 1.4 & 2.4 & 3.4 & 4.4 \\ 1.5 & 2.5 & 3.5 & 4.5 \\ 1.6 & 2.6 & 3.6 & 4.6 \\ 1.7 & 2.7 & 3.7 & 4.7 \\ 1.8 & 2.8 & 3.8 & 4.8 \\ 1.9 & 2.9 & 3.9 & 4.9 \\ 1.10 & 2.10 & 3.10 & 4.10 \\ 1.11 & 2.11 & 3.11 & 4.11 \\ 1.12 & & 3.12 & 4.12 \end{matrix} \end{matrix} \wedge \begin{matrix} \begin{matrix} 5.1 & 6.1 & 7.1 & 8.1 & 9.1 & 10.1 \\ 5.2 & 6.2 & 7.2 & 8.2 & 9.2 & 10.2 \\ 5.3 & 6.3 & 7.3 & 8.3 & 9.3 & 10.3 \\ 5.4 & 6.4 & 7.4 & 8.4 & 9.4 & 10.4 \\ 5.5 & & & 8.5 & & 10.5 \\ 5.6 & & & & & \end{matrix} \end{matrix} \wedge \begin{matrix} \begin{matrix} 0.1 \\ 0.2 \\ 0.3 \\ 0.4 \\ 0.5 \\ 0.6 \\ 0.7 \end{matrix} \end{matrix}$$

Загальне число можливих і неможливих конструктивних схем ВЦП є:

$$N_{ВЦП} = |6| \cdot |12 \cdot 11 \cdot 12 \cdot 12| \cdot |6 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 5| \cdot |7| = |6| \cdot |20736| \cdot |9600| \cdot |7| = 7664025600.$$

Для різних приводів затиску і об'єктів закріплення виходить мільярдне число варіантів.

Проілюстровано здобуття відомих і нових варіантів на прикладах створення ВЦП підвищеної осьової точності для модернізації багатошпіндельних (МТА) і одношпіндельних (ОТА) токарних автоматів з мінімальними витратами і доопрацюваннями, що економічно доцільно. Кожен варіант записаний як поєднання альтернатив ознак у вигляді морфологічних формул [10].

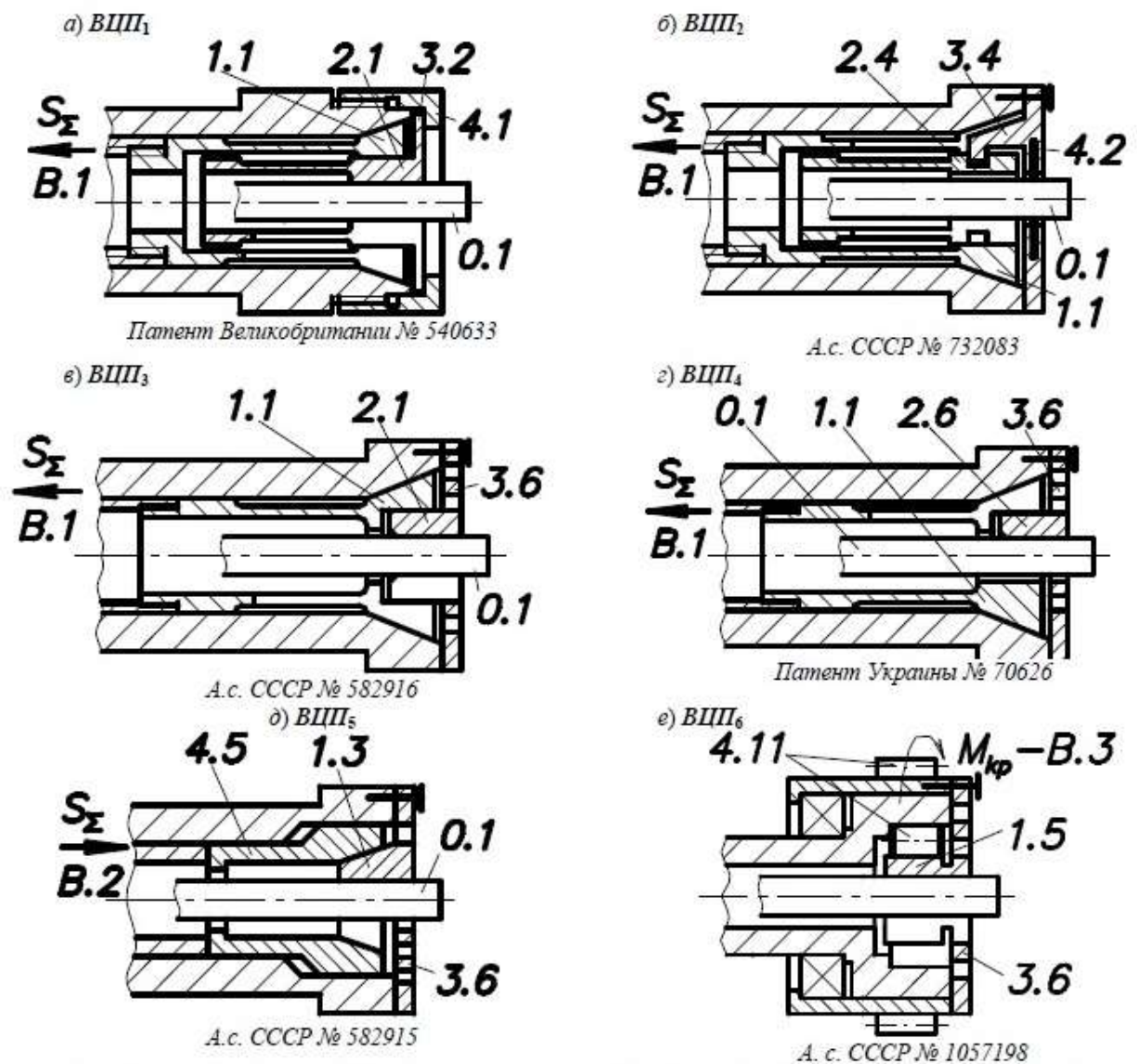


Рисунок 4.8 – Конструктивні схеми ВЦП для модернізації МТА (а - г), ОТА (д) і створення нового токарного автомата з тангенціальною дією зусилля від приводу

Показані на рисунку 4.8. прикладів синтезованих конструктивних схем ВЦП. Проте, при всіх перевагах, метод морфологічного аналізу має той недолік, що поряд з реально можливими комбінаціями варіантів (альтернатив) морфологічна модель містить велику кількість несумісних варіантів. Це вимагає розробки апарату вибору допустимих рішень з великої безлічі.

4.3 Аналіз конструктивних параметрів цангових механізмів

Основним елементом для установки і закріплення деталі при обробці є цанговий зажим, який можна використовувати для подібних за конструкцією деталей і тільки діаметральні розміри базових поверхонь будуть впливати на конструктивні параметри цанги.

Виходячи з викладеного, проведення додаткових досліджень по визначенню параметрів затискних елементів є актуальним завданням.

Метою досліджень є підвищення точності виготовлення деталі та надійності її закріплення при механічній обробці шляхом проектування і розробки конструкції спеціального пристосування та його затискних елементів.

Для досягнення поставленої мети сформовані такі задачі досліджень:

- проаналізувати технологічність конструкції деталі;
- визначити типи затискних елементів пристосування, які б забезпечували точність і надійність роботи;
- встановити закономірність впливу конструктивних параметрів на силу затиску.

Основним елементом для утримання деталі при обробці є цанга. Для ефективного використання силового пристрою треба проаналізувати його за декількома параметрами [16]. Основним параметром є довжина пелюстка цанги. Даний параметр буде впливати на жорсткість конструкції її зносостійкість, та допуск на діаметр деталі (заготовки). Розглянемо розрахункову формулу довжини пелюстки цанги:

$$l_d = \sqrt{\frac{I \times \varepsilon}{\xi} \times \left(\frac{I \times \varepsilon \times \lambda^2}{\xi} - 1 \right) + \frac{3 \times E \times \left(\delta_o + \frac{\Delta d + \Delta I}{2} \right) \times \gamma_{\max}}{([\sigma] - \sigma_p) \times \xi}} - \frac{I \times \xi \times \lambda}{\xi} c$$

де I – момент інерції поперечного перерізу пелюстки, відносно центральної вісі mm^4 .

Момент інерції розрахуємо за формулою:

$$I = K_1 \times (R^4 - r^4) - K_2 \times \frac{(R^3 - r^3)}{R^2 - r^2}, \quad (4.2)$$

K_1 – коефіцієнт для розрахунку моменту інерції, який розраховується за формулою:

$$K_1 = 0,125 \times (0,01745 \times \psi + \sin \psi) \quad (4.3)$$

K_2 – коефіцієнт для розрахунку координат центру тяжіння, який розраховується за формулою:

$$K_2 = 25,4648 \times \frac{1 - \cos \psi}{\psi} \quad (4.4)$$

ψ – центральний кут цанги, який розраховується за формулою:

$$\psi = \frac{360}{z} - 2 \arcsin \times \frac{t}{R + r}, \quad (4.5)$$

де z – число пелюсток цанги;

t – ширина розрізу 10мм;

R і r – відповідно зовнішній та внутрішній радіуси перерізу пелюстка цанги;

ξ – коефіцієнт, який враховує зміни поперечного перерізу пелюстка в поздовжньому напрямі; $\xi = 1,5$.

$[\sigma]$ – допустимі напруження при згині з врахуванням циклічності роботи цанги які залежать від її матеріалу.

$$[\sigma] = (0,4 \div 0,55) \sigma_B, \quad (4.6)$$

ε – постійна заділки, $\frac{1}{\text{мм}^2}$, який розраховується за формулою:

$$\varepsilon = K_5 \times \frac{1}{(R - r)^2}, \quad (4.7)$$

K_5 – коефіцієнт для розрахунку ε , який розраховується за формулою:

$$K_5 = \frac{16300 \times (0,01745 \times \psi + \sin \psi)}{\psi^2}, \quad (4.8)$$

де E – модуль пружності для сталі $2,1 \times 10^6 \text{ Н / мм}^2$

δ_0 – стріла розводки пелюстки в задній частині губки 1 мм;

Δd – допуск на діаметр заготовки;

ΔH – конструктивний запас на знос 0,15мм.

λ – коефіцієнт затухання кутових деформацій в циліндричній оболонці, $\frac{1}{\text{мм}}$.

Розрахуємо λ за формулою:

$$\lambda = \frac{1,815}{\sqrt{R^2 - r^2}}, \quad (4.9)$$

$\gamma_{\max}$ – відстань від центру тяжіння до крайніх найбільш навантажених волокон, мм; розрахуємо за формулою:

$$\gamma_{\max} = R - \gamma_c, \quad (4.10)$$

γ_c – координата центру тяжіння поперечного перерізу пелюстки, мм; центр тяжіння розраховуємо за формулою:

$$\gamma_c = K_3 \times \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}, \quad (4.11)$$

K_3 – коефіцієнт для розрахунку площі перерізу; розрахуємо за формулою:

$$K_3 = \frac{76,394}{\psi} \times \sin \times \frac{\psi}{2}, \quad (4.12)$$

σ_p – напруження розтягування (стиснення) пелюстка від дії осьової сили $\frac{H}{\text{мм}^2}$

розраховуємо за формулою:

$$\sigma_p = \frac{S}{F}, \quad (4.13)$$

S – вісьова сила на одну пелюстку цанги Н

F – площа небезпечного поперечного перерізу пелюстки цанги мм^2 ;

розраховуємо за формулою:

$$F = K_4 \times (R^2 - r^2), \quad (4.14)$$

K_4 – коефіцієнт для розрахунку F ; розрахуємо за формулою:

$$K_4 = 0,00872\psi, \quad (4.15)$$

Схема розрахунку пелюстки цанги показана на схемі 4.6

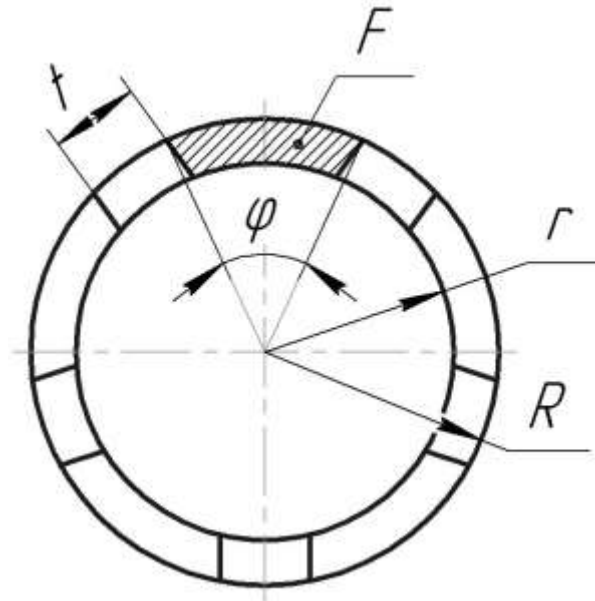


Рисунок 4.6 – Схема для розрахунку параметрів пелюстки

4.3.1 Дослідження впливу зміни поперечного перерізу пелюстки на її довжину

Проаналізуємо як зміна внутрішнього радіусу r буде змінювати довжину пелюстки цанги [19].

Приймемо для аналізу три значення внутрішнього радіусу r_{41} , r_{42} , r_{44}

Розрахуємо центральний кут ψ :

$$\text{для } R=41 \quad \psi = \frac{360}{5} - 2 \arcsin \times \frac{10}{46 + 41} = 47,43^\circ ;$$

$$R=42 \quad \psi = \frac{360}{5} - 2 \arcsin \times \frac{10}{46 + 42} = 47,95^\circ ;$$

$$R=44 \quad \psi = \frac{360}{5} - 2 \arcsin \times \frac{10}{26 + 44} = 48,92^\circ .$$

Розрахуємо коефіцієнти K_1, K_2, K_3, K_4, K_5

$$R=41 \quad K_1 = 0,125 \times (0,01745 \times 47,43 + \sin 47,43) = 0,191 ;$$

$$R=42 \quad K_1 = 0,125 \times (0,01745 \times 47,95 + \sin 47,95) = 0,195 ;$$

$$R=44 \quad K_1 = 0,125 \times (0,01745 \times 48,92 + \sin 48,92) = 0,201.$$

$$R=41 \quad K_2 = 25,4648 \times \frac{1 - \cos 47,43}{47,43} = 0,172;$$

$$R=42 \quad K_2 = 25,4648 \times \frac{1 - \cos 47,95}{47,95} = 0,175;$$

$$R=44 \quad K_2 = 25,4648 \times \frac{1 - \cos 48,92}{48,92} = 0,178.$$

$$R=41 \quad K_3 = \frac{76,394}{47,43} \times \sin \times \frac{47,43}{2} = 0,647;$$

$$R=42 \quad K_3 = \frac{76,394}{47,95} \times \sin \times \frac{47,95}{2} = 0,648;$$

$$R=44 \quad K_3 = \frac{76,394}{48,92} \times \sin \times \frac{48,92}{2} = 0,651.$$

$$R=41 \quad K_4 = 0,00872 \times 47,43 = 0,41;$$

$$R=42 \quad K_4 = 0,00872 \times 47,95 = 0,42;$$

$$R=44 \quad K_4 = 0,00872 \times 48,92 = 0,45.$$

$$R=41 \quad K_5 = \frac{16300 \times (0,01745 \times 47,43 + \sin 47,43)}{47,43^2} = 11,33;$$

$$R=42 \quad K_5 = \frac{16300 \times (0,01745 \times 47,95 + \sin 47,95)}{47,95^2} = 11,37;$$

$$R=44 \quad K_5 = \frac{16300 \times (0,01745 \times 48,92 + \sin 48,92)}{48,92^2} = 11,41.$$

Розрахуємо λ :

$$R=41 \quad \lambda = \frac{1,815}{\sqrt{46^2 - 41^2}} = 0,11 \frac{1}{\text{мм}};$$

$$R=42 \quad \lambda = \frac{1,815}{\sqrt{46^2 - 42^2}} = 0,13 \frac{1}{\text{мм}};$$

$$R=44 \quad \lambda = \frac{1,815}{\sqrt{46^2 - 44^2}} = 0,18 \frac{1}{\text{мм}}.$$

Розрахуємо момент інерції I

$$R=41 \quad I = 0,191 \times (46^4 - 41^4) - 0,172 \times \frac{(46^3 - 41^3)^2}{46^2 - 41^2} = 121 \text{ мм}^4;$$

$$R=42 \quad I = 0,195 \times (46^4 - 42^4) - 0,175 \times \frac{(46^3 - 42^3)^2}{46^2 - 42^2} = 115 \text{ мм}^4;$$

$$R=44 \quad I = 0,201 \times (46^4 - 44^4) - 0,178 \times \frac{(46^3 - 44^3)^2}{46^2 - 44^2} = 107 \text{ мм}^4.$$

Розрахуємо постійну заділки ε :

$$R=41 \quad \varepsilon = 11,33 \times \frac{1}{(46 - 41)^2} = 0,45 \frac{1}{\text{мм}^2};$$

$$R=42 \quad \varepsilon = 11,37 \times \frac{1}{(46 - 42)^2} = 0,71 \frac{1}{\text{мм}^2};$$

$$R=44 \quad \varepsilon = 11,41 \times \frac{1}{(46 - 44)^2} = 2,85 \frac{1}{\text{мм}^2}.$$

Виявляємо координату центру тяжіння поперечного перерізу пелюстки γ_c :

$$R=41 \quad \gamma_c = 0,647 \times \frac{46^3 - 41^3}{46^2 - 41^2} = 22,89 \text{ мм};$$

$$R=42 \quad \gamma_c = 0,647 \times \frac{46^3 - 42^3}{46^2 - 42^2} = 23,34 \text{ мм};$$

$$R=44 \quad \gamma_c = 0,647 \times \frac{46^3 - 44^3}{46^2 - 44^2} = 24,27 \text{ мм}.$$

Визначаємо відстань від центру тяжіння до крайніх найбільш навантажених волокон $\gamma_{\max}$:

$$R=41 \quad \gamma_{\max} = 46 - 22,89 = 23,11 \text{ мм};$$

$$R=42 \quad \gamma_{\max} = 46 - 23,34 = 22,66 \text{ мм};$$

$$R=44 \quad \gamma_{\max} = 46 - 24,27 = 21,73 \text{ мм}.$$

Розрахуємо площу небезпечного перерізу F :

$$R=41 \quad F = 0,41 \times (46^2 - 41^2) = 96,35 \text{ мм}^2;$$

$$R=42 \quad F = 0,42 \times (46^2 - 42^2) = 78,75 \text{ мм}^2;$$

$$R=44 \quad F = 0,45 \times (46^2 - 44^2) = 45 \text{ мм}^2.$$

Розрахуємо напруження розтягування (стиснення) пелюстка від дії вісьової сили σ_p . Вісьову силу, яка діє на одну пелюстку беремо з попередніх розрахунків, вона дорівнює 650 Н.

$$R=41 \quad \sigma_p = \frac{650}{96,34} = 6,74 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

$$R=42 \quad \sigma_p = \frac{650}{78,75} = 8,25 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

$$R=44 \quad \sigma_p = \frac{650}{45} = 14,44 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

В залежності від отриманих показників отримаємо залежність довжини пелюстки від різних площин поперечного перерізу пелюстки:

$$\text{При } R=41 \quad l_d = \sqrt{\frac{\frac{121 \times 0,45}{1,5} \times \left(\frac{121 \times 0,45 \times 0,11^2}{1,5} - 1 \right)}{3 \times 2,1 \times 10^6 \times \left(1 + \frac{0,062 + 0,15}{2} \right) \times 3,11} + \frac{(490 - 6,74) \times 1,5}{- \frac{121 \times 1,5 \times 0,11}{1,5}}} = 45,37 \text{ мм}$$

$$\text{При } R=42 \quad l_d = \sqrt{\frac{\frac{115 \times 0,45}{1,5} \times \left(\frac{115 \times 0,45 \times 0,11^2}{1,5} - 1 \right)}{3 \times 2,1 \times 10^6 \times \left(1 + \frac{0,062 + 0,15}{2} \right) \times 3,11} + \frac{(490 - 8,25) \times 1,5}{- \frac{115 \times 1,5 \times 0,11}{1,5}}} = 46,49 \text{ мм}$$

При R=44

$$l_d = \sqrt{\frac{107 \times 0,45}{1,5} \times \left(\frac{107 \times 0,45 \times 0,11^2}{1,5} - 1 \right) + \frac{3 \times 2,1 \times 10^6 \times \left(1 + \frac{0,062 + 0,15}{2} \right) \times 3,11}{(490 - 14,44) \times 1,5}} - \frac{107 \times 1,5 \times 0,11}{1,5} = 47,37 \text{ мм}$$

Графік залежності довжини пелюстки l_d від площі поперечного перерізу пелюстки F зображено на рисунку 4.7.

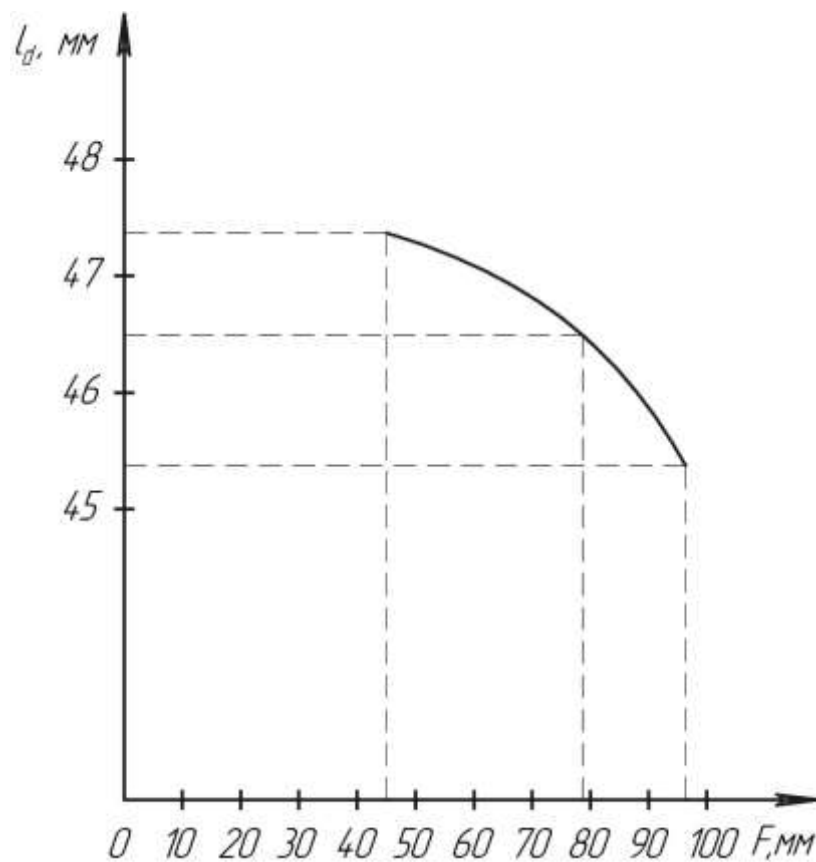


Рисунок 4.7 – Залежність довжини пелюстки l_d від площі його поперечного перерізу F

4.3.2 Дослідження впливу зміни допуску деталі на довжину пелюстки цанги

Проведемо дослідження довжини пелюстки l_d від допуску заготовки [16]. Для дослідження задамося такими квалітетами $h7, h9, h11$. Для дослідження обираємо цангу з товщиною пелюстки 4мм і площею поперечного перерізу пелюстки $78,75\text{мм}^2$

Підставимо формулу значення допуску в залежності від квалітету:

При квалітеті $h7$

$$l_d = \sqrt{\frac{115 \times 0,45}{1,5} \times \left(\frac{115 \times 0,45 \times 0,11^2}{1,5} - 1 \right) + \frac{3 \times 2,1 \times 10^6 \times \left(1 + \frac{0,025 + 0,15}{2} \right) \times 3,11}{(490 - 8,25) \times 1,5}} - \frac{115 \times 1,5 \times 0,11}{1,5} = 45,19\text{мм}$$

При квалітеті $h9$

$$l_d = \sqrt{\frac{115 \times 0,45}{1,5} \times \left(\frac{115 \times 0,45 \times 0,11^2}{1,5} - 1 \right) + \frac{3 \times 2,1 \times 10^6 \times \left(1 + \frac{0,062 + 0,15}{2} \right) \times 3,11}{(490 - 8,25) \times 1,5}} - \frac{115 \times 1,5 \times 0,11}{1,5} = 46,49\text{мм}$$

При квалітеті $h11$

$$l_d = \sqrt{\frac{115 \times 0,45}{1,5} \times \left(\frac{115 \times 0,45 \times 0,11^2}{1,5} - 1 \right) + \frac{3 \times 2,1 \times 10^6 \times \left(1 + \frac{0,16 + 0,15}{2} \right) \times 3,11}{(490 - 8,25) \times 1,5}} - \frac{115 \times 1,5 \times 0,11}{1,5} = 49\text{мм}$$

Графік залежності довжини пелюстки l_d від допуску заготовки Δd зображено на рис 4.8

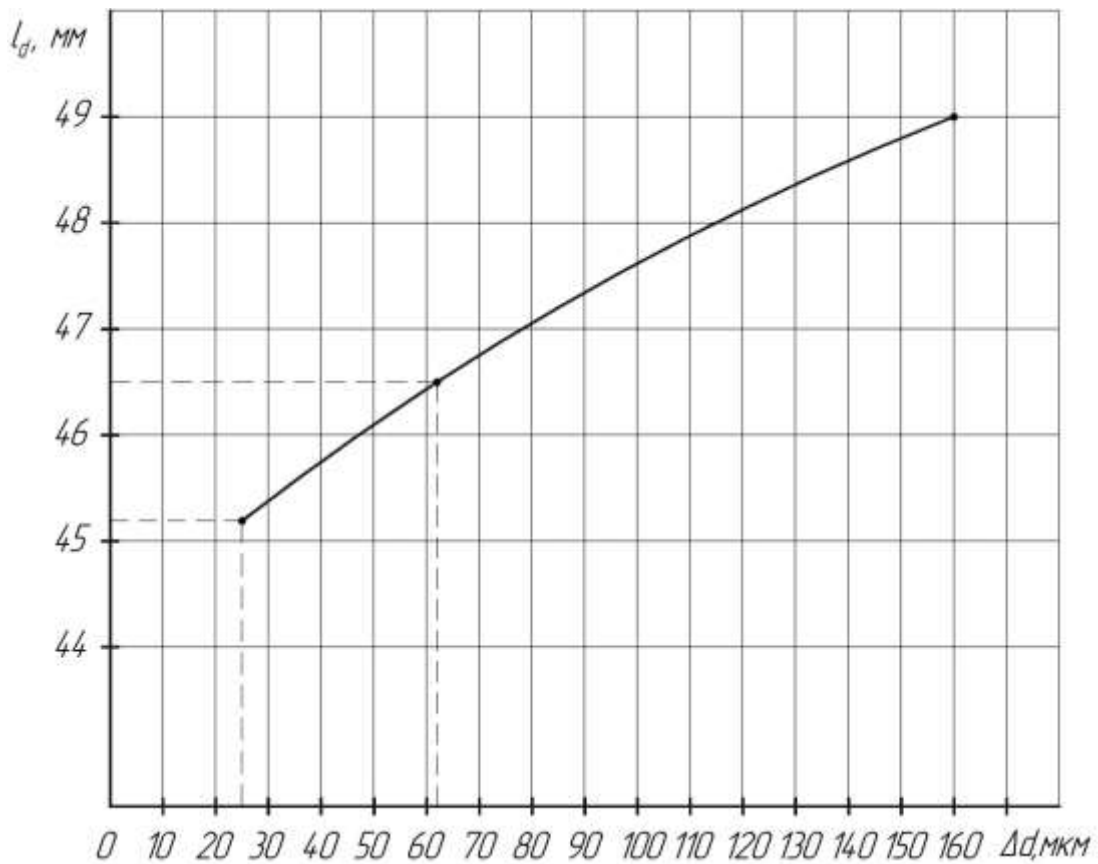


Рисунок 4.8 – Залежність довжини пелюстки l_d від допуску заготовки Δd

4.4 Дослідження впливу тиска в системі та зазору між деталлю і цангою на силу затиску

Одним з головних параметрів, що визначається при розрахунку цангових пристроїв, є сила на штоці приводу, яка визначається відповідною залежністю [7]:

$$Q = \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi \cdot \rho \cdot \eta}{4}, \quad (4.16)$$

де Q - сила на штоці; D - діаметр пневмоциліндра; ρ - тиск в системі; η - коефіцієнт корисної дії.

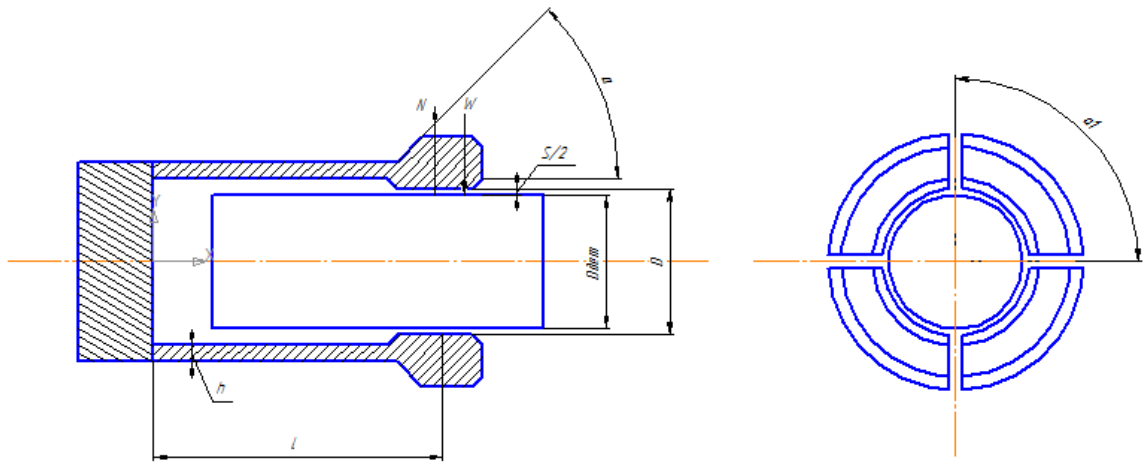


Рисунок 4.9 – Розрахункова схема параметрів

Проведемо розрахунки сили Q при різних значеннях показника тиску в системі стиснутого повітря:

-при $\rho_1=4,5$ Атм
$$Q_1 = \frac{(7^2 - 2,9^2) \cdot 3,14 \cdot 4,5 \cdot 0,85}{4} = 1219 \text{ Н}$$

- при $\rho_2=5$ Атм
$$Q_2 = \frac{(7^2 - 2,9^2) \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 0,85}{4} = 1350 \text{ Н}$$

- при $\rho_3=5,5$ Атм
$$Q_3 = \frac{(7^2 - 2,9^2) \cdot 3,14 \cdot 5,5 \cdot 0,85}{4} = 1480 \text{ Н}$$

Розраховуємо силу затиску W в залежності від тиску повітря в системі.

$$W(P) = \frac{Q}{Z(\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + \operatorname{tg} \varphi_2)} - N$$

- при $P=4,5$ Атм
$$W_1 = \frac{1219}{4(\operatorname{tg}(12 + 5,7) + \operatorname{tg} 11,3)} - 231 = 379 \text{ Н}$$

-при $P=5$ Атм
$$W_2 = \frac{1350}{4(\operatorname{tg}(12 + 5,7) + \operatorname{tg} 11,3)} - 231 = 444 \text{ Н}$$

-при $P=5$ Атм
$$W_3 = \frac{1480}{4(\operatorname{tg}(12 + 5,7) + \operatorname{tg} 11,3)} - 231 = 509 \text{ Н}$$

Після проведення розрахунків, для покращення візуального сприйняття побудуємо графіки залежності сили W затиску від тиску P .

Для побудови графіку був використаний програмний пакет Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США).

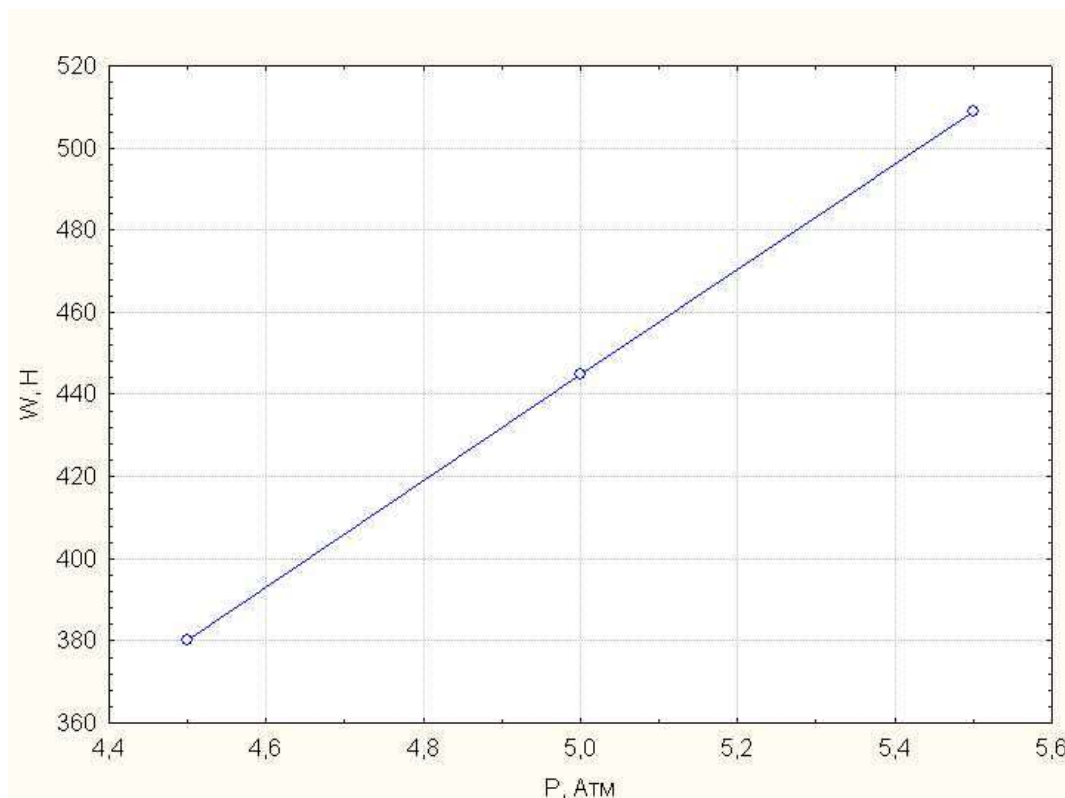


Рисунок 4.10 – Графік залежності сили затиску від тиску

При розрахунку цангових патронів важливим критерієм є сила пружного опору однієї пелюстки цанги, що визначається за формулою [19]:

$$N = \frac{3 \cdot E \cdot J}{(2l)^3} \cdot \frac{S}{2} \quad [\text{Н}], \quad (4.17)$$

де E - модуль пружності матеріалу цанги (для сталі $E=2,1 \cdot 10^{11}$ Па);

S – діаметральний зазор до закріплення [м];

l - довжина лепистка цанги до місця заделки

J – момент інерції, перерізу сектору пелюстки цанги

$$J = \frac{d^3 \cdot h}{8} \cdot (\alpha + \sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1 - \frac{2 \cdot (\sin \alpha)^2}{\alpha_1}) \quad [\text{м}^4], \quad (4.18)$$

h – товщина лепистка цангової втулки;

α - половина кута конуса цангової втулки;

α_1 – половина кута сектора пелюстки.

$$J = \frac{0,29^3}{8} \cdot (12 + \sin 45 \cdot \cos 45 - \frac{2 \cdot (\sin 5,7)^2}{45}), \quad (4.19)$$

$$J=0,15 \cdot 10^{-7}$$

Визначаємо силу N при різних значень зазорів S

$$\text{при } S_1=0,1 \text{ мм} \quad N_1 = \frac{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,5 \cdot 10^{-8}}{(2 \cdot 0,08)^3} \cdot \frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{2} = 115H$$

$$\text{-при } S_2=0,2 \text{ мм} \quad N_2 = \frac{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,5 \cdot 10^{-8}}{(2 \cdot 0,08)^3} \cdot \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{2} = 231$$

$$\text{-при } S_3=0,3 \text{ мм} \quad N_3 = \frac{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,5 \cdot 10^{-8}}{(2 \cdot 0,08)^3} \cdot \frac{0,3 \cdot 10^{-3}}{2} = 346H$$

Розрахуємо силу затиску W при різних затисках діаметрального зазору.

Силу Q залишимо сталою. Q=1350Н.

$$W(S) = \frac{Q}{Z(tg(\alpha + \varphi_1) + tg \varphi_2)} - N. \quad (4.20)$$

$$\text{при } S_1=0,1 \text{ мм} \quad W_1 = \frac{1350}{4(tg(12 + 5,7) + tg 11,3)} - 115 = 560H$$

$$\text{-при } S_2=0,2 \text{ мм} \quad W_2 = \frac{1350}{4(tg(12 + 5,7) + tg 11,3)} - 231 = 444H$$

$$\text{-при } S_3=0,3 \text{ мм} \quad W_3 = \frac{1350}{4(tg(12 + 5,7) + tg 11,3)} - 346 = 329H$$

Після проведення розрахунків, для покращення візуального сприйняття побудуємо візуальні графіки залежності сили затиску від діаметрального зазору. Для побудови графіку був використаний програмний пакет Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США).

Розрахуємо силу затиску W при різних показників кута конуса цангової втулки. Силу Q залишимо сталою. Q=1350Н.

$$\text{при } \alpha_1 = 8^\circ \quad W_1 = \frac{1350}{4(tg(8 + 5,7) + tg 11,3)} - 231 = 529H.$$

-при $\alpha_1 = 12^\circ$

$$W_2 = \frac{1350}{4(\operatorname{tg}(12 + 5,7) + \operatorname{tg}11,3)} - 231 = 444 \text{ Н.}$$

-при $\alpha_1 = 16^\circ$

$$W_3 = \frac{1350}{4(\operatorname{tg}(16 + 5,7) + \operatorname{tg}11,3)} - 231 = 333 \text{ Н.}$$

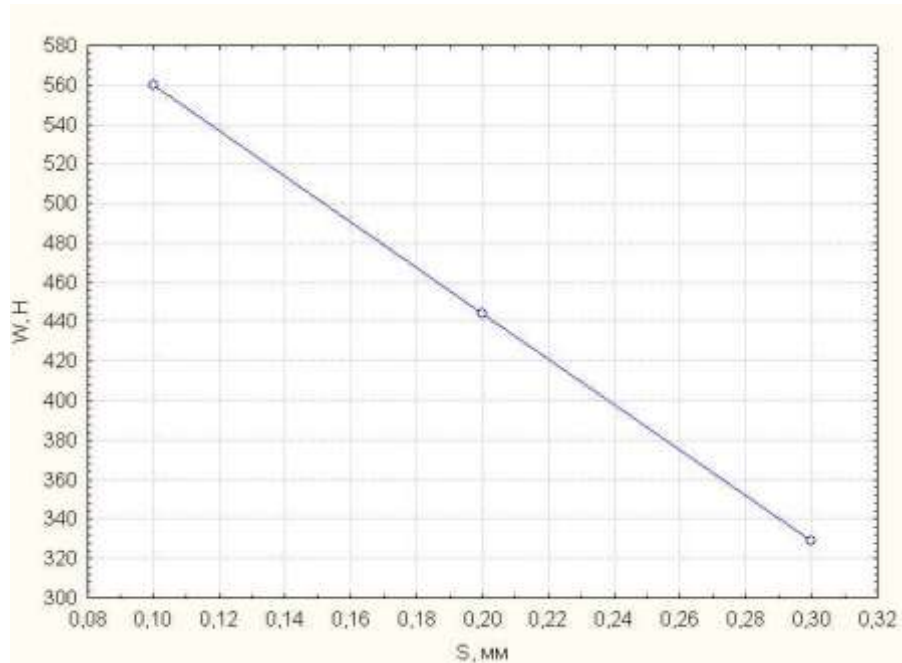


Рисунок 4.11 – Графік залежності сили затиску від між діаметрального зазору

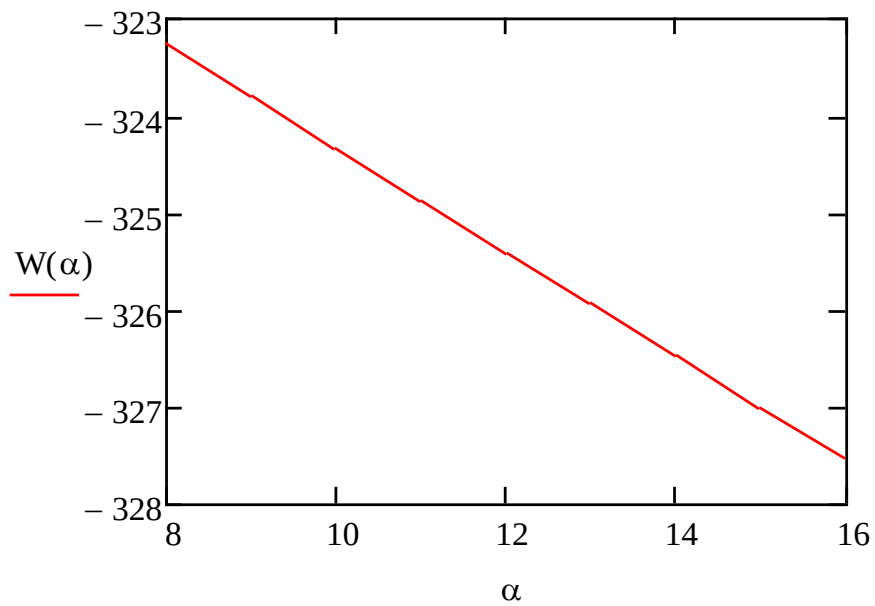


Рисунок 4.12 – Графік залежності сили затиску від кута конуса цангової втулки

4.4.2 Тарування засобів вимірювання

Для імітації сили різання і її контролю використано динамометр з індикатором 14-10, що має ціну поділки 0,01 мм.

Перед початком потрібно протарувати індикатор динамометра. Установка для тарування зображена на рисунку 4.12. Вона складається з динамометра, який будемо навантажувати за допомогою комплекту гирь. Дані по таруванню приведені в таблиці 4.1.



Рисунок 4.13 – Установка для тарування

Таблиця 4.1 – Результати тарування

Вага гирь, кг	Сила, Н	Показання індикатора, мм
0,5	4,9	0,027
1	9,8	0,05
1,5	14,7	0,07
2	19,6	0,11

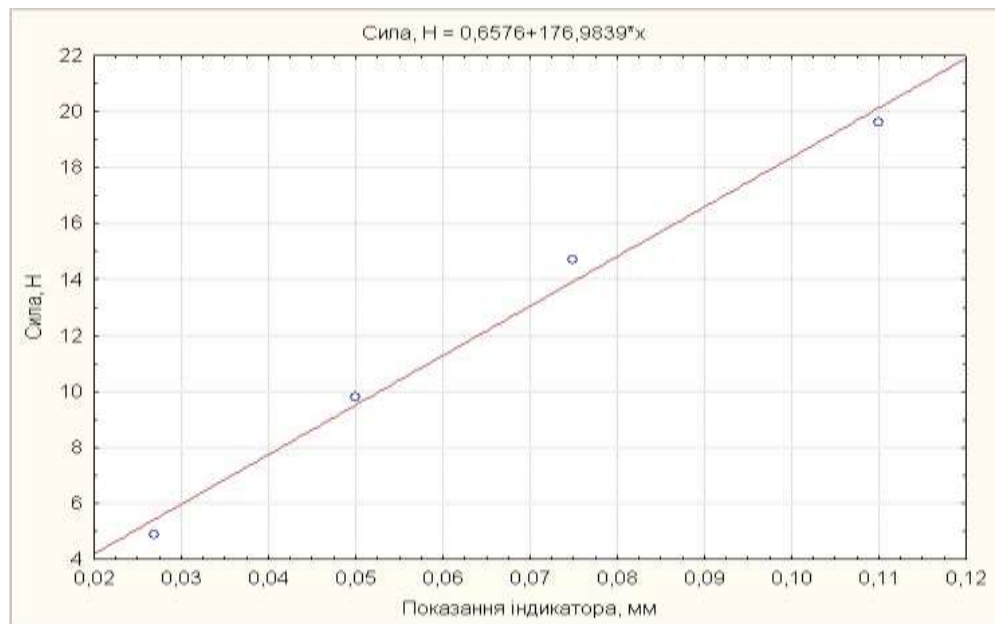


Рисунок 4.14 – Тарувальний графік

Графік будувався за допомогою програмного пакету Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США), зокрема модуля “Графіки розсіювання”. Після побудови графіку виявилася лінійна залежність, яка описується поліномом:

$$Y = 0,6576 + 176,9839 * X;$$

де X – показання індикатора, мм; Y – значення сили, Н.

4.4.3 Планування експерименту та експериментальна установка та її опис

Експериментальні дослідження проводилися з метою підтвердження впливу міждіаметрального зазору на силу затиску, що буди визнані за доцільні в попередніх дослідженнях. Послідовно проводилися три серії дослідів.

В якості факторів, що впливають на силу затиску цангового заживного пристосування прийняті: зазор між деталлю та цангою S , тиск стиснутого повітря P .

Таким чином в результаті дослідження необхідно встановити вплив факторів S, P. Усі зазначені фактори відповідають умовам керованості та однозначності [8].

Планування експерименту виконане за допомогою програмного пакету Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США), зокрема модуля «Планування експерименту» [8].

Для досліджень було використано план експерименту 3^2 . Матрицю планування експерименту представлено в таблиці 4.3.

Визначення функції відгуків представлено степеневою залежністю функції відгуку представлено степеневою залежністю функції від вищезазначених факторів:

$$y = k_1 \cdot S^{\beta_1} \cdot P^{\beta_2}, \quad (4.21)$$

Застосувавши до обох частин виразу логарифмічне перетворення, яке стабілізує дисперсію і досить поширене в статистиці, отримаємо із нелінійного рівняння лінійне:

$$\lg y = \lg k_1 + \beta_1 \lg S + \beta_2 \lg P, \quad (4.22)$$

Тепер задача зводиться до побудови лінійної регресивної моделі виду:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i \cdot X_i, \quad (4.23)$$

де $Y = \lg y$, $b_0 = \lg k_1$, $b_1 = \beta_1$, $X_1 = \lg S$, $b_2 = \beta_2$, $X_2 = \lg P$

Таблиця 4.2 – Межі варіювання факторів

Фактори	$X_{\max}$	$X_{\text{сер}}$	$X_{\min}$	ΔX
Міждіаметральний зазор S, мм	0,3	0,2	0,1	0,1
Тиск стиснутого повітря P, Атм	5,5	5,0	4,5	0,5

Таблиця 4.3 – План експерименту 3^2 при дослідженні сил затиску

№ з/п	Replicat	X1(S)	X2(P)
1	1	-1	1
2	1	1	0
3	1	0	-1
4	1	1	1
5	1	0	0
6	1	1	-1
7	1	0	1
8	1	-1	0
9	1	-1	-1
10	2	-1	1
11	2	1	0
12	2	0	-1
13	2	1	1
14	2	0	0
15	2	1	-1
16	2	0	1
17	2	-1	0
18	2	-1	-1

Експериментальна установка (рис. 4.15) складається з цанги з пневмоциліндром, в яку встановлена заготовка за прапорцем. На прапорець створюється навантаження гвинтом, через динамометр.

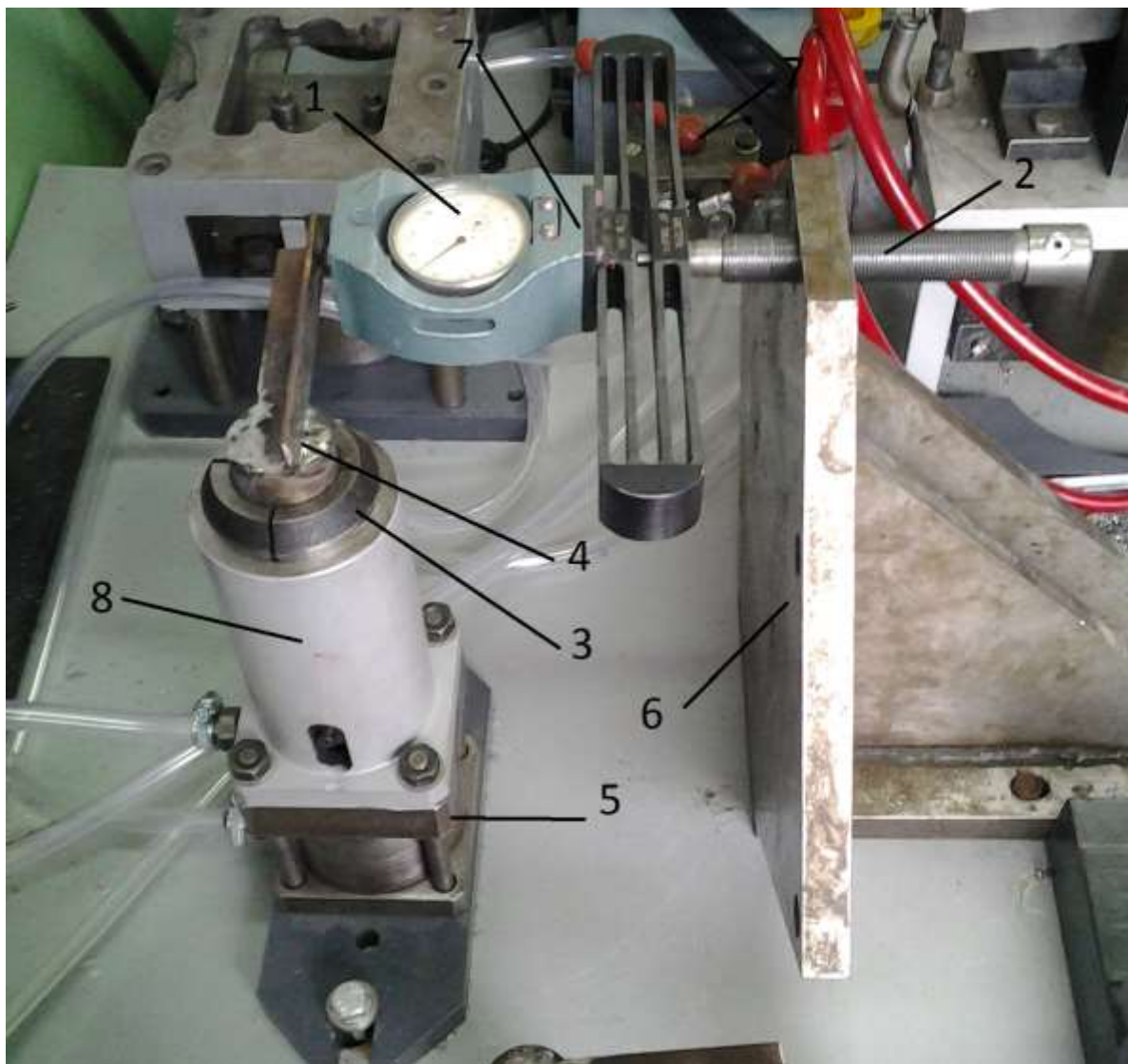


Рисунок 4.15 – Експериментальна установка

1-індикатор; 2 – гвинт; 3 – цанга затисна; 4 – заготовка з прапорцем ; 5 – пневмоциліндр; 6 – кронштейн; 7 – динамометр; 8 – корпус.

4.4.4 Результати експериментальних досліджень

Таблиця 4.4 – Матриця плану 3^2 з результатами експериментів

№ з/п	Replicat	X1(S)	X2(P)	P, Н	Мкр, Н·м	W,Н
1	1	0,1	5,5	111	9,96	632
2	1	0,3	5	58	5,2	330
3	1	0,2	4,5	69	6,02	382
4	1	0,3	5,5	70	6,3	400
5	1	0,2	5	77	6,93	440
6	1	0,3	4,5	45	4,06	258
7	1	0,2	5,5	88	7,89	501
8	1	0,1	5	98	8,78	557
9	1	0,1	4,5	85	7,7	489
10	2	0,1	5,5	110	9,91	629
11	2	0,3	5	57	5,1	324
12	2	0,2	4,5	67	6,05	384
13	2	0,3	5,5	68	6,16	391
14	2	0,2	5	77	6,9	438
15	2	0,3	4,5	46	4,13	262
16	2	0,2	5,5	91	8,15	517
17	2	0,1	5	96	8,67	550
18	2	0,1	4,5	85	7,68	487

За допомогою програмного пакету Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США) побудуємо поверхню відгуку впливу тиску Р та діаметрального зазору S на силу затиску.

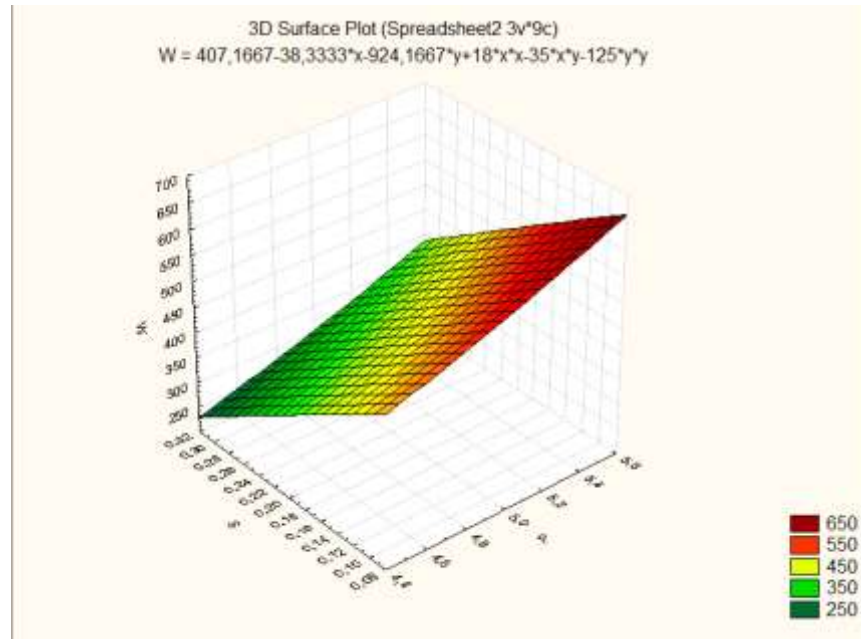


Рисунок 4.16 – Поверхня відгуку

Відповідно математична модель впливу визначених параметрів на силу затиску має вигляд:

$$W=407,1667-38,3333 \cdot P-924,1667 \cdot S+18 \cdot P^2-35 \cdot P \cdot S-125 \cdot S^2.$$

4.5 Висновки

1. Аналіз існуючих конструкцій затискних елементів показав, що використання цанги є ефективним і обґрунтованим для затиску деталі типу тіла обертання, та забезпечує необхідну точність розмірів при обробці деталі і її надійність закріплення
2. Проведено аналіз конструктивних параметрів цангових механізмів, та їх вплив на довжину пелюстки цанги.
3. Досліджено вплив тиску в системі стиснутого повітря та між діаметрального зазору на силу затиску. Експериментальним шляхом виведено математичні моделі впливу параметрів на силу затиску. Побудовано графіки, та поверхні відгуку.

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 [25]. Цей аналіз здійснюється шляхом визначення та порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі по кожному з альтернативних варіантів (базовому і проектному):

$$C_{tex} = V \cdot N_z + P, \quad (5.1)$$

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:

$$V = M_o + Z_{одв} + E_c + B_p + B_{мд} + B_{ін.ун} + B_{пр.ун} + B_{ам.у} + B_{ен}, \quad (5.2)$$

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:

$$З_{одв} = C_{z(i)} \frac{t_{ум(i)}}{60} (1 + K_d) \cdot (1 + K_c), \quad (5.3)$$

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

В базовому варіанті:

$$З_{одв.баз} = \frac{29,148 \cdot 2,847}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 1,8561 \text{ грн.}$$

В проектному варіанті:

$$З_{одв.пр} = \frac{32,387 \cdot 1,804}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 1,3068 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію силову:

$$E_c = \frac{N_e \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_d}{\eta_e \cdot \eta_m} \cdot \frac{t_{ум}}{60} \cdot \Pi_{ел}, \quad (5.4)$$

де N_e – 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 $0,4\dots0,5$ – для шліфувальних верстатів);

K_d – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за часом, $K_d=0,3\dots0,5$;

η_e – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі, $\eta_e=0,92\dots0,96$; η_m – ККД електродвигунів, $\eta_m=0,86\dots0,9$;

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

$$E_{с.баз} = \frac{10 \cdot 0,7 \cdot 0,4 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88} \cdot \frac{2,845}{60} \cdot 2,429 = 0,1494 \text{ грн.}$$

$$E_{с.нр} = \frac{7,5 \cdot 0,7 \cdot 0,4 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88} \cdot \frac{1,804}{60} \cdot 2,429 = 0,0917 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_p = \frac{W_m \cdot R_m + W_e \cdot R_e}{T_{pc}} \cdot \frac{t_{um}}{60}, \quad (5.5)$$

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:

$$T_{pc} = T_{pc.n} \cdot \beta_m \cdot \beta_{тв} \cdot \beta_n \cdot \beta_v, \quad (5.6)$$

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

β – коефіцієнти [15].

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

$$B_{p.баз} = \frac{(490 \cdot 8 + 215 \cdot 8) \cdot 2,845}{26520 \cdot 60} = 0,0118 \text{ грн.}$$

$$B_{p.нр} = \frac{(490 \cdot 8,5 + 215 \cdot 8) \cdot 1,804}{26520 \cdot 60} = 0,0087 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{мд} = \frac{M_{св} \cdot R_m \cdot t_{um}}{100 \cdot 60} \cdot K_{\epsilon}, \quad (5.7)$$

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

K_{ϵ} – коефіцієнт, який враховує тип виробництва.

$$B_{мд.баз} = \frac{28,5 \cdot 8 \cdot 2,845}{100 \cdot 60} \cdot 1,1 = 0,1189 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{мод.пр}} = \frac{28,5 \cdot 8,5 \cdot 1,804}{100 \cdot 60} \cdot 1,1 = 0,0801 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію універсального ріжучого інструменту:

$$B_{ip} = \frac{(S_u + p \cdot S_{\text{пер}}) \cdot \gamma \cdot T_{\text{нор}}}{t_e (p+1)} K_{\text{вт}}, \quad (5.8)$$

де S_u – первісна вартість універсального ріжучого інструменту, грн.; p – кількість переточок ріжучого інструменту до повного зносу по лімітуючому розміру ріжучої грані [12, табл. 7.12];

$S_{\text{пер}}$ – вартість однієї переточки, грн.;

γ – питоме значення машинного часу роботи обладнання в загальному варіанті його роботи [12, табл. 7.11];

t_e – економічна стійкість інструменту, хв. [12, табл. 7.12];

$K_{\text{вт}}$ – коефіцієнт обліку втрат інструменту [13].

$$B_{ip.\text{баз}} = \frac{(536,0 + 20 \cdot 23,8) \cdot 0,7 \cdot 2,845}{480 \cdot (20+1)} \cdot 1,01 = 0,2019 \text{ грн.}$$

$$B_{ip.\text{пр}} = \frac{(536,0 + 20 \cdot 23,8) \cdot 0,7 \cdot 1,804}{480 \cdot (20+1)} \cdot 1,01 = 0,1280 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію універсального обладнання:

$$B_{\text{ам}} = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_a \cdot t_{\text{ум}}}{F_{\text{дрм}} \cdot 60 \cdot 100 \cdot \eta_{\text{зн}}}, \quad (5.9)$$

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

$$\Phi_{\text{бал}} = \Pi_{\text{опт}} \cdot K_{\text{тмф}}, \quad (5.10)$$

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

$K_{\text{тмф}}$ – 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, %.

$$B_{\text{ам.баз}} = \frac{87000 \cdot 1,19 \cdot 15 \cdot 2,845}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,8} = 0,2501 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{ам.пр}} = \frac{320800 \cdot 1,19 \cdot 15 \cdot 1,804}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,8} = 0,5848 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію приміщення:

$$B_{en} = \frac{S_{od} \cdot k_f \cdot C}{F_{орм} \cdot \eta_{зн}} \cdot \frac{t_{ум}}{60}, \quad (5.11)$$

де S_{od} – площа в плані, яку займає одиниця обладнання, m^2 ;

k_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (проходи, проїзди, транспортно-складські приміщення) [15, табл. 4].

C – річні витрати, пов'язані з експлуатацією $1m^2$ приміщення, грн.

$$B_{en.баз} = \frac{11,27 \cdot 2 \cdot 2,845 \cdot 320}{3680 \cdot 60 \cdot 0,8} = 0,1162 \text{ грн.}$$

$$B_{en.пр} = \frac{12,26 \cdot 2 \cdot 1,804 \cdot 320}{3680 \cdot 60 \cdot 0,8} = 0,0801 \text{ грн.}$$

5.1.2 Розрахунок постійних витрат

За поелементним методом розрахунку постійні витрати включають:

$$P = B_{нал} + B_{сп.осн} + B_{ам.сп} + B_{пр}, \quad (5.12)$$

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

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

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

$B_{пр}$ – витрати на створення програмного забезпечення верстатів з ЧПК.

Витрати на налагодження обладнання:

$$B_{нал} = C_{зн} \cdot \frac{t_{н-з}}{60} \cdot (1 + K_o) \cdot (1 + K_c) \cdot A, \quad (5.13)$$

де $C_{зн}$ – годинна тарифна ставка наладчика відповідного розряду грн./год.; $t_{н-з}$ – підготовчо-заклучний час даної операції, хв.;

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

$$B_{нал.баз} = 36,705 \cdot \frac{16+16}{60} \cdot (1+0,1) \cdot (1+0,22) \cdot 36 = 945,76 \text{ грн.}$$

$$B_{нал.пр} = 43,182 \cdot \frac{18}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 36 = 625,86 \text{ грн.}$$

5.1.3 Розрахунок технологічної собівартості

Усі виконані розрахунки змінних та постійних витрат, а також розрахунок технологічної собівартості зведемо до табл. 5.1.

Технологічна собівартість:

$$C_{тех.баз} = 2,7044 \cdot 10000 + 945,76 = 27990 \text{ грн.}$$

$$C_{тех.пр} = 2,2802 \cdot 10000 + 625,86 = 23428 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.1 – 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	1,8561	1,3068
1.2	Електроенергія силова	0,1494	0,0917
1.3	Ремонт обладнання	0,0118	0,0087
1.4	Матеріали допоміжні	0,1189	0,0801
1.5	Універсальний ріжучий інструмент	0,2019	0,1280
1.6	Амортизація універсального обладнання	0,2501	0,5848
1.7	Експлуатація приміщень	0,1162	0,0801
	Всього змінних витрат	2,7044	2,2802
2.	<u>Постійні витрати Р</u>		
2.1	Налагодження обладнання	945,76	625,86
	Технологічна собівартість річного випуску деталей $C_{тех}$	27990	23428

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей «шестерня ведуча» $N_3=10000$ шт. є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

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 $C_{тех.баз}=C_{тех.пр}$:

$$N_{кр} = \frac{P_{пр} - P_{баз}}{V_{баз} - V_{пр}} = \frac{625,86 - 945,76}{2,7044 - 2,2802} = -754 \text{ шт.}, \quad (5.14)$$

Від'ємне значення $N_{кр}$ означає, що за будь-якої програми запуску деталі «шестерня ведуча» ефективнішим з економічної точки зору є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

5.2 Розрахунок показників економічної ефективності проектного варіанту технологічного процесу

Річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу:

$$E_p = (C_{тех.баз} + E_n \cdot K_{баз}) - (C_{тех.пр} + E_n \cdot K_{пр}), \quad (5.15)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень;

$K_{баз}$, $K_{пр}$ – 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 $K_{буд}$, скореговані на коефіцієнт завантаження обладнання тих деталей-операцій, які відрізняються у порівнюваних варіантах:

$$K = (\Phi_{бал} + B_{осн} + K_{буд}) \cdot \eta_{з_i}, \quad (5.16)$$

Капітальні вкладення в будівлі розраховуємо за формулою:

$$K_{буд} = S_{од} \cdot K_f \cdot q_{пр} \cdot h \cdot \Pi_{буд}, \quad (5.17)$$

де h – висота приміщення цеху, м;

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

$$K_{буд.баз} = 11,27 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 4000 = 1442560 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{буд.нр}} = 12,26 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 4000 = 784640 \text{ грн.}$$

Балансова вартість обладнання:

$$\Phi_{\text{бал.баз}} = 87000 \cdot 2 \cdot 1,19 = 207060 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{\text{бал.нр}} = 320800 \cdot 1,19 = 381752 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{баз}} = (1442560 + 207060) \cdot 0,06 = 98977 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{нр}} = (784640 + 381752) \cdot 0,08 = 93311 \text{ грн.}$$

$$E_p = (27990 + 0,16 \cdot 98977) - (23428 + 0,16 \cdot 93311) = 5470 \text{ грн.}$$

При впровадженні нового технологічного процесу додаткові капітальні вкладення – відсутні.

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

$$\Delta T_p = \frac{\sum_{i=1}^m t_{\text{ум}(i)}^{\text{баз}}}{\sum_{i=1}^m t_{\text{ум}(i)}^{\text{нр}}} \cdot 100 - 100 = \frac{1,804}{2,845} \cdot 100 - 100 = 36,6\%, \quad (5.18)$$

5.3 Планування підсумкових техніко-економічних показників

Виробіток продукції на одного робітника:

$$B_n = \frac{T_p}{R_o} = \frac{44092}{24} = 1837 \text{ нормо-год./ос.}, \quad (5.19)$$

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

R_o – чисельність основних робітників цеху, осіб;

Зарплатомісткість продукції:

$$Z_{\text{зн}} = \frac{Z_{\text{од}}}{C_y} \cdot 100 = \frac{13,320}{114,088} \cdot 100 = 11,7\%, \quad (5.20)$$

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

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

Матеріаломісткість продукції:

$$Z_{мт} = \frac{M_o}{C_{ц}} \cdot 100 = \frac{14,488}{114,088} \cdot 100 = 12,7\%, \quad (5.21)$$

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

Собівартість товарної продукції цеху:

$$C_{mn} = C_{ц} \cdot N_z \cdot K_{дов} \quad (5.22)$$

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

$$C_{mn} = 114,088 \cdot 10000 \cdot 7,73 = 8819000 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.2 – Техніко-економічні показники цеху

№ з/п	Показник	Одиниця виміру	Величина
2.	Трудомісткість виробничої програми (T_p)	нормо-год.	44092
3.	Цехова собівартість деталі	грн.	114,09
4.	Собівартість товарної продукції цеху (C_{mn})	тис. грн./рік	8819,0
5.	Чисельність основних робітників	осіб	24
6.	Виробіток продукції на одного робітника	нормо-год.	1837
7.	Матеріаломісткість продукції	%	12,7
8.	Зарплатомісткість продукції	%	11,7
9.	Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу ΔT_p	%	36,6
10.	Річний економічний ефект від застосування проектного варіанту техпроцесу E_p	грн.	5470

Висновок по економічній частині: проектний варіант технологічного процесу виготовлення деталі шестерня ведуча НШ32М-3-03 є економічно вигіднішим ніж базовий. Річний ефект становить 5470 грн.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на тему: “Дослідження параметрів цангових механізмів з розробкою технології обробки шестерні ведучої” було виконано аналіз діючого технологічного процесу, на основі чого запропоновані відповідні зміни. Для запропонованого технологічного процесу були розроблені структура та зміст операцій, вибране технологічне обладнання, ріжучі та контрольні інструменти, визначені режими різання і технічно обґрунтовані норми часу. Також у роботі було розроблено конструкцію затискного гідравлічного пристрою для обробки шестерні.

В дослідній частині було проведено аналіз існуючих конструкцій затискних елементів, який показав, що використання цанги є ефективним і обґрунтованим для затиску деталі типу тіла обертання, та забезпечує необхідну точність розмірів при обробці деталі і її надійність закріплення.

Проведені структурно-системні дослідження цангових затискних механізмів з використанням морфологічного аналізу дозволили розробити нові конструкції таких механізмів.

Проведено аналіз конструктивних параметрів цангових механізмів, та досліджено їх вплив на довжину пелюстки цанги.

Досліджено вплив тиску в системі стиснутого повітря та між діаметрального зазору на силу затиску.

Експериментальним шляхом виведено математичні моделі впливу параметрів на силу затиску. Побудовано відповідні графіки та поверхні відгуку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
2. Технологічні основи машинобудування. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт і самостійної роботи студентів інженернохімічного факультету та механіко-машинобудівного інституту / Укл. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Субін А.А., Гриценко В.М. Під редакцією Петракова Ю.В. – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 112 с., іл
3. Гевко Б.М., Дичковський М.Г., Матвійчук А.В. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої : навч. посіб. Київ : «Кондор», 2008. 220 с.
4. Боровик О. В., Малашин М. О. Довідник з креслення. Стандарти ISO : навчально-методичний посібник. Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2014. 104 с.
5. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування технологічного спорядження : посібник. Львів : Світ, 2001. 296 с.
6. В. А. Мажара, М. О Годунко, Основи гнучкого автоматизованого виробництва. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентами спеціальності “Прикладна механіка”. Кропивницький, Україна: ЦНТУ, 2018.
7. Мажара В. А., Артюхов А. М., Тененика С. А. Проектування затискних пристроїв та оснащення. Самостійна робота. – 2024. М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 44 с.
8. Мажара В. А. Комп’ютерна статистика в технології машинобудування. – 2017. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 52 с.

9. Кузнєцов, Ю. М., Луців, І. В., Шевченко, О. В., & Волошин, В. Н. (2011). Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: монографія. К.–Тернопіль: Терно-граф.
10. Крижанівський В.А., Кузнєцов Ю.М., Валявський І.А. і ін. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою. Кіровоград, 2004. – 438с.
11. Кузнєцов Ю.М. Моделювання динамічних силових характеристик плунжерних токарних патронів з багатопрофільними затискними елементами/ Ю.М. Кузнєцов, В.Н. Волошин// Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве автоматизація. – 2008.– Випуск 20. – С.173 – 176.
12. Економіка підприємства: Методичні вказівки до вивчення курсу для студентів напрямку підготовки 6.030504 «Економіка підприємства» /Укл. І.В. Журило. – Кіровоград: КНТУ, 2014. – 52с.
13. Журило, І.В. Дипломне проектування з економіки підприємства: особливості, методика та основні етапи: навч.-метод. посіб. /І. В. Журило, М. В. Семикіна. 3-тє вид., перероб. і допов. – Кропивницький: КНТУ, 2016. – 80 с.
14. Павленко І.І., Мажара В.А. Технологічне оснащення. Методичні вказівки виконання курсового проекту студентами спеціальності “Прикладна механіка”. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 36 с.
15. 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.
16. Богатирьов І. С., Мажара В. А. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦАНГОВИХ МЕХАНІЗМІВ // НАУКА–ВИРОБНИЦТВО, 2013. – 2013. – С. 87.
17. Mazhara, V., Shcherbyna, K., Maniakin, S., & Filonenko, V. (2023). Efficiency of using turning machining centers. Global science: prospects and innovations :

- proceedings of IV international scientific and practical conference, Liverpool, 1-3 December, 2023. – Liverpool, United Kingdom : Cognum Publishing House, 2023. – P. 216-221.
18. Мажара, В. А., Щербина, К. К., Артюхов, А. М., Тененика, С. А., & Шестаков, І. С. (2024). Система автоматизованого проєктування технологічного оснащення. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.
 19. Тірошко Т. А., Мажара В. А., Подольський А. Ю. Аналіз конструктивних параметрів цангових затискних механізмів // НАУКОВІ ЗАПИСКИ. – 2011. – С. 299.
 20. Скібінський О. І., Селєхова В. М. Технологія машинобудування. Самостійні роботи. – 2023. М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 77 с.
 21. Павленко І.І., Мажара В.А. Роботизовані технологічні комплекси. Монографія - Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2019.
 22. Павленко І.І. Структура промислових роботів. Кіровоград: КІСМ, 1998. – 98с.
 23. Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками. Наказ Міністерства соціальної політики України 28.12.2017 № 2072.
 24. Основи охорони праці: Підручник. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Козьяков, Л. О. Митюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. – К.: Основа, 2003 – 472 с.: іл.
 25. Sybirtsev, V., Mazhara, V., & Moskalenko, V. (2020). Analysis of discriminant models in forecasting bankruptcy of enterprises. Bulletin of the Cherkasy Bohdan Khmelnytsky National University. Economic Sciences, (2).
 26. Павленко І.І. Захватні пристрої роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Захватні

- пристрої роботів: монографія. – Кропивницький: «КОД», 2020. – 386 с.
27. Skibinskyi, O. I. A Novel Design of Cutting Tool for Efficient Finishing of G-Rotors / O. I. Skibinskyi, A. O. Hnatiuk // *Advances in Gear Theory and Gear Cutting Tool Design* / [editors : S. P. Radzevich, M. Storchak]. – Cham, Switzerland: Springer, 2022. – P. 181-203.
28. Годунко М.О. Основи 3D моделювання і робототехніки: Навч. посіб. для проведення практичних занять / М.О. Годунко, А.І. Гречка. – К. : 7БЦ, 2024. – 42 с.
29. Валявський, І. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою : навч. посіб. / І. А. Валявський, О. В. Лисенко, І. А. Лисенко ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 281 с.
30. Кириченко А.М. Українська мова як мова науки (у контексті концептуальної картини світу) / А.М. Кириченко, З.В.. Стежко // *Наука та наукознавство*. – Київ, 2024. – Вип. 4 (126). – С. 40-50.