

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри ММіР
к.т.н., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
«_____» _____ 2025 р.

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

**«Розробка технології виготовлення шестерні ведучої
з дослідженням ефективності використання
пальцевих захватних пристроїв роботів»**

**«Development of a technology for manufacturing a
drive gear with research into the effectiveness of using
robot finger grippers»**

Виконав здобувач вищої освіти II-го
курсу групи ГМ-23М-З
ОПП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
_____ Віталій СИДОРЕНКО

Керівник роботи к.т.н., доцент
_____ Максим ГОДУНКО

Рецензент:

Центральноукраїнський національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет Механіко-технологічний факультет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
(шифр і назва)
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри, голова циклової
комісії _____
_____ “ _____ ”
_____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ

Сидоренку Віталію Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка технології виготовлення шестерні ведучої з дослідженням ефективності використання пальцевих захватних пристроїв роботів.

керівник роботи Годунко Максим Олегович, доц., канд. техн наук,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ _____ ” _____ 2025 року № _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1. Поставлена наукова задача керівником _____

3.2. Креслення деталі та базовий технологічний процес її виготовлення _____

3.3. Річна програма випуску деталі шестерня ведуча – 8400шт _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 4.1 Загальна частина _____

4.2 Експериментальна частина _____

4.4 Технологічна частина _____

4.5 Економічна частина _____

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

5.1 Постановка задачі - 1А4; 5.2 Наукова частина – 3А4; Експериментальна частина – 2А4; 5.3 Технологічна частина – 2А4. Всього: 8 аркушів А4

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна частина	01.03.2025	
2	Наукова частина	15.03.2025	
3	Експериментальна частина	02.04.2025	
4	Технологічна частина	18.04.2025	
5	Економічна частина	01.05.2025	
6	Розробка презентації	15.05.2025	

Здобувач

_____ **Сидоренко В.В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ **Годунко М.О.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

на випускн у кваліфікаційну роботу здобувача гр. ГМ-23М-З

Сидоренка Віталія Володимировича

Кваліфікаційна робота на тему: “Розробка технології виготовлення шестерні ведучої з дослідженням ефективності використання пальцевих захватних пристроїв роботів” складається з пояснювальної записки (117 аркушів) та графічної частини (8 листів форматом А4).

Після аналізу базового процесу ми здійснюємо заміну традиційних верстатів на верстати з ЧПУ. Це дозволяє пришвидшити обробку деталей і підвищити точність виконання робіт. Додатково ми розробляємо проект механоскладального цеху для обробки заданих деталей, розташовуючи обладнання на ділянці механообробки відповідно до регламенту нового технологічного процесу.

Особливістю створеного технологічного процесу є впровадження промислових роботів і автоматизація виробництва. Також проведено аналіз ефективності цих змін.

Графічна частина проекту включає схеми механічної обробки, креслення затискних і контрольних пристроїв, інструментів, заготовок, порівняльний аналіз початкового та нового технологічного процесів, а також план цеху й окремих ділянок.

Усі запропоновані зміни в технологічному процесі підтверджені розрахунками й економічно обґрунтовані.

промислові роботи, пальцеві захватні пристрої, шестерня ведуча, технологічний процес

ANNOTATION

to the graduate qualification work of the student of group GM-23M-3

Vitalii Sydorenko

The qualification work on the topic: "Development of a manufacturing technology for the drive gear with a study of the efficiency of robotic finger gripping devices" consists of an explanatory note (117 pages) and a graphical part (8 sheets in A4 format).

After analyzing the baseline process, traditional machines are replaced with CNC machines. This allows for faster part processing and increased precision in task execution. Additionally, a mechanical assembly workshop project for processing the specified parts is developed, with equipment positioned in the machining area in accordance with the new technological process regulations.

The key feature of the developed technological process is the implementation of industrial robots and production automation. An efficiency analysis of these changes has also been conducted.

The graphical part of the project includes mechanical processing schemes, drawings of clamping and control devices, tools, blanks, a comparative analysis of the initial and new technological processes, as well as plans for the workshop and individual sections.

All proposed changes to the technological process are supported by calculations and economically justified.

Keywords: industrial robots, finger gripping devices, drive gear, technological process.

Зміст

	Вступ	8
1.	Загальна частина	
1.1.	Постановка задачі та методи її вирішення	9
1.2.	Особливості впровадження промислових роботів у виробництво	11
2.	Наукова частина	
2.1.	Промислові роботи: світові тенденції впровадження та використання	19
2.2.	Вибір параметрів конструкції	20
2.3.	Аналіз передавального механізму	24
2.4.	Розробка конструкції захвату	27
3	Експериментальна частина	
3.1.	Аналіз захоплення захватом деталей	37
3.2.	Експериментальні дослідження	42
3.3.	Обладнання для проведення експериментів	44
3.4.	Висновки	49
4.	Технологічна частина	
4.1.	Аналіз точності та технологічності деталі	50
4.2.	Аналіз технологічності деталей та технічних вимог на її виготовлення	52
4.3.	Вибір заготовки та методів виготовлення	56
4.4.	Розробка маршрутів виготовлення деталей	58
4.5.	Вибір технологічних баз	59
4.6.	Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір металорізальних верстатів для їх здійснення	60
4.7.	Вибір затискних пристроїв	80
4.8.	Вибір різальних інструментів	81
4.9.	Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів	84
4.10.	Визначення припусків та операційних розмірів деталей	87
4.11.	Визначення режимів різання	91
4.12.	Технічне нормування операцій	95

5. Економічна частина	
5.1. Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження	98
5.2. Розрахунок календарно-планових нормативів	99
5.3. Визначення чисельності основних робітників цеху	103
5.4. Аналіз варіантів технологічного процесу	103
5.5. Розрахунок планової цехової собівартості деталі	111
5.6. Планування підсумкових техніко-економічних показників	114
Література	116

Вступ

У сучасних умовах глобальної конкуренції та стрімкого розвитку технологій машинобудівна галузь займає ключову роль у забезпеченні економічної стабільності та технічного прогресу. Високі вимоги до точності, якості та ефективності виготовлення продукції ставлять перед виробниками завдання впровадження інноваційних рішень для автоматизації виробничих процесів.

Одним із найважливіших напрямів модернізації машинобудівного виробництва є використання верстатів із числовим програмним управлінням (ЧПУ), обробних центрів і промислових роботів. Ці технології дозволяють значно підвищити продуктивність праці, знизити собівартість виготовлення виробів і забезпечити високу точність та повторюваність технологічних операцій. Завдяки їх інтеграції до виробничих ліній досягається гнучкість і адаптивність до зміни замовлень та впровадження нових конструкцій.

Автоматизоване виробництво має низку переваг, які представлені нижче. Підвищення ефективності: значне скорочення часу виконання операцій, завдяки чому зростає загальна продуктивність. Зниження витрат: мінімізація людського фактору та оптимізація використання ресурсів сприяє зменшенню собівартості продукції. Покращення якості: стабільність і точність виконання операцій дозволяють досягати високих стандартів якості та зменшити кількість браку. Безпека: зниження ризику травматизму на виробництві завдяки заміні людини у небезпечних або шкідливих умовах роботи.

Особливе місце у автоматизації займають промислові роботи, які виконують такі функції. Маніпулювання матеріалами та деталями: переміщення, сортування, складання виробів. Виконання складних технологічних операцій: зварювання, різання, шліфування, фарбування тощо. Контроль якості: автоматична перевірка параметрів продукції із застосуванням сенсорних технологій.

Актуальність обраної теми обумовлена необхідністю відповіді на сучасні виклики, пов'язані з автоматизацією виробництва, оптимізацією ресурсів і підвищенням конкурентоспроможності підприємств.

1. Загальна частина

1.1. Постановка задачі та методи її вирішення

Мета роботи. Метою кваліфікаційної роботи є оцінка ефективності впровадження промислових роботів у виробничий процес на прикладі деталі "шестерня ведуча". У роботі аналізується доцільність інтеграції робота в одну з технологічних операцій із використанням економічних показників для обґрунтування цього рішення. Особливу увагу приділено застосуванню пальцевих захватних пристроїв як універсального виконавчого механізму робота, а також розробці дослідного зразка для оцінки їх ефективності.

Актуальність теми. Актуальність використання пальцевих захватних пристроїв у промислових роботах машинобудівного виробництва визначається кількома ключовими факторами:

1. Універсальність і гнучкість: пальцеві захватні пристрої дозволяють обробляти деталі різних форм, розмірів і матеріалів, що робить їх універсальними для виконання широкого спектра виробничих завдань. Завдяки своїй конструкції, вони легко адаптуються до змін у виробничому процесі, зменшуючи потребу в дорогих переналаштуваннях обладнання.

2. Підвищення продуктивності: застосування роботів із пальцевими захватними пристроями дозволяє значно зменшити час на переміщення, захоплення та фіксацію деталей. Це сприяє оптимізації виробничого циклу та забезпечує зростання загальної продуктивності підприємства.

3. Покращення якості обробки: захватні пристрої забезпечують стабільність і точність маніпуляцій із деталями, знижуючи ризик помилок і браку. Це особливо важливо в умовах високих вимог до якості продукції в машинобудуванні.

4. Безпека та зменшення ручної праці: використання роботів із захватними пристроями знижує ризик травматизму працівників та дозволяє автоматизувати важкі або небезпечні операції. Це сприяє покращенню умов праці та підвищенню безпеки на виробництві.

5. Економічна доцільність: хоча впровадження автоматизації потребує початкових інвестицій, довгостроковий ефект від зниження витрат на ручну працю, підвищення продуктивності та зменшення браку окупає ці витрати.

Таким чином, пальцеві захватні пристрої є важливим елементом автоматизації сучасного машинобудівного виробництва, сприяючи його ефективності, конкурентоспроможності та безпеці.

Об'єкт і предмет дослідження: промислові роботи, їх захватні пристрої та роботизовано технологічні комплекси.

Предмет дослідження: економічні аспекти впровадження промислових робіт і ефективність використання пальцевих захватних пристроїв.

Завдання роботи

1. Дослідити особливості використання захватних пристроїв робіт, у тому числі і пальцевих захватів.

2. Розглянути процес захоплювання деталі чи об'єкту ланками пальцевого захватного пристрою.

3. Дослідити кінематику пальця та вивести формули для визначення конструктивних його особливостей

4. Провести аналіз та розрахунки вибраного передавального механізму захватного пристрою

5. Спроекувати і виготовити конструкцію розробленого пальцевого захватного пристрою.

6. Провести економічні розрахунки ефективності впровадження робота.

7. Сформулювати висновки та рекомендації.

Методи дослідження: завдання вирішуються за допомогою таких підходів, як методи обчислювальної математики, алгоритми систем управління, принципи теорії робототехнічних систем, а також концепції теоретичної та прикладної механіки.

Наукова новизна: робота досліджує аспекти ефективного впровадження промислових робіт у машинобудівне виробництво, приділяючи особливу увагу універсальним покращеним конструкціям захватних пристроїв промислових робіт.

Практична цінність: запропонований прототип дозволяє виконувати ефективне захоплення об'єктів виробництва різної форми і розмірів. Характеристики захватного пристрою, забезпечуючи економічну та технічну ефективність.

Апробація. Результати роботи були представлені на студентсько-викладацькій науковій конференції ЦНТУ.

1.2. Особливості впровадження промислових роботів у виробництво

Автоматизація виробництва – це впровадження технологій, систем та процесів, які дозволяють виконувати виробничі операції з мінімальним втручанням людини. Автоматизована виробнича лінія та роботизований технологічний комплекс є високотехнологічними системами, призначеними для ефективного виконання виробничих завдань із мінімальним втручанням людини (див.рис.1.1).



Рис.1.1. Автоматична виробнича лінія

Ось як функціонують ці системи:

1. Автоматизована виробнича лінія: це система, що складається з послідовно пов'язаних робочих станцій, де процеси виконуються автоматично.

Основні етапи роботи:

1. Завантаження сировини: сировина або напівфабрикати подаються на лінію за допомогою конвеєрів, транспортних систем або автоматичних подавачів.

2. Обробка продукції: кожна станція виконує окрему операцію (наприклад, різання, свердління, фарбування, зварювання). Ці процеси виконуються автоматичними машинами чи роботами.

3. Контроль якості: на певних етапах встановлюються системи машинного зору або датчики, які перевіряють відповідність продукції стандартам якості.

4. Складання: роботи-маніпулятори збирають окремі компоненти в готову продукцію.

5. Пакування і маркування: автоматизовані пакувальні пристрої обгортають, запаковують і маркують продукцію.

Переваги:

- Підвищення продуктивності.
- Зменшення ризику людських помилок.
- Скорочення часу виготовлення продукції.

2. Роботизований технологічний комплекс: це інтегрована система, яка використовує промислових роботів і автоматичні машини для виконання складних технологічних завдань.

Основні компоненти:

1. Промислові роботи: роботи виконують точні операції, такі як зварювання, складання, обробка матеріалів або транспортування деталей.

2. Система управління: центральний комп'ютер або програмований логічний контролер (PLC) координує роботу всіх пристроїв комплексу.

3. Автономні транспортні засоби (робокари): робокари доставляють сировину чи напівфабрикати між різними частинами комплексу.

4. Датчики і системи моніторингу: використовуються для збору даних про стан обладнання та процесу, забезпечуючи оперативне виявлення і виправлення помилок.

5. Інтерфейс людина-машина (НМІ): оператор може контролювати й коригувати роботу комплексу через спеціальні екрани чи пульти.

Особливості роботи:

- Гнучкість: можливість переналаштування комплексу для виготовлення різних видів продукції.

- Синхронізація: усі етапи технологічного процесу узгоджені для досягнення максимальної ефективності.

- Безперервність: комплекс може працювати цілодобово, забезпечуючи стабільне виробництво.

Роботизовані комплекси найкраще підходять для виконання складних і різнопланових завдань, тоді як автоматизовані лінії – для масового виробництва стандартизованої продукції.

Промисловий робот – це автоматизований механічний пристрій, здатний виконувати різноманітні виробничі завдання без безпосереднього втручання людини. Вони є основним компонентом автоматизації у сучасному виробництві й широко використовуються для підвищення продуктивності, якості продукції та безпеки праці.

Основні характеристики промислового робота:

1. Автоматизація: роботи працюють за заздалегідь запрограмованими алгоритмами або вчаться виконувати завдання за допомогою штучного інтелекту.

2. Гнучкість: промислові роботи можуть бути переналаштовані для виконання різних завдань, таких як складання, зварювання, фарбування або транспортування.

3. Прецизійність: висока точність і повторюваність операцій, що мінімізує помилки у виробничому процесі.

4. Стійкість до умов: роботи можуть працювати в екстремальних умовах (висока температура, радіація, токсичне середовище), де робота людини небезпечна або неможлива.

Основні компоненти промислового робота:

1. Маніпулятор: роботизована "рука", яка може виконувати рухи в різних напрямках. Складається з шарнірів і сегментів, які забезпечують свободу руху.

2. Захоплювальний пристрій (гриппер): інструмент на кінці маніпулятора, що дозволяє виконувати конкретні завдання: захоплення, зварювання, свердління тощо.

3. Система управління: комп'ютер або контролер, що відповідає за обчислення траєкторій, обробку даних із датчиків і виконання завдань.

4. Датчики: використовуються для отримання інформації про навколишнє середовище (наприклад, візуальні сенсори, датчики сили, температури чи положення).

5. Приводи: механізми, що забезпечують рух маніпулятора. Це можуть бути електричні, гідравлічні або пневматичні приводи.

Класифікація промислових роботів:

1. За конструкцією:

- Шарнірні роботи: мають кілька ступенів свободи, схожі на людську руку.

- Картезіанські роботи: переміщуються вздовж трьох координатних осей (X, Y, Z).

- Циліндричні роботи: виконують рухи в радіальному та лінійному напрямках.

- Сферичні роботи: діють у сферичній зоні, з можливістю поворотів навколо осей.

- SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm): спеціалізовані роботи для складання і маніпуляцій.

2. За призначенням: зварювальні роботи, фарбувальні роботи, монтажні роботи, транспортувальні роботи, роботи для обробки матеріалів.

Сфери застосування. Автомобілебудування: зварювання, складання, фарбування деталей. Електроніка: монтаж мікросхем і компонентів. Хімічна промисловість: робота в небезпечному середовищі. Складські системи: сортування, пакування та транспортування товарів.

- Металообробка: точне різання, фрезерування та шліфування.

Промислові роботи стали основою Індустрії 4.0, забезпечуючи розумні, автоматизовані і гнучкі виробничі процеси.

Особливості впровадження промислових роботів у виробництво:

1. Підвищення продуктивності: промислові роботи забезпечують високу швидкість і точність виконання завдань, що дозволяє значно збільшити обсяги виробництва.

2. Зниження витрат: завдяки автоматизації зменшуються витрати на оплату праці, усуваються втрати через людські помилки та скорочується час простою.

3. Інтеграція у виробничі процеси: для ефективного впровадження роботів необхідно адаптувати існуючі технологічні лінії, що вимагає ретельного планування та початкових інвестицій.

4. Гнучкість виробництва: промислові роботи здатні виконувати широкий спектр завдань, що особливо важливо для підприємств із частими змінами в асортименті продукції.

Захоплювальний пристрій (гриппер) промислового робота – це механічний або електромеханічний інструмент, розташований на кінці маніпулятора робота, який використовується для маніпуляцій з об'єктами, такими як їх захоплення, переміщення, утримання або відпускання. Це важливий компонент промислового робота, який визначає його здатність до виконання конкретних завдань.

Основні типи захоплювальних пристроїв

1. Механічні гриппери: використовують щелепи (дві або більше), які стискають об'єкт. Застосовуються для маніпуляцій із твердими об'єктами, наприклад, деталями машин.

2. Вакуумні гриппери: використовують вакуумний ефект для утримання плоских або гладких об'єктів (наприклад, скло, пластини). Ідеальні для використання в логістиці або при роботі з легкими матеріалами.

3. Електромагнітні захоплювачі: застосовують магнітну силу для утримання металевих деталей. Підходять для металообробної промисловості.

4. Адгезивні гриппери: використовують спеціальні липкі поверхні для захоплення об'єктів. Ефективні для маніпуляцій із крихкими предметами.

5. Пневматичні захоплювачі: використовують стиснене повітря для створення сили захоплення. Забезпечують високу швидкість і гнучкість.

6. М'які захоплювачі: використовують гнучкі матеріали для маніпуляцій із нерегулярними або делікатними об'єктами. Популярні в харчовій промисловості та фармацевтиці.

Компоненти захоплювального пристрою

1. Щелепи або поверхні захоплення: частини, які безпосередньо контактують із об'єктом. Виготовляються з матеріалів, що відповідають завданням (метал, гума, пластик).

2. Привід: забезпечує рух щелеп або інший механізм захоплення. Може бути електричним, пневматичним або гідравлічним.

3. Датчики: визначають силу, положення об'єкта або успішність захоплення. Зазвичай використовуються для автоматичного регулювання процесу.

4. Кріплення: механізм, що з'єднує захоплювальний пристрій із маніпулятором робота.

Функції захоплювальних пристроїв. Захоплення та переміщення: утримання об'єктів під час транспортування. Точне позиціонування: Розміщення деталей із високою точністю. Монтаж і складання: виконання складних операцій, наприклад, складання мікросхем. Сенсорне зворотне з'єднання: оцінка стану об'єкта (вага, розміри, текстура).

Сфери застосування. Автомобілебудування: роботи з компонентами різного розміру та форми. Електроніка: складання дрібних деталей. Логістика: пакування, сортування та переміщення товарів. Фармацевтика та медицина: робота з делікатними матеріалами. Харчова промисловість: маніпуляції з продуктами харчування.

Захоплювальні пристрої — це ключовий компонент для забезпечення ефективності й універсальності промислових роботів, адже їх конструкція безпосередньо залежить від специфіки завдань, які виконує робот.

Пальцевий захоплювальний пристрій – це тип механічного захоплювача промислового робота, який використовує щелепи у вигляді "пальців" для маніпуляцій з об'єктами. Ці пристрої імітують функції людських пальців і дозволяють надійно захоплювати об'єкти різної форми та розміру.

Особливості пальцевого захоплювального пристрою:

1. Щелепи (пальці): зазвичай від двох до чотирьох пальців, які рухаються незалежно або синхронно. Можуть бути виготовлені з металу, гуми або пластика залежно від типу роботи.

2. Принцип роботи: пальці стискають об'єкт, забезпечуючи його фіксацію під час переміщення або обробки. Рухи щелеп забезпечуються пневматичними, електричними або гідравлічними приводами.

3. Адаптивність: деякі пальцеві захоплювачі здатні адаптуватися до форми об'єкта завдяки використанню сенсорів і гнучких матеріалів.

Типи пальцевих захоплювачів:

1. Двощелепні захоплювачі (двопальцеві): найпоширеніший тип, який використовується для роботи з простими об'єктами (циліндричними, кубічними). Наприклад, для утримання деталей машин або коробок.

2. Трищелепні захоплювачі (трипальцеві): використовуються для роботи з об'єктами округлої форми (труби, кулі). Забезпечують краще утримання за рахунок рівномірного розподілу зусилля.

3. Багатопальцеві захоплювачі: мають чотири й більше пальців, які можуть захоплювати об'єкти складної форми. Використовуються в сферах, де потрібна висока точність і делікатність.

4. Адаптивні захоплювачі: мають гнучкі пальці, які здатні пристосовуватися до форми об'єкта. Ідеальні для роботи з нерегулярними або крихкими предметами.

Склад пальцевого захоплювального пристрою:

1. Привід: система, яка забезпечує рух пальців. Може бути пневматичною, електричною або гідравлічною.

2. Датчики: контролюють силу захоплення, положення об'єкта та забезпечують точність виконання завдань.

3. Матеріали пальців: метал – для міцності при роботі з важкими предметами. Гума або пластик – для роботи з делікатними або гладкими об'єктами.

Переваги пальцевих захоплювачів. Універсальність: підходять для роботи з об'єктами різної форми і розміру. Простота конструкції: легко інтегруються в виробничий процес. Надійність: забезпечують стабільне утримання об'єкта під час переміщення. Гнучкість: можуть бути адаптовані для різних завдань.

Сфери застосування. Автомобільна промисловість: робота з деталями двигунів, кузовними елементами. Логістика: сортування та переміщення коробок, пакетів чи іншої тари. Електроніка: монтаж дрібних компонентів. Харчова промисловість: маніпуляції з продуктами харчування або пакування. Медицина: обробка чутливих до тиску матеріалів або препаратів.

Пальцевий захоплювальний пристрій є однією з найефективніших технологій у робототехніці завдяки своїй точності, універсальності та адаптивності до різних завдань.

Універсальність пальцевих захватних пристроїв:

1. Широкий спектр застосування: пальцеві захвати можуть маніпулювати об'єктами різної форми, розміру і матеріалу, що робить їх універсальними для багатьох галузей.

2. Точність і надійність: завдяки високій чутливості і точності захватні пристрої забезпечують стабільність процесів, таких як складання, транспортування чи пакування.

3. Адаптивність: сучасні захватні механізми оснащені сенсорами і технологіями управління, що дозволяють підлаштовуватись до різних умов роботи.

4. Зменшення витрат на обладнання: один універсальний захватний пристрій може замінити декілька спеціалізованих, що економить кошти підприємства.

2. Наукова частина

2.1. Промислові роботи: світові тенденції впровадження та використання

Сучасні ринкові умови машинобудування вимагають активного застосування гнучких автоматизованих систем. Важливим елементом таких систем є промислові роботи, які вважаються найперспективнішим засобом автоматизації виробничих процесів. Їх основною перевагою є здатність імітувати рухи людських рук під час виконання різних операцій, що досягається завдяки високій рухливості, наявності необхідної кількості маніпуляторів і захватних пристроїв. Робот виконує поставлені задачі за допомогою робочого органу, який забезпечує виконання технологічних операцій та супутніх процесів.

Особливості експлуатації захватних пристроїв. Захватний пристрій промислового робота є робочим органом, призначеним для захоплення і утримування предметів або технологічного оснащення. Його ключова особливість полягає в тому, що він розташовується на кінці високорухомої руки, яка здійснює швидкі та різноспрямовані рухи в просторі. Ці дії супроводжуються зворотно-поступальними та обертальними переміщеннями з високими прискореннями, що викликає значні інерційні сили. Це створює підвищені динамічні навантаження на конструкцію пристрою і робота загалом, ускладнюючи досягнення необхідної точності рухів і оптимального часу виконання операцій.

Універсальність роботів великою мірою визначається рівнем розвитку захватних пристроїв. Найбільш перспективними є пальцеві захвати, які дозволяють не лише утримувати деталі різної форми, а й виконувати складні операції. Такі конструкції відрізняються за кількістю пальців та їх рухливістю, максимально наближаючись до дій кисті людини. При проектуванні таких пристроїв доцільно враховувати анатомічну і функціональну будову людської руки, що сприяє ефективному захопленню. Захоплення об'єктів може бути двопальцевим або багатопальцевим. Багатопальцевий захват забезпечує більш надійне та точне утримання.

Для відтворення функцій людської руки було розроблено велику кількість роботизованих (пальцевих) захватних пристроїв, які знайшли застосування у багатьох галузях (рис. 4.1).



Рис.2.1. Пальцеві захватні пристрої

Багато конструкцій пальцевих захватів передбачають окреме управління кожним пальцем, що здійснюється за допомогою компактних і високоточних сервомоторів. У деяких моделях використовуються механізми з шківками (сухожиллями), які знижують вартість пристрою за рахунок меншої кількості виконавчих механізмів, високої адаптивності та універсальності. Однак такі системи обмежені в вантажопідйомності. Як альтернатива, розглядаються пальцеві захвати на основі механічних систем зчеплення, які, хоча і складні в конструкції та містять багато мініатюрних деталей, дозволяють вирішити частину цих проблем.

2.2. Вибір параметрів конструкції

Завдання полягає у створенні трипальцевого захватного пристрою, здатного утримувати об'ємні деталі різної форми та розмірів. Планується використання мінімальної кількості компонентів, виготовлених методом 3D-друку, і сервоприводів середніх розмірів стандартного типу. Зубчасті механізми будуть використовуватися для приводу пальців від єдиного виконавчого

механізму. Це дозволить створити простий і економічний пристрій, оптимальний для задач широкого застосування.

Розробка пальцевих захватів є актуальною областю досліджень, оскільки такі пристрої ефективно імітують функції людської руки, але в багатьох промислових і сервісних задачах антропоморфна конструкція не є обов'язковою. Трипальцевий варіант є достатнім для більшості подібних застосувань.

Механічні пальці зазвичай оснащуються індивідуальними приводами для кожної фаланги, що забезпечує високу точність управління і дозволяє виконувати складні захоплення. Однак такі конструкції відрізняються високою вартістю і складністю управління. Механізми зі шківками (сухожиллями) використовуються в багатьох роботизованих системах завдяки їх легкості, меншій кількості виконавчих механізмів і високій адаптивності. До недоліків можна віднести обмежену вантажопідйомність і меншу зносостійкість.

Для створення захватів, здатних виконувати огортаючі захоплення, які повторюють форму об'єкта, механічні системи зчеплення виглядають перспективною альтернативою. Розроблювана конструкція матиме меншу кількість виконавчих механізмів порівняно зі стандартними пальцевими захватами, що дозволить знизити складність і вартість системи. Простий і недорогий механізм стане основою запропонованого рішення (рис. 4.2).

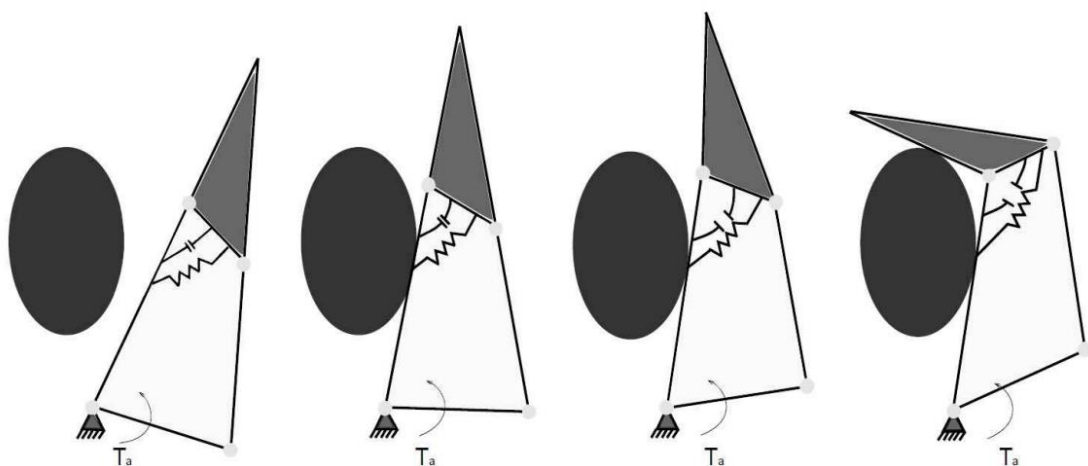


Рис.2.2. Послідовність захвату об'єкта пальцем захватного пристрою

Прості пальці мають меншу кількість виконавчих механізмів, ніж складні моделі, і широко застосовуються в промисловій і сервісній робототехніці [15].

Їх популярність зумовлена відносною простотою конструкції в порівнянні зі спритними штучними пальцями, які повністю активуються. При цьому розглянутий механізм пальця забезпечує адаптивне захоплення об'єктів різної форми за допомогою одного приводу, що дозволяє досягти щільного контакту з предметами. Такий підхід забезпечує просту механічну конструкцію та легкість монтажу, відповідно до вимог для створення механічних пальців.

Запропонована конструкція має два ступені свободи та одну активну ступінь роботи. Для спрацювання другої пасивної ланки використовується пружина, розташована між першою і другою фалангами пальця. Схема будови пальця наведена на малюнку 4.3 і включає дві фаланги, дві ланки, пружину та черв'ячне колесо. Черв'ячне колесо жорстко з'єднане з першим шарніром і передає обертальний рух до ланки 1, яка, у свою чергу, передає рух ланці 2. Це забезпечує узгоджене обертання пальця, як єдиного твердого тіла, навколо фіксованої осі.

При контакті першої фаланги з об'єктом, привод створює зусилля, яке розтягує пружину, передаючи рух на другу фалангу. У кінцевій фазі обидві фаланги досягають контакту з об'єктом, завершуючи процес захоплення.

Загалом, така конструкція механічних пальців демонструє вищу вантажопідйомність порівняно з аналогами, що використовують сухожилінні механізми, і потребує меншої кількості приводів для роботи. Застосування готових компонентів та технологій 3D-друку дозволяє знизити вартість, спростити управління і зменшити вагу прототипу захватного пристрою.

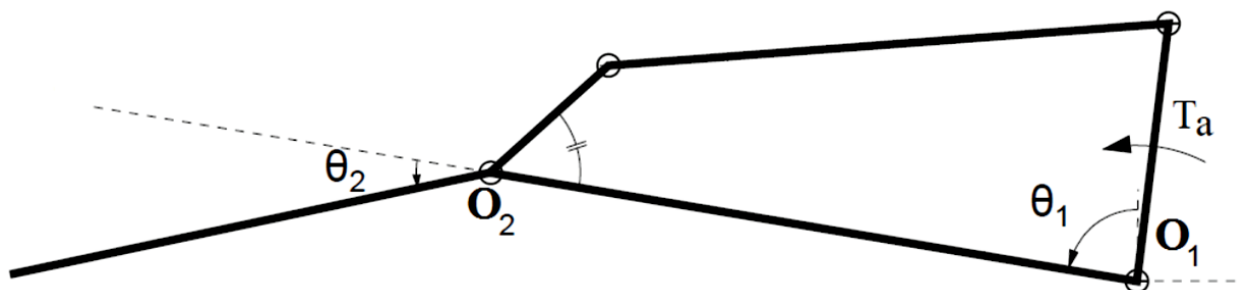


Рис.4.3. Кінематична схема пальця з фалангами

Щоб визначити жорсткість пружини K_1 , яка забезпечує приведення в рух другий фаланги пальця, кінематичний аналіз механізму пальця з системою зчеплення наведено нижче. Схематичне зображення пальця показано на рис.2.3.

Квазістатичне моделювання пальця визначається слідуючим чином. Якщо прирівняти вхідні і вихідні віртуальні потужності, виходить такий вираз

$$t^T \omega_a = f^T v,$$

де t - вектор вхідного моменту, ω_a - вектор швидкості, f - вектор контактних точок, v - вектор, що містить завиток контактних точок, які визначаються наступним чином:

$$t = \begin{bmatrix} T_a \\ T_2 = -K_1 \Delta \theta_2 \end{bmatrix}; \quad \omega_a = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_{\alpha_1} \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix};$$

$$f = \begin{bmatrix} \varsigma_1^\circ \\ \varsigma_2^\circ \end{bmatrix}; \quad v = \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix},$$

де T_a - приводна ланка, K_1 - жорсткість пружини, Θ_i - перша похідна координат координати фаланга, ς_i° - скорочена назва вектора рядків $\varsigma_i^\circ = [m_z f_i^x f_i^y]$, мірний вектор ключа $\varsigma_i = [f_i^x f_i^y m_z]$ записуючи момент перед координатами сили, де $\bar{f}_i = (f_i^x f_i^y)$ - одиничний вектор, паралельний силі, а m_i - момент осі зусилля навколо центру платформи. ξ_i - тривимірний вектор $\xi_i = [\omega_z g_i^x g_i^y]$ для планарного рівняння.

Тоді рівняння виглядає наступним чином:

$$\begin{bmatrix} T_a & -K_1 \Delta \theta_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\theta}_{\alpha_1} \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varsigma_1^\circ & \varsigma_2^\circ \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix},$$

де, прирівнюючи дві матриці з кожної сторони, отримуємо наступне рівняння:

$$T_a \times \dot{\theta}_{\alpha_1} - K_1 \Delta \theta_2 \times \dot{\theta}_2 = \varsigma_1^\circ \times \xi_1 + \varsigma_2^\circ \times \xi_2.$$

Таким чином, жорсткість пружини може бути розрахована як:

$$K_1 = \frac{T_a \times \dot{\theta}_{\alpha_1} - \varsigma_1^\circ \times \xi_1 + \varsigma_2^\circ \times \xi_2}{\Delta \theta_2 \times \dot{\theta}_2}.$$

Дане рівняння визначає жорсткість пружини, яка забезпечує рух другої фаланги механізму пальця, і є основою для подальшого аналізу конструкції механізму роботизованого захоплення.

2.3. Аналіз передавального механізму

У процесі вивчення можливих механізмів передачі крутного моменту встановлено, що найбільш ефективним варіантом є черв'ячна передача. Для забезпечення адаптивного пасивного захоплення об'єкта конструкція трьохпальцевого захвату повинна дозволяти незалежне переміщення кожного пальця. У запропонованій конструкції використовується один виконавчий механізм, який забезпечує високе мінімальне зусилля захоплення трьома пальцями.

Оскільки усі три пальці приводяться в рух єдиним двигуном, передача крутного моменту відбувається через низку механізмів. Щоб досягти повного обгортання об'єкта трьома пальцями, застосовується принцип зниження тиску між пальцями, що забезпечує максимальний контакт кожного з них із захоплюваним об'єктом. Якщо один із пальців досягає контакту з об'єктом і зупиняється, інші пальці продовжують рух до завершення захоплення.

Принцип зниження тиску може бути реалізований за допомогою диференціальних механізмів. Серед таких механізмів можна виділити диференціали зубчастих передач, диференціали зчеплення та диференціали на основі шківів. Диференціали зубчастих передач вимагають значного простору, тоді як механізми кочення і шківів обмежені вантажопідйомністю.

Раніше німецький інженер Ульріх [23] запропонував новий механізм відривної муфти, який дозволяє реалізувати охоплююче захоплення трьохланцюгового захвату. Однак його конструкція виявилася складною для виготовлення із використанням 3D-друку через низьку точність друкарських технологій та обмеження матеріалів за модулем пружності.

Для забезпечення сумісності з технологією 3D-друку конструкція роботизованого кінцевого ефектора повинна мати просту структуру і мінімальну кількість мініатюрних деталей. У цьому контексті розроблено новий механізм зчеплення для трьох пальцевого роботизованого захвату.

Структура механізму зчеплення одного пальця складається з двох гвинтових передач 1 і 2, які приводяться в рух сервомотором 6, черв'ячного колеса 3, черв'яка 4 і пружини стиснення 5, як зображено на рис. 2.4.

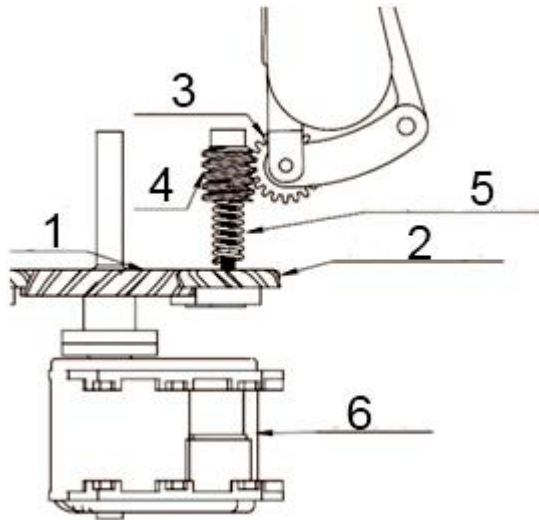


Рис.2.4. Механізм передачі крутного моменту для пальця

Гвинтова передача обертає приводну шестерню, яка, в свою чергу, обертає черв'як на одному і тому ж валу. Приводна гвинтова передача і черв'як жорстко з'єднані з валом уздовж їх вертикальної осі. Черв'як передає рух черв'ячного колеса, яке шарнірно пов'язане з долонею і передає обертальний рух пальця. 3D-модель механізму зчеплення і його розташування на долоні представлена на рис.2.5.

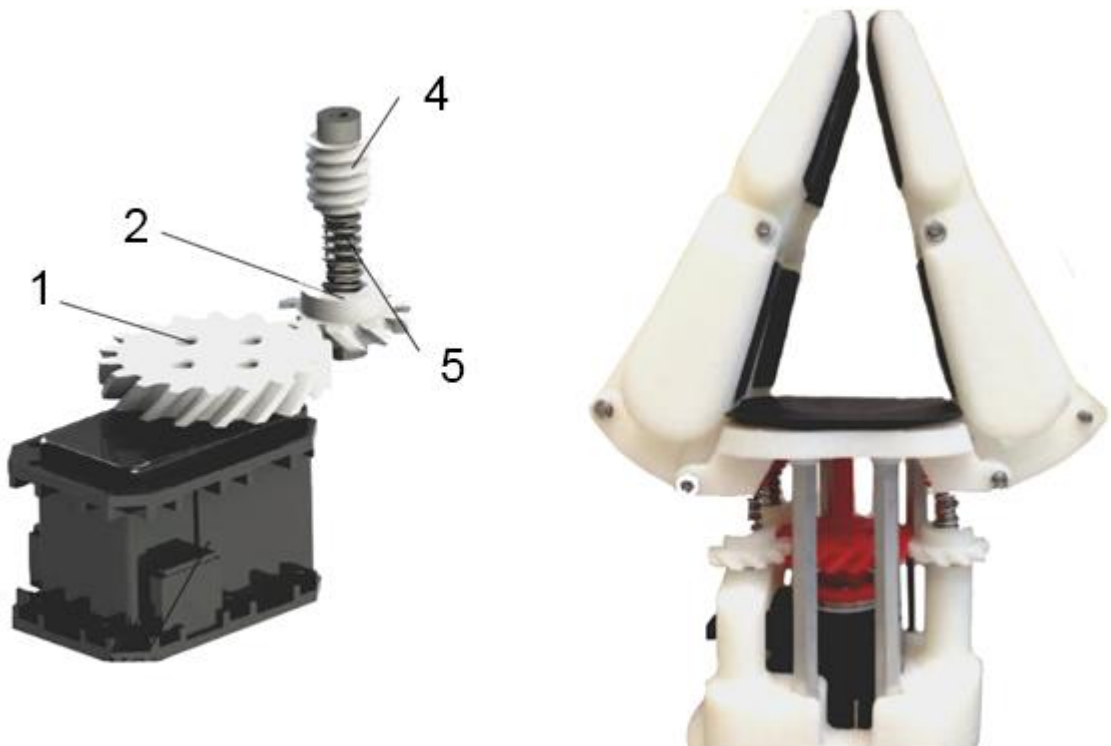


Рис.2.5. 3D-модель механізму зчеплення і його розташування

Основною перевагою використання гвинтових передач є те, що осьове тягове навантаження виникає як природний наслідок похилого розташування зубців. Під час обертання приводу гвинтова передача може здійснювати ковзний рух вздовж своєї вертикальної осі. Цей ковзний рух обмежується пружиною стиснення, розташованою між веденою гвинтовою шестернею і черв'яком, що знаходяться на одному валу.

Будь-який механізм ковзання може бути використаний для забезпечення плавного вертикального переміщення веденої гвинтової шестерні. При аналізі сил, що діють на гвинтове зубчасте колесо (рис. 2.6), виявляється, що осьова сила F_x прикладається у дотичній площині паралельно осі вала, який підтримує шестерню.

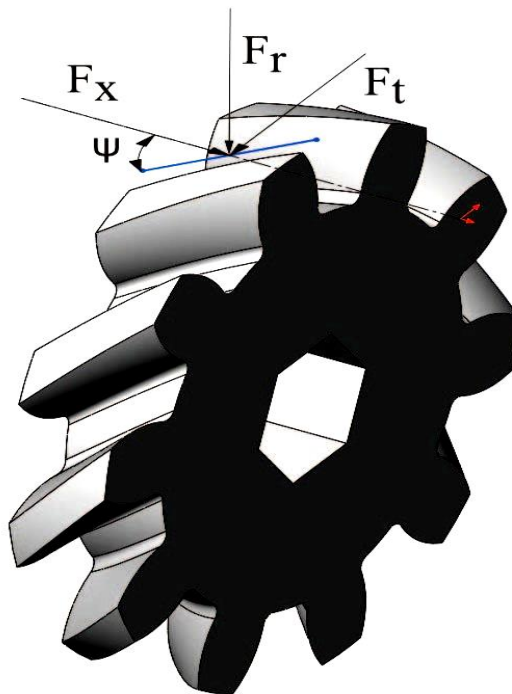


Рис.2.6. Геометрія та сили червячної передачі

Осьова сила F_x має тенденцію штовхати шестерню вздовж вала і обчислюється таким чином:

$$F_x = F_t \tan \psi ,$$

де F_t - тангенціальне або передане зусилля, а ψ - кут спіралі.

Тангенціальна сила $F_t = \frac{2T}{D}$ прикладається до поверхні кроку шестерні і є перпендикулярною до осі вала, який підтримує шестерню. Ця сила є

основною, яка забезпечує обертання шестерні. Параметри T (крутний момент) і D (діаметр тангажу) безпосередньо впливають на передачу сили.

Тангенціальна сила визначає ефективність передачі крутного моменту і залежить від кута нахилу зубців відносно осі. Цей кут є важливим параметром, що впливає на плавність роботи механізму та ефективність передачі енергії.

Підставляючи F_t в попереднє рівняння, отримуємо:

$$F_x = \frac{2T}{D} \tan \psi .$$

Осьова сила повинна перевищувати зусилля, що створюється пружиною стиснення, для того щоб спіральна шестерня почала обертатися і рухатися вгору вздовж своєї осі. Зусилля, яке чинить пружина стиснення, виконує роль обмежувача, забезпечуючи стабільність механізму і запобігаючи небажаному ковзанню шестерні.

Пружинне зусилля можна розрахувати за формулою:

$$F_s = K_2 x ,$$

де K_2 і x - жорсткість і зміщення пружини стиснення механізму муфти.

Прирівнюючи осьову силу F_x і силу, створювану пружиною стиснення F_s , отримуємо рівняння рівноваги для механізму зчеплення в вертикальному напрямку. Таким чином, рівняння виглядає наступним чином::

$$K_2 = \frac{2T}{Dx} \tan \psi .$$

Жорсткість пружини стиснення однакова для муфт трьох пальців в розробленому роботизованому захваті.

2.4. Розробка конструкції захвату

Наступним кроком буде розробка ескізного проекту неактивного пальця, що приводиться в дію системою важелів та одним приводом (рис.2.7).

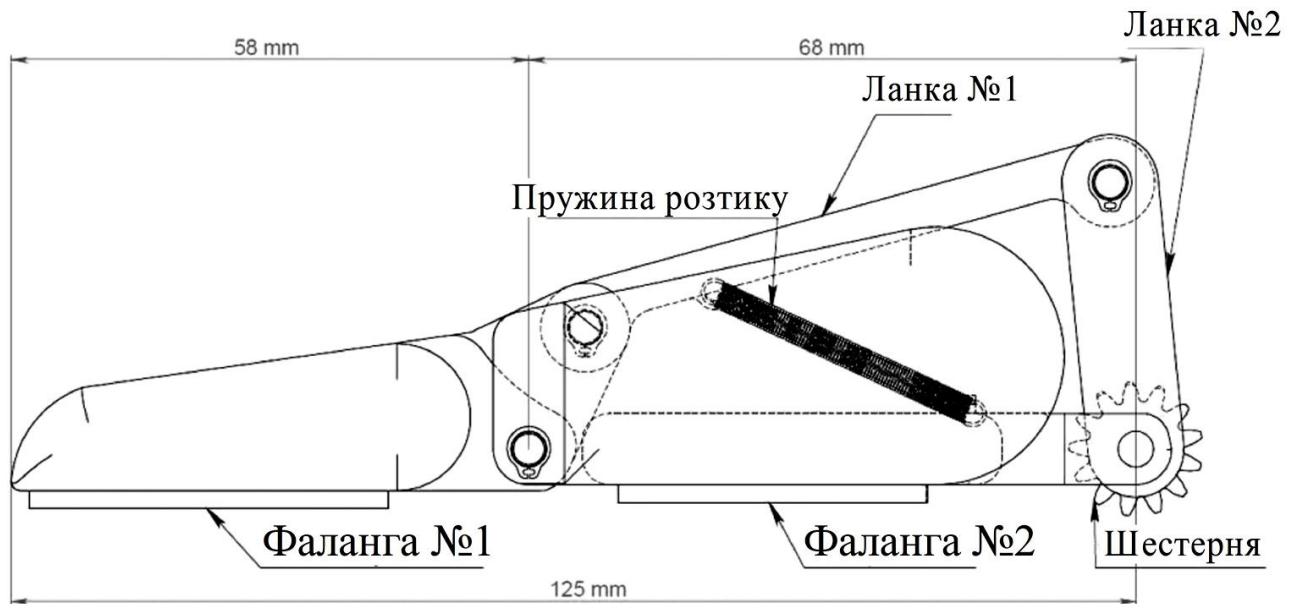


Рис.2.7. Ескіз пальця захватного пристрою

Наступним етапом є створення об'ємної моделі конструкції. Для цього необхідно змодельовати кожен елемент механізму окремо, а потім виконати їх складання в єдину конструкцію. При моделюванні важливо враховувати точні геометричні параметри кожного компонента і забезпечити правильну прив'язку складальних одиниць. Це дозволить відтворити роботу механізму, проаналізувати його функціонування та виявити можливі недоліки.

Процес включає наступні кроки:

1. Моделювання компонентів: створення окремих тривимірних моделей усіх елементів конструкції (гвинтових передач, черв'ячного колеса, пружини, валів тощо).

2. Складання: компонування елементів за допомогою CAD-системи з використанням прив'язок і обмежень, які забезпечують відповідність геометрії та механічної взаємодії.

3. Перевірка роботи: симуляція роботи механізму для оцінки коректності взаємодії деталей і виявлення недоліків, таких як зайві зазори, перекося чи перевантаження в окремих вузлах.

Результат моделювання дозволить оцінити ефективність конструкції та внести необхідні зміни для її оптимізації (рис. 2.8).



Рис.2.8. 3Д модель пальця

У даному механізмі передбачено використання пружини між першою ланкою та другою фалангою для забезпечення повернення першої фаланги у вихідне положення (розкриття). Це дозволяє виконувати захоплення об'єкта за таким алгоритмом: спочатку активується друга фаланга, а після контакту з об'єктом приводиться в дію перша фаланга, яка обтискає об'єкт із зовнішньої сторони. Таким чином досягається повне обгортання об'єкта.

Для реалізації цього принципу використовується черв'ячна передача, де друга ланка з шестернею є її складовою частиною (рис. 2.9). У цьому механізмі черв'як входить у зачеплення з шестернею, розташованою на другій ланці. Вона передає рух на першу ланку, після чого активуються друга і перша фаланги. Пружина забезпечує стабільність положення першої фаланги відносно осі обертання, якою є стержень.

Налаштування динамічних характеристик. Змінюючи довжини ланок, можна варіювати динамічні характеристики першої і другої фаланг. Це дозволяє налаштовувати захватний пристрій під різні типи деталей за формою і розмірами. Завдяки такій гнучкості механізм може бути адаптований до широкого спектра задач.

Модульність конструкції. Використовуючи серію подібних механізмів із швидкозмінними елементами стикування захвату з рукою робота, можна забезпечити покриття всього діапазону розмірів і форм деталей, які обробляються роботизованою системою на виробництві. Це дозволяє

ефективно маніпулювати різноманітними об'єктами, підвищуючи універсальність і продуктивність системи.

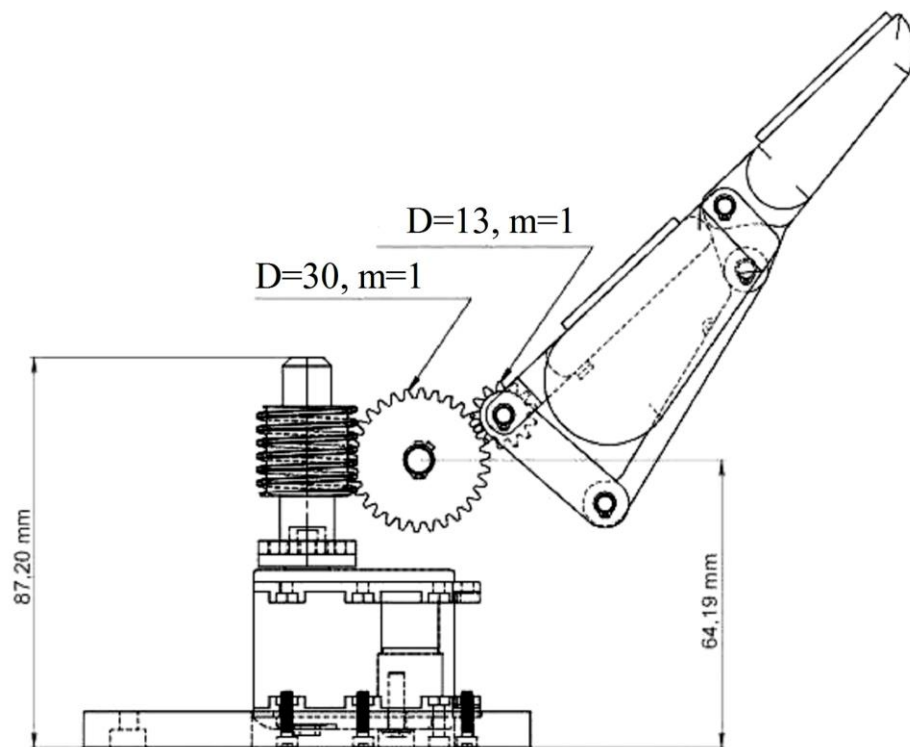


Рис.2.9. Ескіз пальця із приводом

Виконаємо 3Д модель за даним ескізом (рис.2.10)



Рис.2.10. 3Д модель пальця з приводом та червячною передачею

Проект привода та передавальних механізмів передбачає використання одного сервомотора для приведення в дію трьох пальців. Сервопривід обертає черв'як, який входить у зачеплення з шестернею, утворюючи черв'ячний редуктор. Кожен палець механізму з'єднаний із черв'ячним колесом, що забезпечує синхронне переміщення ланок усіх пальців.

Використання черв'ячного редуктора має кілька переваг:

1. Надійність: механізм працює безвідмовно, зменшуючи ймовірність збою в роботі.

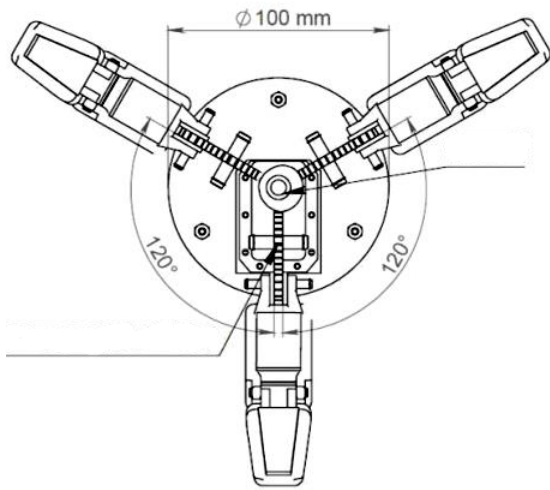
2. Самогальмування: редуктор запобігає мимовільному зворотному обертанню, що дозволяє утримувати об'єкти без додаткового навантаження на сервомотор.

Регулювання характеристик. Змінюючи передавальні відношення між зубчастими колесами другої ланки та колесами, що взаємодіють із черв'яком, можна налаштовувати. Швидкість затиску: для адаптації до різних операцій. Крутий момент: для об'єктів різної маси та розмірів.

Це дозволяє створювати механізми, які можуть працювати з широким діапазоном деталей, забезпечуючи потрібну продуктивність.

Виробництво та адаптивність. Усі компоненти пристрою спроектовані таким чином, щоб їх можна було легко виготовити за допомогою 3D-друку. Розміри та конструктивні параметри передачі можуть бути змінені для подальших досліджень і адаптації до конкретних завдань.

На рис. 2.11 представлено вид зверху, аксонометрію та вид спереду розробленої конструкції, які демонструють її геометричні особливості та компонування.



б)



а)

Рис.2.11. Вид зверху (а) та аксонометрія (б)

Як показано на рисунку, пальці розташовані під кутом 120° , що забезпечує їх зручне приведення в дію від одного привода через черв'ячну передачу. Така компоновка є оптимальною для захоплення деталей сферичної або циліндричної форми різних розмірів.

Переваги компоновки. Універсальність: конфігурація під кутом 120° дозволяє ефективно захоплювати об'єкти різної форми та розміру, зокрема ті, що мають симетричні обриси. Спростування управління: використання сервомотора як привода спрощує систему керування, оскільки відсутня

необхідність у складних електронних схемах і енкодерах для точного позиціонування двигуна. Синхронність: єдиний привід забезпечує одночасне й узгоджене переміщення всіх пальців.

Адаптивність конструкції. Рознесений вигляд захватного пристрою (рис. 2.12) демонструє його основні компоненти, включаючи пальці, черв'ячну передачу та привід. Цей вигляд дозволяє краще зрозуміти конструкцію та оцінити можливість її модифікації чи покращення для конкретних застосувань.

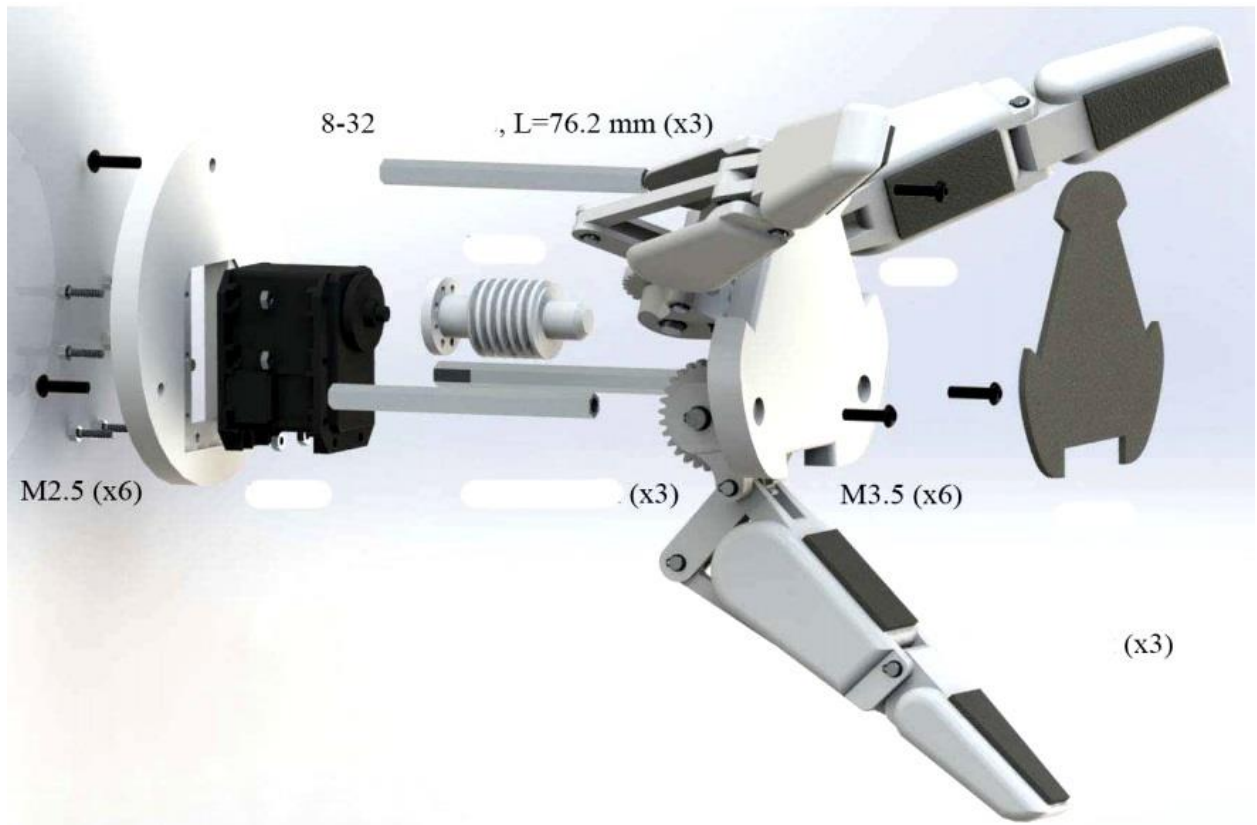


Рис.2.12. Захватний пристрій у рознесеному вигляді

Привод захватного пристрою кріпиться до основи круглої форми з плоским дном за допомогою болтів. До основи також прикріплені шпильки (опори), які з'єднують її з долонею, де розташовані пальці.

Основні конструктивні елементи:

1. Привод і черв'як: черв'як встановлений на вихідному валу сервомотора, вісь якого співпадає з віссю симетрії долоні. Це забезпечує рівномірний розподіл навантаження та синхронну роботу пальців.

2. Пальці: три пальці шарнірно закріплені на долоні за допомогою утримуючих кілець. Вони утворюють зчеплення з черв'ячним колесом, забезпечуючи передачу руху.

3. З'єднання основи і долоні: опори між основою і долонею закріплені болтами, що забезпечує міцність конструкції.

Поліпшення функціональності. Резинові прокладки: наклеювання тонких гумових прокладок на долоню і фаланги пальців зменшує проковзування деталей під час захоплення. Тактильні датчики: прокладки можна замінити на тактильні датчики, які забезпечать чутливість і можливість регулювання сили затиску залежно від характеристик об'єкта.

Вага і адаптація: приблизна вага конструкції складає 500 г. Для забезпечення більшої ефективності та адаптивності пальці можуть бути переналаштовані відповідно до специфічних задач. Наприклад, можна змінити їхнє розташування для оптимізації роботи з певними типами деталей (див. рис. 2.13).

Такий підхід дозволяє легко модифікувати пристрій для виконання широкого спектра завдань, забезпечуючи універсальність і ефективність.



Рис.2.13. Зміна конфігурації розміщення пальців

У цій конструкції два пальці розташовані один навпроти одного, а третій — налаштований для взаємодії з одним із них. Таке розташування оптимальне для захоплення дрібних предметів. Кожен палець обладнаний механізмом від'єднання муфти, який містить черв'ячне колесо. Це колесо забезпечує

самоблокування кожного пальця під час послідовного закриття та відкриття, навіть коли привід відключений.

Об'єднання механізмів. Для інтеграції пальцевого механізму і механізму від'єднання в єдину систему необхідно правильно підібрати параметри пружин. Основні вимоги:

1. Активування другої фаланги: для виконання повного обгортання об'єкта спочатку повинна активуватися друга фаланга.

2. Активування першої фаланги: після контакту другої фаланги з об'єктом активується перша фаланга, яка завершує обгортання.

Вибір жорсткості пружин. Щоб забезпечити послідовність дій, жорсткість пружини в муфті k муфти повинна бути більшою, ніж жорсткість пружини в пальці k пальця. Ця умова гарантує, що друга фаланга виконає свою дію першою, а потім активується перша фаланга. Такий підхід забезпечує надійний затиск і стабільність роботи механізму.

$$K_1 \leq K_2.$$

Для забезпечення правильного функціонування механізму пружини на пальцях муфти повинні бути попередньо навантажені. Це дозволяє підтримувати стабільність руху і виконання захоплення. У системі з одним приводом і трьома пальцями сила T_a , що прикладається до приводної шестерні кожного пальця, обумовлена передавальним крутним моментом T .

Розрахунок сили для кожного пальця виконується за формулою:

$$T_a = \frac{\zeta_1 \circ \times \xi_1 - \zeta_2 \circ \times \xi_2}{\dot{\theta}_{\alpha_1}} + \frac{2T \times \Delta\theta_2 \times \dot{\theta}_2}{Dx \times \dot{\theta}_{\alpha_1}} \tan \psi.$$

У представленій конструкції роботизованого захвату, параметри виконавчої ланки визначаються з урахуванням передавальних характеристик механізму, а саме відношення зубчастих коліс і прикладеного крутного моменту.

Параметри конструкції:

1. Зубчасті колеса:

Приводне зубчасте колесо має 18 зубців і крок 1,5 дюйма.

Вихідні колеса для кожного пальця мають 10 зубців і діаметр 0,833 дюйма.

2. Передавальне відношення:

Передавальне відношення і між приводним колесом і кожним меншим колесом розраховується за формулою:

$$i = Z_{\text{ведуче}} / Z_{\text{ведене}}$$

де $Z_{\text{ведуче}} = 18$ - кількість зубців на приводному колесі, $Z_{\text{ведене}} = 10$ - кількість зубців на вихідному колесі.

$$i = 18/10 = 1.8$$

3. Переданий момент:

Крутний момент $T_{\text{вихід}}$, переданий до кожного пальця, визначається як:

$$T_{\text{вихід}} = T_{\text{вхід}} / i$$

де $T_{\text{вхід}} = 2.5$ Нм.

Розрахунок:

$$T_{\text{вихід}} = 2.5/1.8 = 1.39 \text{ Нм.}$$

4. Розподіл моменту між пальцями:

Оскільки система має три пальці, кожен з них отримує рівну частку від переданого моменту:

$$T_{\text{палець}} = T_{\text{вихід}} / n = 1.39 / 3 = 0.463 \text{ Нм.}$$

Висновок: сервопривід Dynamixel MX-28 забезпечує достатній момент для синхронного керування трьома пальцями. Передавальне відношення 1.8 між колесами оптимально збільшує вихідний момент для пальців. Крутний момент для кожного пальця = 0.463 Нм, що забезпечує необхідну силу для утримання об'єктів різної форми.

Ця конфігурація є ефективною та дозволяє виконати точний і стабільний захват деталей.

3. Експериментальна частина

3.1. Аналіз захоплення захватом деталей

Запропонована конструкція роботизованого захвату орієнтована на забезпечення трьох основних схем захоплення (рис.3.1): циліндрична конфігурація: використовується для захоплення об'єктів циліндричної форми, таких як труби, пляшки, або стрижні. Пальці рухаються до долоні, створюючи замкнене кільце навколо об'єкта. Забезпечується рівномірний розподіл сил захоплення на поверхню об'єкта. Сферична конфігурація: призначена для утримання сферичних об'єктів, таких як м'ячі, кулі, або інші округлі предмети. Пальці рухаються синхронно до центру сфери, забезпечуючи надійний захват. Використовується адаптивна механіка для обгортання об'єкта з різними розмірами. Плоска конфігурація: використовується для захоплення плоских або майже плоских об'єктів, таких як книги, аркуші, або пластини. Два пальці утримують об'єкт з боків, а третій фіксує його зверху або знизу. Механіка забезпечує стабільність захоплення навіть для тонких і тендітних об'єктів.

Переваги конструкції. Універсальність: можливість реалізації трьох різних схем захоплення без зміни орієнтації пальців. Простота: виключення механізмів зміни орієнтації пальців знижує складність і вартість конструкції. Надійність: система забезпечує стабільне захоплення об'єктів різної форми та розмірів. Адаптивність: завдяки гнучкій конструкції пальців та використанню черв'ячних передач, система адаптується до форми об'єкта, не вимагаючи додаткових виконавчих механізмів.

Це дозволяє використовувати дану конструкцію в різних сферах робототехніки, від промислових застосувань до сервісних робіт.

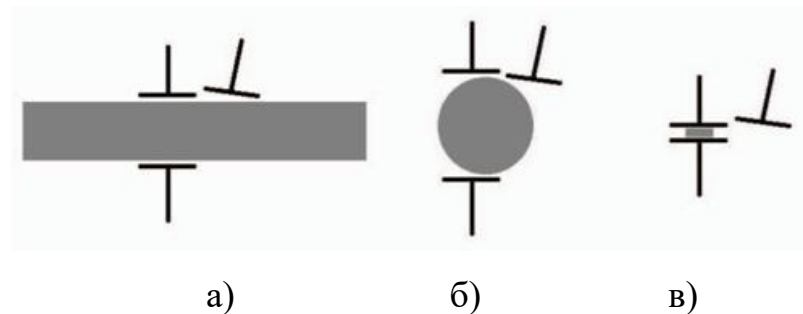


Рис.3.1. Конфігурації розташування пальців для захвату деталей різної форми: а – циліндричних деталей; б – сферичних; в - плоских

Моделювання захоплення деталей за допомогою пропонованого роботизованого захвату в SolidWorks дозволяє оцінити адаптивність конструкції до об'єктів різної форми. Аналіз результатів моделювання показує такі особливості:

1. Сферичне захоплення: пальці охоплюють об'єкт з усіх боків, створюючи рівномірний контакт. Такий тип захоплення підходить для сферичних об'єктів, де потрібна максимальна стабільність і симетрія розподілу сил.

2. Плоске захоплення: використовуються кінчики всіх трьох пальців для контакту з об'єктом. Забезпечує утримання плоских предметів, таких як картки, листи або плоскі коробки. Важливо для таких задач, як маніпулювання документами або пакувальними матеріалами.

3. Захоплення дрібних предметів: задіяні два пальці для створення щільного захвату, а третій палець залишається неактивним. Застосовується для маніпулювання дрібними предметами, такими як болти, гайки, або інші невеликі деталі.

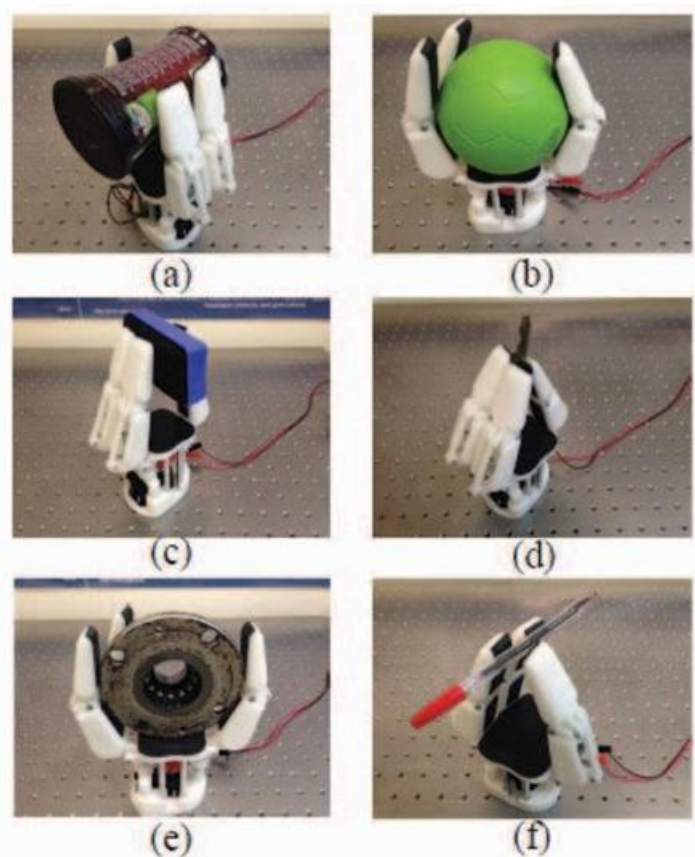


Рис.3.2. Варіанти захоплення деталей різної конфігурації

Переваги моделювання: точність аналізу: SolidWorks дозволяє оцінити вплив жорсткості пружин, крутних моментів і геометрії пальців на якість захоплення. Оцінка навантажень: моделювання допомагає визначити сили, які діють на пальці та об'єкт у різних конфігураціях. Адаптивність: видно, що конструкція пальців автоматично підлаштовується до форми об'єкта, мінімізуючи необхідність складного керування.

Висновки: моделювання підтверджує, що запропонована конструкція роботизованого захвату забезпечує універсальність і стабільність захоплення. Це робить її ефективною для роботи з об'єктами різної форми і розмірів, що особливо важливо для промислових і сервісних застосувань.

Результати моделювання підтвердилися експериментальними даними, що підкреслює практичну ефективність запропонованої конструкції роботизованого захвату.

Основні висновки з експерименту. Порівняння результатів моделювання та експерименту:

1. Максимальна сила затиску:

Експериментально досягнута максимальна сила затиску — 15 Н.

Невелике розходження між експериментальними результатами та моделюванням пояснюється втратами енергії у прототипі через тертя, люфти та інші механічні втрати.

2. Стійкість до зовнішніх зусиль: завдяки ефекту самогальмування черв'ячного механізму пальці захвату можуть витримувати значно більші зусилля, ніж сила затиску, яку вони самі створюють.

3. Рівномірність розподілу сил: вимірювання сили затиску на кінчику пальця показали рівномірність прикладеної сили, що забезпечує надійне утримання об'єкта.

Особливості експерименту. Обладнання: використано вимірювач сили для точного вимірювання навантаження, що передається кінчиками пальців. Умови тестування: проведено серію випробувань на об'єктах різної форми та матеріалу, щоб оцінити універсальність захоплення.

Практичні висновки. Ефективність конструкції: роботизований захват добре працює з об'єктами різної форми завдяки адаптивності конструкції та механізму пасивного пристосування пальців. Покращення конструкції: для зменшення втрат енергії та підвищення ефективності можна впровадити покращення у виготовленні деталей, наприклад, точніше налаштування черв'ячного механізму чи використання матеріалів з меншим коефіцієнтом тертя. Можливість масштабування: конструкція може бути вдосконалена для різних застосувань шляхом зміни параметрів силових механізмів і матеріалів.

Експериментальні результати підтверджують доцільність використання розробленого прототипу, а також відкривають перспективи для його вдосконалення та адаптації до конкретних задач (рис.3.3).

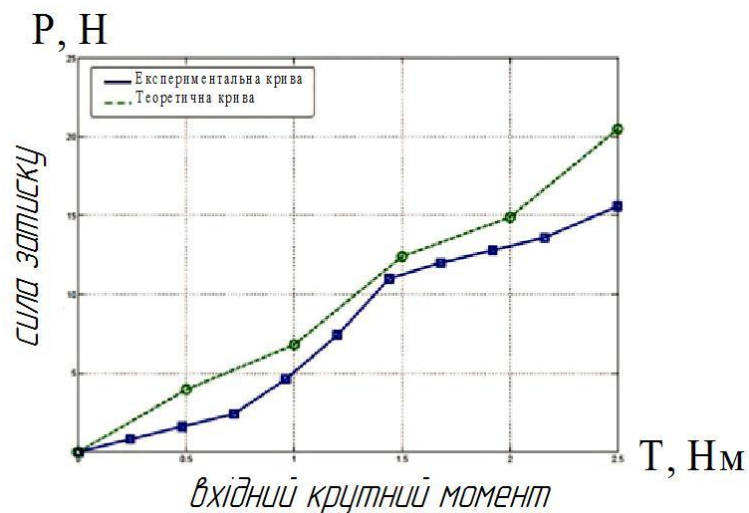


Рис.3.3. Співвідношення сили затиску і вхідного крутного моменту для реальної конструкції захватного пристрою та програмної симуляції
Порівняльний аналіз запропонованого роботизованого захвату

Таблиця 3.1 демонструє ключові параметри порівняння запропонованого захвату з іншими трипальцевими роботизованими захватами. Основні висновки:

Переваги запропонованої конструкції:

1. Мінімізація витрат: використання єдиного приводу для управління трьома пальцями значно знижує вартість конструкції. 3D-друк деталей зменшує витрати на виробництво та дає можливість швидкої адаптації конструкції до специфічних потреб.

2. Сила затиску: пропонована конструкція демонструє силу затиску, що відповідає або перевищує характеристики аналогів, представлених у таблиці (наприклад, Barrett Hand, Robotiq).

3. Гнучкість застосування: захват добре адаптується до об'єктів різних форм завдяки механізму пасивного пристосування пальців.

4. Простота конструкції: відсутність додаткових виконавчих механізмів і зміни орієнтації пальців спрощує конструкцію та знижує ймовірність поломок.

Обмеження запропонованої конструкції:

1. Точність 3D-друку: технологія 3D-друку не забезпечує необхідну точність і міцність деталей для промислового використання, що обмежує тривалість експлуатації прототипів.

2. Матеріальні властивості: низький модуль пружності друкованих матеріалів може призвести до деформацій під навантаженням. Можливість зносу деталей через тертя між рухомими частинами.

3. Порівняння з промисловими аналогами: промислові захвати, такі як Schunk SDH Hand, мають вищу надійність і довговічність завдяки застосуванню високоточних матеріалів та компонентів.

Рекомендації щодо вдосконалення конструкції:

1. Підвищення точності: використання альтернативних методів виробництва (фрезерування, лиття) для ключових частин захвату може підвищити точність і міцність.

2. Оптимізація матеріалів: застосування композитів або матеріалів з вищим модулем пружності для друку.

3. Тестування надійності: проведення додаткових випробувань у реальних умовах для визначення довговічності конструкції.

4. Модернізація виконавчих механізмів: інтеграція датчиків сили чи тактильних датчиків для розширення функціональних можливостей захвату.

Пропонована конструкція має значний потенціал завдяки низькій вартості та простоті, однак для масштабного впровадження в промисловість необхідні покращення точності та надійності.

Порівняння пропонованого та типових пальцевих захватних пристроїв

Назва	Кількість пальців	Кількість приводів	Сила затиску (N)
Barrett Hand	3	4	15
Robotiq Adaptive Gripper	3	2	15-60
Schunk SDH Hand	3	7	-
Kinova JACO	3	3	-
SDM Hand	3	1	10
Пропонований ЗП	3	1	15

3.2. Експериментальні дослідження

Враховуючи використання електро-механічного приводу пальців захватного пристрою та його адаптивність можна стверджувати, що є можливість отримати необхідний кут між фалангами пальців, який утворює затискну призму для циліндричної деталі. Тому є необхідність дослідити вплив кута затискної призми на сили затиску деталі і в подальшому отримати рекомендації для вибору значення затискних призм при різних умовах затиску.

Для цього побудуємо теоретичну розрахункову схему (рис.3.4), із якої при умові, що $I = 0$, $\varphi = 10$, визначаємо розрахункові сили затиску. Згідно з розрахунковою схемою, теоретично визначені сили затиску будуть:

$$P_1 = \frac{G \cdot \cos(\alpha/2 + \varphi)}{\sin \alpha};$$

$$P_2 = \frac{G \cdot \cos(\alpha/2 - \varphi)}{\sin \alpha};$$

$$P_3 = 0;$$

$$P_4 = 0.$$

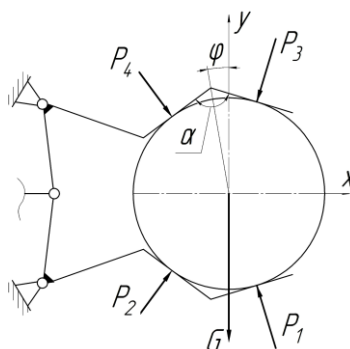
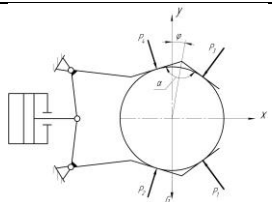


Рис. 3.4. Розрахункова схема затиску деталі

Наведемо вихідні дані для розрахунку та проведення експерименту у табл. 3.2.

Табл.3.2

Вихідні дані для розрахунків та проведення експерименту:

№ експ.	Вид розміщення ЗП	Вага деталі (G), Н	Вихідні дані		
			α	φ	f
1		5	60	10	0,1
2			90	10	0,1
3			120	10	0,1
4			150	10	0,1

Розрахунки проводимо у додатку Mathcad та зводимо у табл..3.3

Табл.3.3

Результати розрахунків та експериментів

№ експ.	Вага деталі (G), Н	Розрахункові дані				Експериментальні дані			
		P_{p1}	P_{p2}	P_{p3}	P_{p4}	P_{e1}	P_{e2}	P_{e3}	P_{e4}
1	5	4,42	5,43	0	0	4,82	5,84	0,75	0,7
2		2,87	4,1	0	0	2,7	4,28	0,75	0,7
3		1,98	3,71	0	0	2,27	3,38	0,75	0,7
4		0,87	4,23	0	0	1,17	5,12	0,75	0,7

За отриманими даними побудовані графіки (рис.3.5), де суцільною лінією представлені розрахункові залежності, а пунктиром – експериментальні. З цих досліджень також отримано достатньо повне підтвердження правильності виконаних розрахунків (близько 2 – 4%).

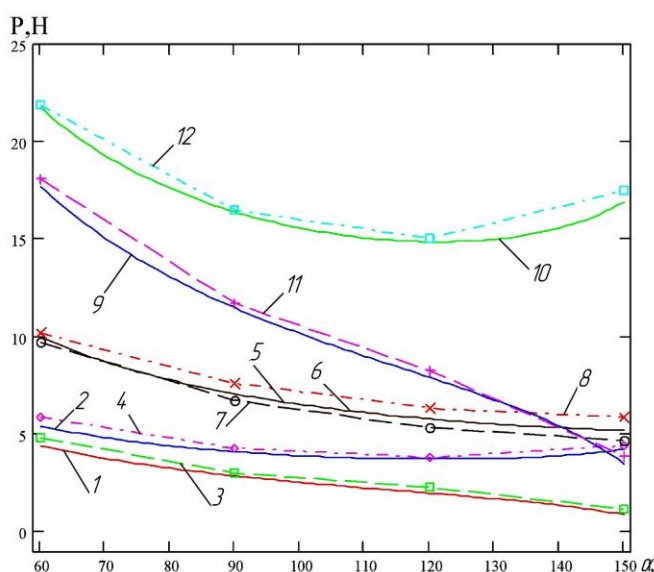


Рис. 3.5. Розрахункові (1, 2, 5, 6, 9, 10) та експериментальні (3, 4, 7, 8, 11, 12) криві залежності сил затиску від кута призми α , де 1,2,3,4 – (G=5Н); 5,6,7,8 – (G=10Н); 9,10,11,12 – (G=20Н)

3.3. Обладнання для проведення експериментів

Опис експериментальної установки для перевірки результатів розрахунків

Конструкція установки. Експериментальна установка розроблена для оцінки динамічних характеристик роботизованого захватного пристрою (ЗП) і перевірки результатів теоретичних розрахунків. Вона дозволяє моделювати умови, за яких захват виконує маніпуляції з деталями у просторі, враховуючи вплив таких сил: сила ваги деталі G , сила інерції I .

Склад експериментальної установки:

1. Промисловий робот «БРІГ-10»: використовується як основа для закріплення захватного пристрою та забезпечення маніпуляцій у просторі.
2. Блок датчиків «БДЛУ1-3»: забезпечує вимірювання лінійних прискорень руки робота для визначення сил інерції.
3. Блок живлення: Параметри: змінна напруга $\sim 36\text{В}$, частота 400 Гц. Забезпечує електроживлення приводів захватного пристрою.
4. Датчик тиску (модель П-15Б): використовується для вимірювання тиску ΔP у приводі захватного пристрою.
5. Захватний пристрій (ЗП): розміщений на руці промислового робота, адаптований для проведення експериментів.

Параметри, що контролюються під час досліджень:

1. Сила затиску (P): вимірюється для визначення мінімально необхідного рівня зусилля, що забезпечує надійне утримання деталі.
2. Прискорення рухів руки робота (a): використовується для оцінки впливу інерційних сил під час динамічних маніпуляцій.
3. Тиск у приводі захватного пристрою (ΔP): дозволяє визначити взаємозв'язок між прикладеним зусиллям і робочими параметрами привода.
4. Кут призми (α): визначає геометричну конфігурацію, що впливає на силу затиску.
5. Кут вершини призми (ϕ): впливає на стійкість захопленого об'єкта.

Результати експериментів: вимірювання проводилися на горизонтально орієнтованому захватному пристрої. Зміна параметрів α , ϕ , ΔP) дозволила виявити залежності між динамічними характеристиками маніпуляції та

мінімально необхідними силами затиску. Експерименти підтвердили адекватність теоретичних розрахунків та продемонстрували невеликі відхилення, зумовлені втратою енергії в механізмі.

Результати проведених досліджень свідчать про ефективність запропонованої конструкції захватного пристрою та його здатність адаптуватися до різних динамічних умов маніпуляцій.

Для виводу та обробки отриманих даних, використовувався персональний комп'ютер із встроєним аналого-цифровим перетворювачем L264. Сигнал з датчиків підсилювався тензостанцією «Топаз», джерелом живлення якої слугував блок живлення «Агат». Усі дані з АЦП виводились на монітор у вигляді осцилограм. Розрахований допустимий тиск в приводі ЗП встановлювався редукційним клапаном.

Для експериментального визначення виникаючих сил затиску та їх зміни у процесі маніпулювання деталлю, були використані тензорезистори з базою 20 мм та опором 100 Ом.

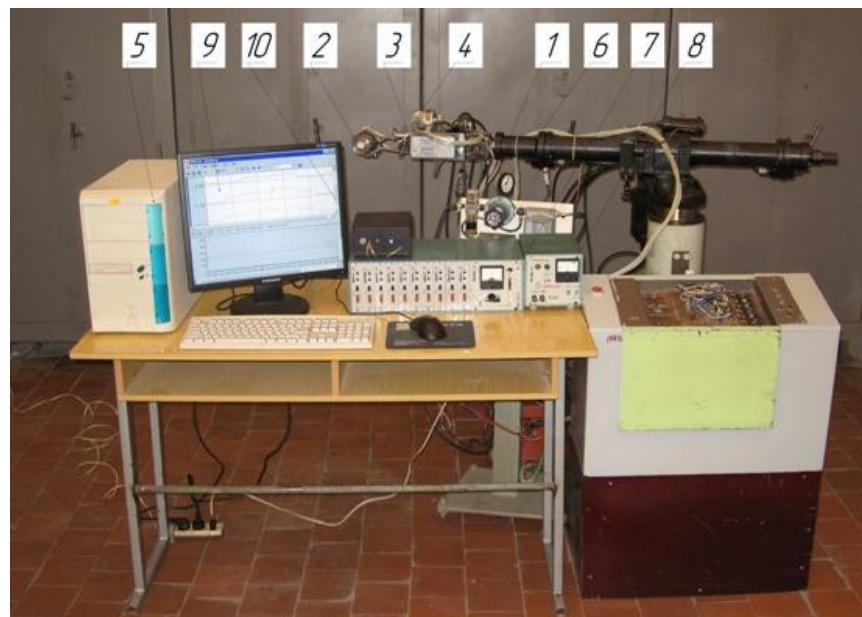


Рис.3.6. Експериментальна установка для дослідження сил затиску в захватних пристроях ПР

1 – ПР «Бриг-10»; 2 – експериментальний ЗП; 3 – датчик лінійних прискорень «БДЛУ 1-3»; 4 – датчик тиску; 5 – комп'ютер; 6 – редукційний клапан; 7 – тензостанція «ТОПАЗ»; 8 – блок живлення «АГАТ»; 9 – монітор; 10 – блок живлення.

Отже, щоб фізично реалізувати схему, спочатку потрібно провести розрахунок товщини балки (пластини) із врахуванням умов затиску деталі та конструкції ЗП.

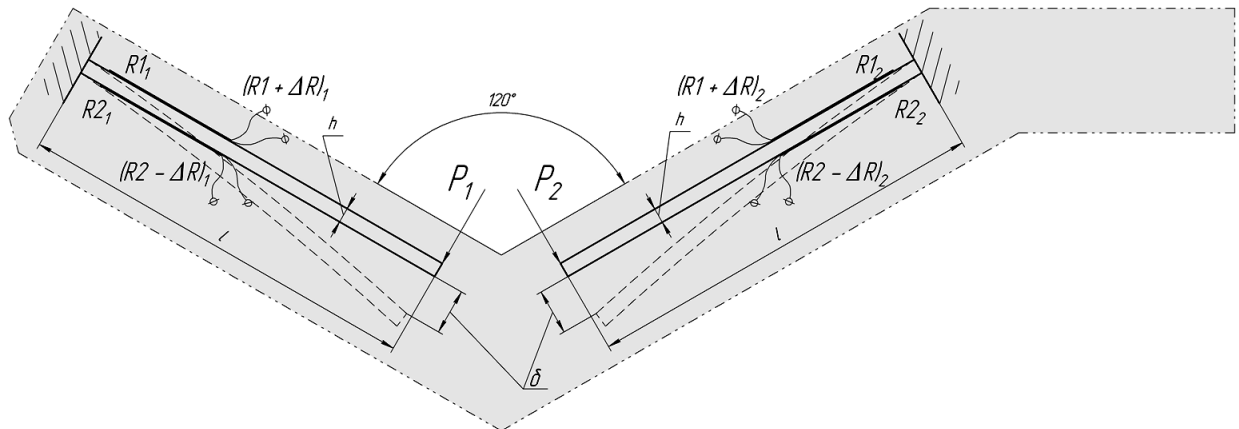


Рис.3.7. Схема розрахунку товщини утримуючої пластини ЗП

При дії на кінець консольної балки певного зусилля балка прогнеться (рис.3.7), це приведе до появи пружних деформацій, вони будуть сприйняті тензорезисторами. При цьому на виході мостової схеми з'явиться напруга, яка функціонально пов'язана з вимірюваним зусиллям Р. Розрахунок товщини пластини виконувався в програмному продукті Mathcad 2001i Professional.

У якості вихідних даних було взято максимальне навантаження на пластину $P = 7,5\text{кг}$; довжину пластини, яка використовується $l = 40\text{мм}$; максимально допустима величина згину балки $\delta = 5\text{мм}$ та ширину пластини $b = 25\text{мм}$. Розрахункова формула:

$$h := \sqrt[3]{\frac{12 \cdot (P + I) + l^3}{3 \cdot \delta \cdot E \cdot b}}$$

Результат розрахунку: $h = 0,3\text{мм}$.

Для порівняння теоретичних та експериментальних досліджень побудовано графіки залежності сил затиску Р від сили ваги G, від кута призми α , від кута зміщення вершин призм φ . Для обчислення теоретичних значень мінімально необхідних сил затиску використовувався програмний продукт MathCAD 2015. Вихідні дані: $\alpha = 120$; $\beta = 90$; $G = 20$; $I = G$; $\varphi = 0$; $f = 0,1$. Результати розрахунків: $P_1(\alpha) = 17,047$; $P_2(\alpha) = 28,594$; $P_3(\alpha) = 11,547$.

За отриманими даними побудовано графіки (рис.3.8), де суцільною лінією представлені розрахункові залежності, а пунктиром – експериментальні. З

приведених даних також отримано повне підтвердження правильності виконаних розрахунків.

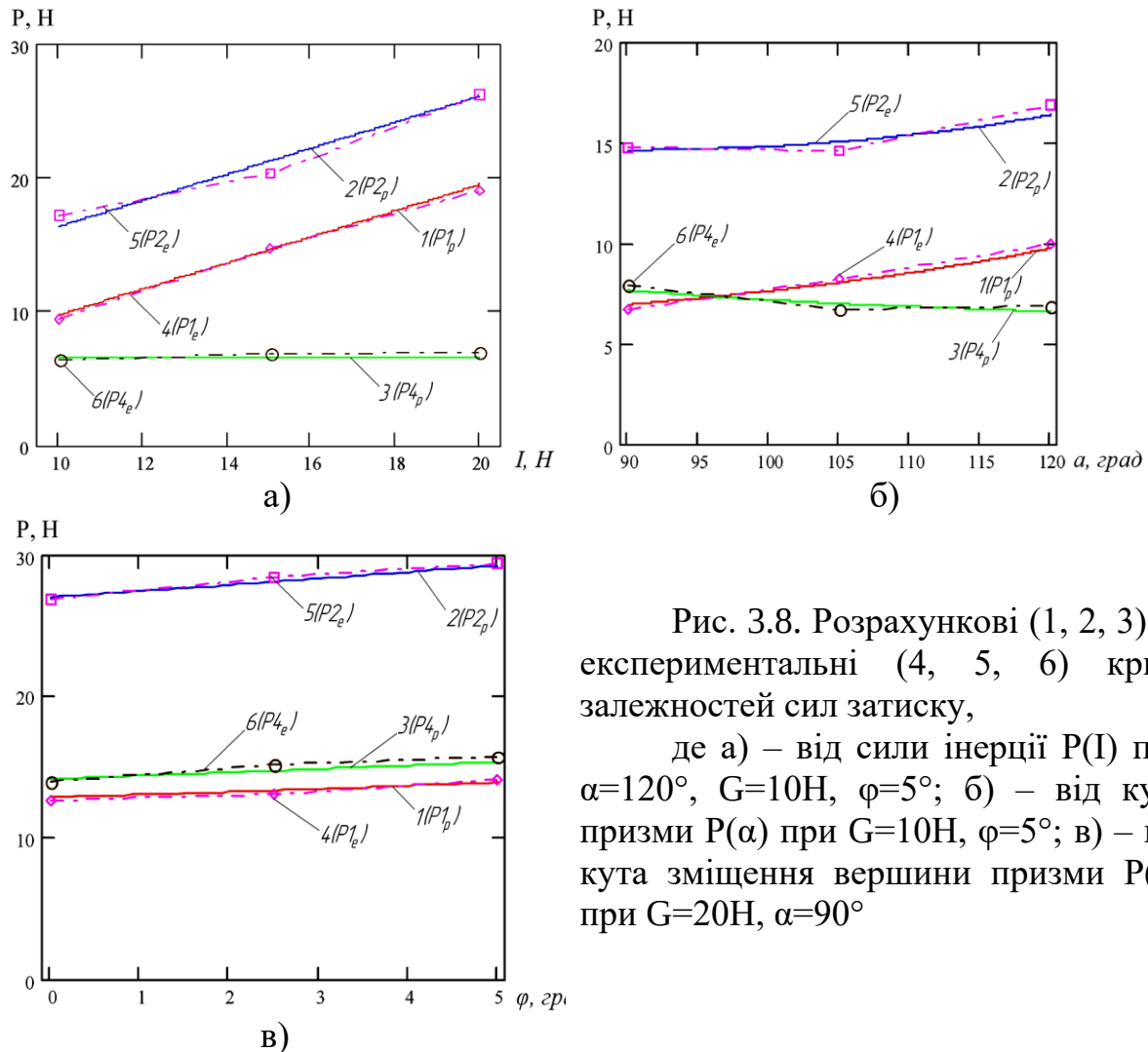


Рис. 3.8. Розрахункові (1, 2, 3) та експериментальні (4, 5, 6) криві залежностей сил затиску,

де а) – від сили інерції $P(I)$ при $\alpha=120^\circ$, $G=10\text{H}$, $\varphi=5^\circ$; б) – від кута призми $P(\alpha)$ при $G=10\text{H}$, $\varphi=5^\circ$; в) – від кута зміщення вершини призми $P(\varphi)$ при $G=20\text{H}$, $\alpha=90^\circ$

У цьому розділі підтверджено розрахункові значення сил затиску за допомогою експериментальних даних із допустимою розбіжністю в межах 3 – 5%. Проведення експериментів відповідно до матриці дрібнофакторного експерименту забезпечило високий рівень достовірності отриманих результатів. На рис. 3.9 представлено поверхні відгуку, які демонструють вплив таких факторів, як маса деталі (m) та кут призми (α), на сили затиску (P_1 , P_2 , P_4). Аналіз результатів підтвердив, що ці фактори мають найбільший вплив на сили затиску при горизонтальному переміщенні захватного пристрою (ЗП). Отримані результати підтверджують високу ефективність обраного підходу до розрахунку та проектування захватного пристрою, забезпечуючи надійність його роботи у реальних умовах експлуатації.

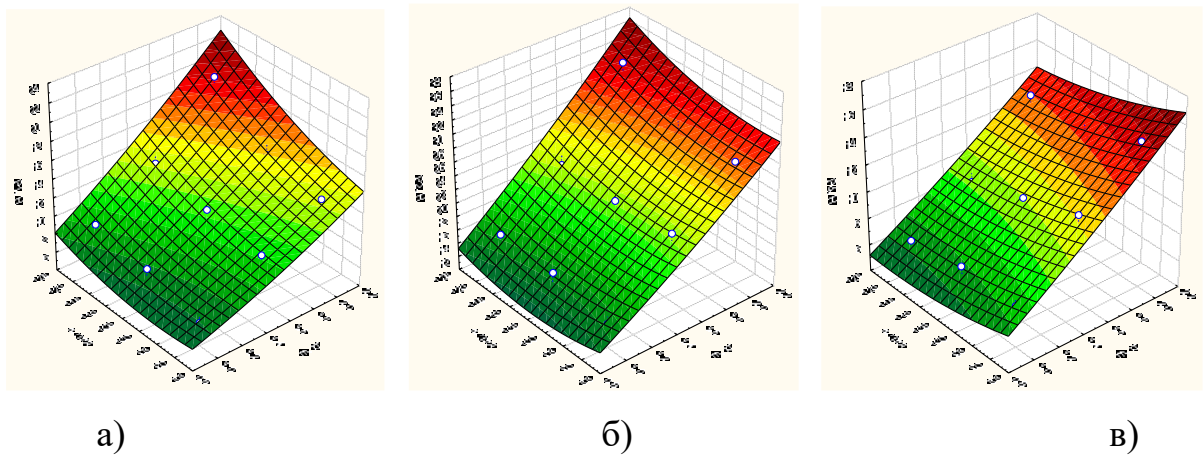
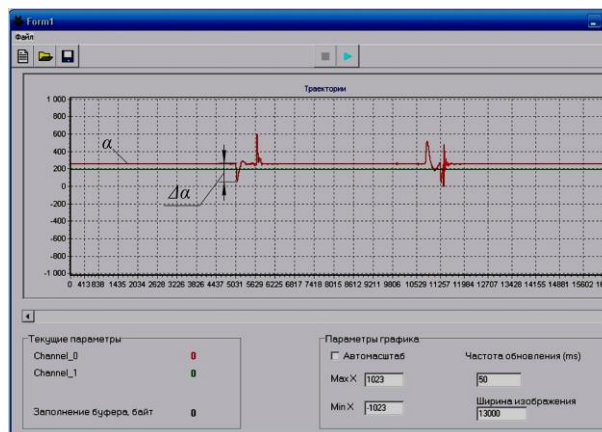
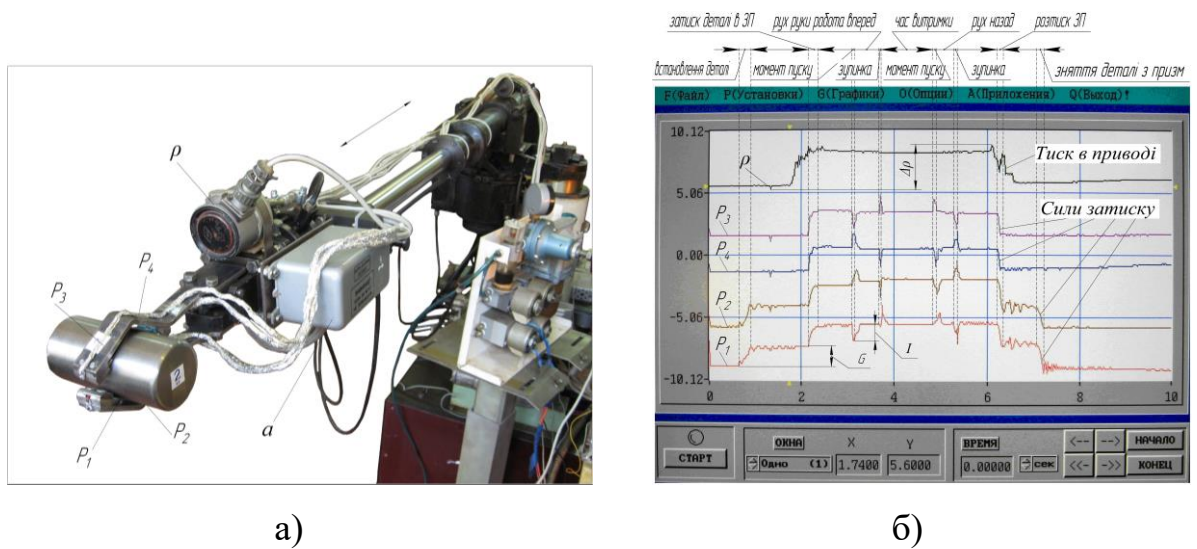


Рис.3.9. Поверхні відгуку впливу маси деталі (m) та кута призми (a)

на середні значення сил P_1 , P_2 та P_4

де а – вплив маси деталі та кута призми на силу затиску P_1 ; б – на силу затиску P_2 ; в – на силу затиску P_4 .

На монітор комп'ютера дані виводилися у вигляді осцилограм (рис.3.10).



в)

Рис.3.10. Горизонтальний рух: осцилограми зміни сил затиску, тиску в приводі захвату та прискорення руху

3.4. Висновки

1. Методика та експериментальні дослідження: розроблено методику та експериментальні установки для статичних досліджень сил затиску утримуваних деталей захватного пристрою (ЗП). Розбіжність між теоретичними та експериментальними даними склала 3–5%.

2. Експериментальна установка: на базі промислового робота «Бриг-10» створено експериментальну установку зі спеціальним ЗП для дослідження динамічних характеристик сил затиску та їх зміни під час маніпулювання деталями.

3. Математичні розрахунки та залежності: експериментальним шляхом підтверджено виконані математичні розрахунки. Побудовано поверхні відгуку залежностей сил затиску від маси деталі (m), кута затискних призм (α) та кута зміщення вершин призм (φ).

4. Діючі сили та прискорення: визначено сили затиску в захватному пристрої для типових переміщень у повному циклі руху руки робота. Досліджено лінійні прискорення, що виникають під час переміщення захвату, і розраховано відповідні сили інерції.

5. Ефективність конструкції: представлена конструкція роботизованого захвату демонструє здатність до ефективного захоплення об'єктів різних форм і розмірів. Основні переваги: проста механічна конструкція, ефективна система управління, оптимальне співвідношення витрат і корисного навантаження.

6. Технологія виготовлення: простота конструкції дозволяє виготовляти елементи захвату за допомогою технології 3D-друку. Це знижує вартість виготовлення, забезпечуючи при цьому достатню функціональність.

7. Порівняння та потенційні переваги: порівняння з комерційно доступними аналогами (Barrett Hand, Robotiq, Schunk SDH Hand тощо) свідчить про конкурентні переваги запропонованої конструкції.

8. Подальші дослідження. Подальша робота передбачає: інтеграцію тактильних датчиків для забезпечення зворотного зв'язку по силі. Встановлення захватного пристрою на промисловий маніпулятор для оцінки продуктивності в реальних умовах.

4. Технологічна частина

4.1. Аналіз точності та технологічності заданих деталей

Насос шестеренний НШ100 призначений для нагнітання робочої рідини в гідравлічні системи тракторів, сільськогосподарських та інших машин.

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

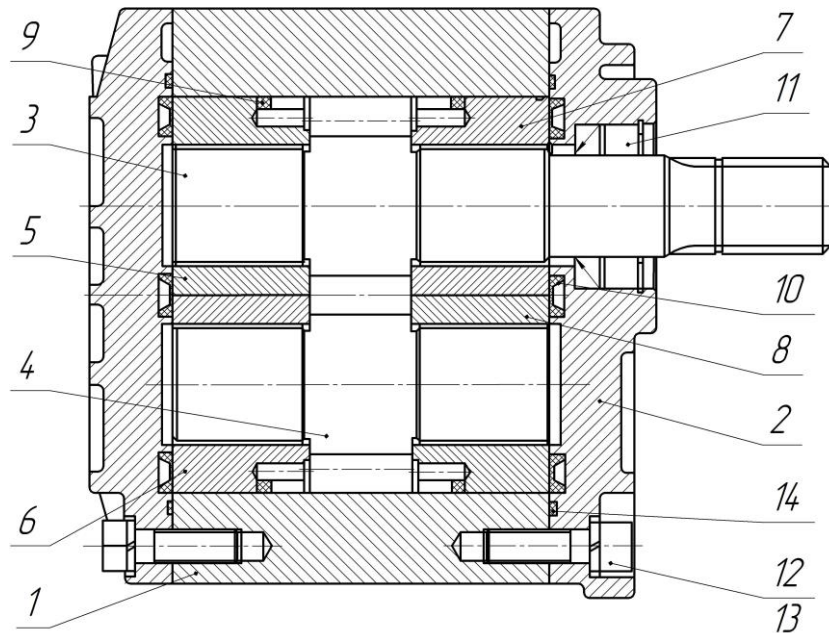


Рис. 4.1 Будова насосу НШ100

Робоча рідина в шестеренному насосі нагнітається за допомогою ведучої шестерні 3 та веденої шестерні 4, розміщених в порожнинах корпуса 1 і закріплених кришкою 2. Шестерні розташовуються між металофторопластовими втулками 5, 6, 7, 8 які виконують роль підшипників і одночасно являють собою компенсатори зазорів. Компенсатори ущільнюються в розточках корпуса 1 та кришки 2 за допомогою манжет 9 та 10. Ведучий вал ущільнюється манжетою 11, яка розжимається в кришці 2 за рахунок натягу по діаметру. Кришка приєднується до корпуса бовтами 12, під якими встановлені пружинні шайби 13. Герметичність по площині роз'єму корпус-кришка досягається установкою гумового кільця 14.

Основні параметри насосу НШ100 представлені в технічній характеристиці:

Технічна характеристика гідронасоса НШ100Г-4

1.Робочий об'єм, см ³	100
2.Частота обертання, с ⁻¹ :	
- номінальна	32
- максимальна	40
- мінімальна	8,3
3.Номінальний об'єм подачі, л/хв.	173,4
4.Тиск на вході, Мпа:	
- мінімальний	20
- максимальний	25
5.Коефіцієнт корисної дії, не менше	0,95
6. Маса, кг	24
7. Номінальна потужність, кВт	83,0
8. Габаритні розміри, мм	180×90,0×45
9.Температура навколишнього середовища, С°:	
- мінімальна	- 60
- максимальна	+50

Характеристика робочої рідини:

- кінематична в'язкість, мм /с	30 – 40
- температура, С°:	
- номінальна	0
- максимальна	+80

Характеристика деталі Шестерня ведуча НШ63Г-4-00-05-04. Маса деталі – 1,8 кг, має габаритні розміри: 120х40 та потребує цементування. Ведуча шестерня виготовлена із сталі 18ХГТ, що дозволяє забезпечити після термообробки твердість поверхневого шару HRC57..63, і меншу твердість серцевини.

Задана точність на виготовлення деталі та шорсткість її поверхонь відповідає умовам, які необхідні для довгої та надійної експлуатації насоса.

Шестерня ведена разом із шестернею ведучою утворюють нагнітаючий вузол насоса шестеренного і разом з нею переміщують рідину з порожнини всмоктування в порожнину нагнітання. Наявність малих зазорів між торцями вінця шестерні та корпусу створюється тиск рідини, таким чином ведена шестірна разом з ведучою є робочим органом вузла і виконують головну функцію створення тиску рідини в насосі та нагнітання її в робочі органи механізмів машин. Шийки шестерні призначені для базування деталі на підшипники ковзання і тому виступають як основні базові поверхні, що обумовлює високі параметри точності та шорсткості. Сальникова частина валу має високий параметр шорсткості для забезпечення щільного спряження деталі та гумової манжети.

Додатковими поверхнями:

- канавки призначені для виводу шліфувального круга в момент одночасної шліфовки цапфи і торця зубчастого вінця.
- цапфи обертаються в підшипниках ковзання.
- торця зубчастого вінця призначені для піджиму компенсаторів в момент роботи насоса.
- фаски по діаметрам цапф конструктивні.

Два центрові отвори – технологічні і конструкторські бази.

Зубчастий вінець для гарантованого зазору між колодязями корпусу.

4.2 Аналіз технологічності деталей та технічних вимог на її виготовлення.

Деталь шестерня ведуча НШ100 виготовляється з легованої сталі 18ХГТ. Деталь раціональної форми з легкодоступними для обробки поверхнями та достатньої жорсткості, що дозволяє зменшити трудоемкість та собівартість механічної обробки (необхідна жорсткість деталі дозволяє оброблювати її на верстаті з найбільш продуктивними режимами різання).

Конструкція деталі передбачає широке використання стандартизованих і нормалізованих елементів; дає можливість утворювати технологічні бази у

вигляді центрових отворів; дозволяє оброблювати поверхні прохідними різцями.

Нетехнологічним елементом є зубчатий вінець. При можливості слід використовувати заготовку з зубчатим вінцем, отриманим методами пластичного деформування. Це значно зменшить трудомісткість обробки. Торці зубчатого колеса шліфуються з піднутрінням. Це викликане необхідністю зменшити до мінімуму витoki мастила крізь торцеві зазори між шестернею та втулкою під час роботи насоса.

Підвищені вимоги щодо точності і шорсткості в даній деталі пред'являються до цапф валу $\varnothing 40_{-0,084}^{-0,068}$, і відображені на кресленні так:

- радіальне биття зовнішньої поверхні зубчастого вінця не більше 0,01мм. відносно вісі.
- некруглість цапф валу не більш 0,005 мм.
- Паралельність цапф валу не більше 0,005 мм.

Такі високі вимоги пред'являються до деталі виходячи з її службового призначення. Для систематизації параметрів точності виконуємо ескіз заданої деталі (шестерні 100) з нумерацією її основних оброблюємих поверхонь (елементів) та складаємо таблицю вимог точності (табл. 4.1)

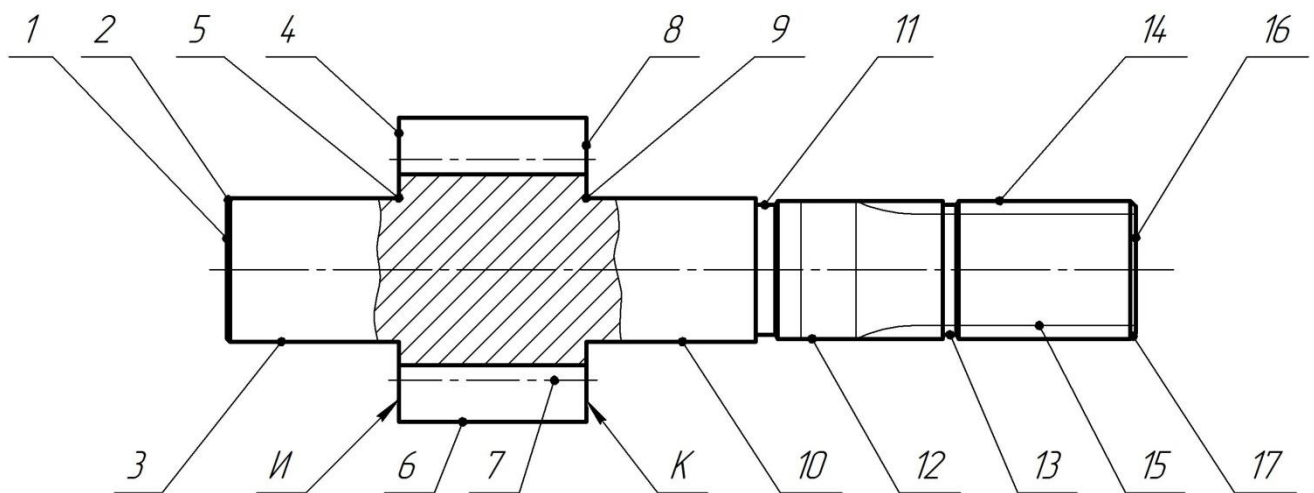
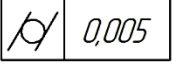
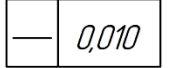
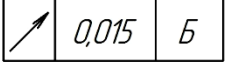


Рис.4.2. Шестерня ведуча НШ100

Параметри точності поверхонь шестерні НШ100

№ поверхні	Найменування поверхні	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Точність розміще- ння поверхонь	Точність форми	Шорсткість поверхні
1,8	Торець	220	h14	-	-	12,5
2,7	Зовнішня цил.поверх.	$\varnothing 40_{-0,075}^{-0,090}$				0,16
3,6	Торець зуб- частого кол.	$36_{-0,04}$	h7			0,16
4	Зовнішня поверх. зуб. вінця	$\varnothing 77_{-0,06}^{-0,07}$	f7		-	1,25
5	Зубчаста евольвентна поверхня	$\varnothing 49,4_{-0,39}$	b11	-	-	2,5

З проведеного аналізу можна зробити висновок, що технічних вимог на кресленні задано достатньо. Вимоги точності задані коректно і відповідають діючим стандартам. Метод простановки розмірів – комбінований. Указаний матеріал на виготовлення шестерні задовольняє експлуатаційні вимоги. Проаналізувавши в цілому всю деталь можна зробити висновок, що вона є достатньо технологічною.

Деталь має багато нетехнологічних елементів. Насамперед це зубчатий вінець. Його механічна обробка є дуже трудомісткою. Конфігурація деталі не ускладнює використання прохідних різців. Торці зубчатого колеса шліфуються з піднутрінням. Це викликане необхідністю зменшення витoku мастила крізь торцеві зазори між шестернею та втулкою під час роботи насоса. Обробка шліців також є достатньо трудомісткою. Жорсткість вала є достатньою для отримання розмірів високої точності.

Шийки шестерні $\varnothing 55e7$ (поз. 3, 10) та торці зубчатого вінця $48,025h7$ (поз. 4, 8) мають параметр шорсткості $R_a 0,16$. Сальникова ділянка приводного вала, яка контактує з ущільнювачем $\varnothing 46 h10$ та шліцевий вал $\varnothing 42e9$ (поз. 12, 14) мають параметри шорсткості $R_a 0,32$ та $R_a 1,25$ відповідно. Зубчатий вінець $\varnothing 103,5 h7$ (поз. 6) має параметр шорсткості $R_a 0,63$. 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.

Деталь є порівняно нескладною та, в цілому, технологічною, але високі вимоги по точності і, особливо, по шорсткості призводять до високої трудомісткості, а значить, і вартості механічної обробки.

Дані аналізу точності приведено в таблиці 4.1..

Аналіз технічних умов на виготовлення деталі:

- 1.Цементувати $h0,7..1,3\text{мм}$, $57..63\text{ HRC}$, серцевина $25..45\text{ HRC}$
- 2.*Розмір для довідок
- 3.Невказані граничні відхилення розмірів: валів-по $h14$, інших $\pm It14/2$
- 4.Допускається розсвердлити центрові отвори до $\varnothing 6\text{мм}$
- 5.Кромки по профілям евольвенти і западини зуба скруглити $R0,03..0,1\text{мм}$
- 6.Деталі розбити на 5 груп по розміру Б:
 - 1) $48,025..48,020\text{мм}$; 2) $48,020..48,015\text{мм}$; 3) $48,015..48,010\text{мм}$; 4) $48,010..48,005\text{мм}$; 5) $48,005..48,000\text{мм}$.
7. Допускається завищення розміру Б до $48,04\text{мм}$, при цьому спрягаєма з шестернею обойма піджимна повинна мати відповідний розмір в межах $48_{-0,035}^0\text{мм}$
8. Клеймувати знак, який засвідчує якість
9. Маса заготовки $12,566\text{кг}$, не більше; КВМ не менше $0,5$
10. Маркувати групу селективності по розміру Б
11. Допускається заниження розміру Г до $6,75\text{мм}$ на двох шліцях в місці змикання інструменту
12. Найменше додаткове зміщення вихідного контура Е повинно відповідати величині - $0,888\text{мм}$

Заготовка деталі з великими припусками на механічну обробку. Це обумовлене великою кількістю технологічних переходів для досягнення необхідної точності. Заготовку піддають термообробці – відпалу. Кінцева термообробка – цементация. Шліфування торців шестерні необхідно виконувати з піднутрінням. Метод простановки розмірів – комбінований.

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

4.3. Вибір заготовки та методів виготовлення

Деталь шестерня ведуча відноситься до класу валів. Виготовляється із сталі 18ХГТ. Клас точності виготовлення поковки – Т2. Група сталі поковки – М2. Ступінь складності поковки – С2. Характеристики матеріалу та його хімічний склад наведено відповідно в таблицях 4.3 та 4.4.

Таблиця 4.3.

Механічні властивості матеріалу деталі шестерня ведуча.

Марка сталі	Границя текучості, кгс/мм ²	Тимчасовий опір розриву, кгс/мм ²	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %	Твердість відпаленому стані, НВ
18ХГТ	75	90	10	40	156 – 207

Таблиця 4.4.

Хімічний склад матеріалу деталі шестерня ведуча.

Марка сталі	Вуглець С, %	Хром Х, %	Марганець Г, %	Титан Т, %
18ХГТ	0,18	1	1	1

В базовому технологічному процесі передбачено метод отримання заготовки – об’ємне штампування. Цей метод має переваги перед іншими методами, наприклад, перед ковкою. Об’ємним штампуванням можна отримувати заготовки складної форми з високою якістю поверхонь (параметр шорсткості R_z 80...20), з невеликими припусками. Цей метод є дуже продуктивним (десятки та сотні поковок за годину). Заготовки піддають термічній обробці – відпалу. Метою термічної обробки є усунення дефектів які є наслідком нагріву та обробки тиском, зниження твердості, усунення остаточних напружень, покращення оброблюємості різанням, а також

підготовка структури матеріалу для кінцевої термічної обробки після обробки різанням. Для підвищення терміну використання ріжучого інструменту при обробці поковок, а також для полегшення контролю якості поверхні поковки очищують від окалини на дробоструйних апаратах. Після лезової обробки деталі її піддають кінцевій термічній обробці – дифузійному насиченню неметалами. Деталь необхідно цементувати на глибину $h = 0,7...1,3\text{мм}$; твердість поверхні 57...63 HRC, серцевина 25...45 HRC. Розраховуємо вартість отримання заготовки методом об'ємного штампування. Відомості про заготовку приведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5.

Характеристика заготовки деталі шестерня ведуча.

Метод	Маса деталі, кг	Маса заготовки, кг	Коефіцієнт використання матеріалу
Об'ємна штамповка	6,371	12,566	0,50

Вартість заготовок, які отримані литвом в кокіль та під тиском можна визначити за формулою:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{S_{\text{баз}}}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_c \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\Pi} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{від}}}{1000},$$

де $S_{\text{баз}} = 3055$ – базова вартість 1 т заготовок, грн.;

$k_T, k_c, k_B, k_M, k_{\Pi} = 1,05; 0,83; 0,93; 1,93; 1$ – відповідно коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, ваги, марки матеріалу та об'єму виробництва заготовок;

$Q = 12,566$ – вага заготовки, кг;

$q = 6,371$ – вага деталі, кг;

$S_{\text{від}} = 1100$ – вартість 1 т відходів, грн.

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{3055}{1000} \cdot 12,566 \cdot 1,05 \cdot 0,83 \cdot 0,93 \cdot 1,93 \cdot 1 \right) - (12,566 - 6,371) \cdot \frac{1100}{1000} = 53,2355 \text{ грн.}$$

Значно зменшити трудомісткість механічної обробки можна використовуючи заготовку з зубчатим вінцем отриманим методами пластичного деформування. Витрати на матеріал зменшаться, але вартість такої заготовки буде вище ніж прийнятої оскільки потрібне спеціальне обладнання. Та при великих обсягах виробництва додаткові витрати на обладнання можуть бути компенсовані зменшенням вартості механічної обробки.

4.4. Розробка маршрутів виготовлення деталей

Маршрут обробки деталі будують з урахуванням обраних маршрутів обробки окремих поверхонь, типу виробництва, технологічних можливостей вибраних металорізальних верстатів, технічних вимог та розмірних зв'язків на кресленні деталі. Його зміст приводиться як послідовність назв технологічних операцій, короткий зміст технологічних переходів та використовуваних верстатів.

Розроблені маршрути обробки наведені в таблиці 4.6

Таблиці 4.6

Маршрути обробки деталі шестерня ведуча

№ операції	Найменування операції	Зміст операції	Технологічне обладнання
1	2	3	4
001	Транспортна	Транспортувати деталі в цех	Автопогрузчик АВ-2
005	Токарна з ЧПК	Точити торці з перевстановленням, центрувати торці. Точити поверхні обертання начорно та начисто. Підрізати торець начорно та начисто. Врізати канавки. Точити цапфу начорно та начисто. Підрізати торець начорно та начисто. Врізати канавку.	Токарний з ЧПК HAAS – SL20
010	Зубофрезерна	Фрезерувати зубці.	Зубофрезерний напівавтомат 53A80H
015	Зубодовбальна	Довбати зубці.	Зубодовбальний напівавтомат 5122KH24
020	Зубошевінгувальна	Шевінгувати зубці	Зубошевінгувальний напівавтомат ABC-02B
025	Шліцефрезерна	Фрезерувати шліци.	Шліцефрезерний напівавтомат 5350A

030	Промивка	Промити деталь.	Миюча машина ГМ 752
035	Слюсарна	Затупити гострі кромки по всіх поверхнях.	Стіл ГМ 1765
045	Контрольна	Перевірити розміри	Стіл ГМ 3112
050	Транспортна	Транспортувати деталь на лійницю термічної обробки.	Автопогрузчик АВ-2
055	Термічна	Цементувати деталь.	Виконується по тех.процесу
060	Транспортна	Транспортувати деталь на лійницю абразивної обробки.	Автопогрузчик АВ-2
065	Зачистка	Зачистити центрові отвори.	Стіл ГМ 1765
070	Круглошліфувальна з ЧПК	Шліфувати поверхні обертання.	Круглошліфувальний з ЧПК 3М152МФ2
075	Торцекруглошліфувальна	Шліфувати цапфу та торець одночасно.	Круглошліфувальний 3Б153
080	Торцекруглошліфувальна	Шліфувати цапфу та торець одночасно.	Круглошліфувальний 3Б153
085	Очистка електрохімічна	Притупити гострі кромки по профілю евольвенти та западини зубців шестерні з двох сторін.	Виконується по тех.процесу
90	Промивка	Промити деталь.	Миюча машина ГМ 752
95	Суперфінішна	Суперфінішувати цапфи.	Безцентровосуперфінішний напівавтомат 3Д879БН27
100	Суперфінішна	Суперфінішувати.	Безцентровосуперфінішний напівавтомат 3Д879БН27
105	Доводочна	Довести торці одночасно.	Верстат для алмазної доводки шестерен 020-011
115	Заточна	Зачистити торець цапфи шестерні під клеймування, зачистити заусенці в шліцах.	Стіл ГМ 1765
120	Промивка	Промити деталь.	Миюча машина ГМ 752
125	Протирка	Протерти всі поверхні деталі.	-
130	Комплектування	Перевірити розміри, розбити деталь по групах селективності.	-
135	Комплектування	Комплектувати шестерню ведучу та ведену по групам селективності.	-

4.5. Вибір технологічних баз

Забезпечення технічних вимог, які висуваються до деталі здійснюють вибором раціональної схеми базування деталі під час механічної обробки.

Схема базування заготовок на верстатах повинна забезпечити достатню жорсткість встановлення заготовки, а також задану тоничність орієнтації її в пристрої. Технологічні бази повинні також забезпечити вимоги суміщення напрямку координатних осей заготовки з координатними осями координатної системи верстату.

Вибір технологічних баз починають з чорнової бази – бази на першій операції технологічного процесу, призначення якої – забезпечити отримання технологічних баз для наступних операцій. При виборі чорнової технологічної бази необхідно виходити із забезпечення більш рівномірного зняття припуску з найбільш точних і важливих для деталей поверхонь. При виборі технологічних баз необхідно керуватися принципами спів падання та постійності баз. При змушеній зміні баз доцільно переходити від менш точної базової поверхні до більш точної.

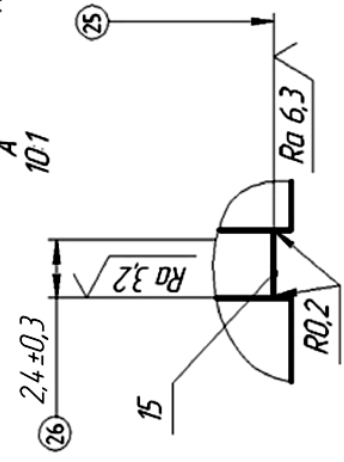
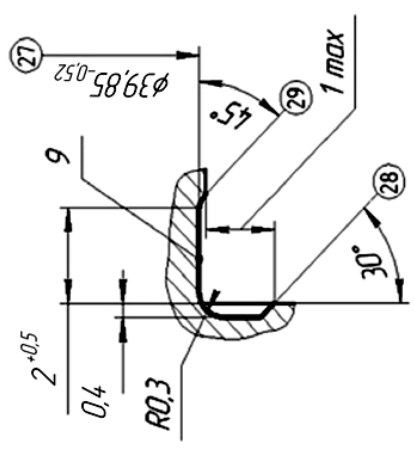
При обробці шестерні ведучої за чорнову базу приймаємо зовнішню циліндричну поверхню заготовки та торець 4, а при переустановці торець 7. На першій операції виконується підготовка чистової технологічної бази для всієї послідуєючої механічної обробки – центрування деталі. При обробці зубців, деталей базується в центрах. Необхідно відмітити обробку центрових отворів після термообробки деталі. На цій операції деталь закріплюється в поводковому патроні за зубчасту поверхню. Кінцева абразивна обробка також здійснюється при базуванні деталі в центрах. Виняток складає суперфінішна операція. Тут деталь встановлюється на валки верстата.

4.6. Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір металорізальних верстатів для їх здійснення

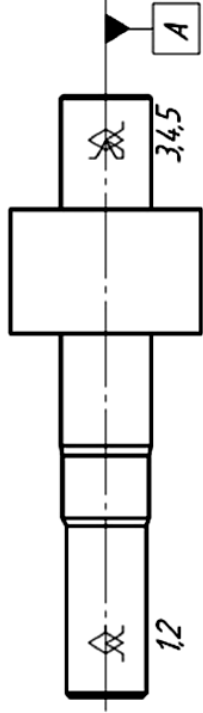
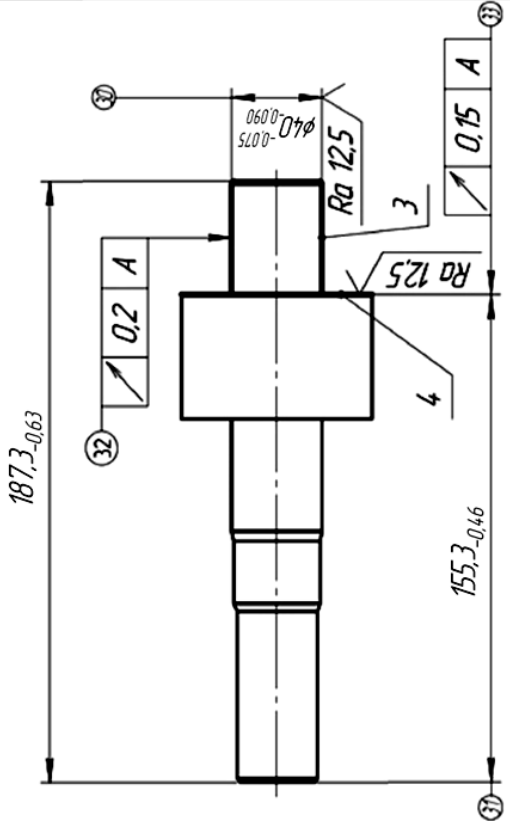
На підставі технологічного маршруту обробки деталі, маршрутів обробки окремих поверхонь та аналізу постановки розмірів з урахуванням технічних вимог до окремих поверхонь, розробляється структура та зміст кожної операції з зазначенням її номера та найменування.

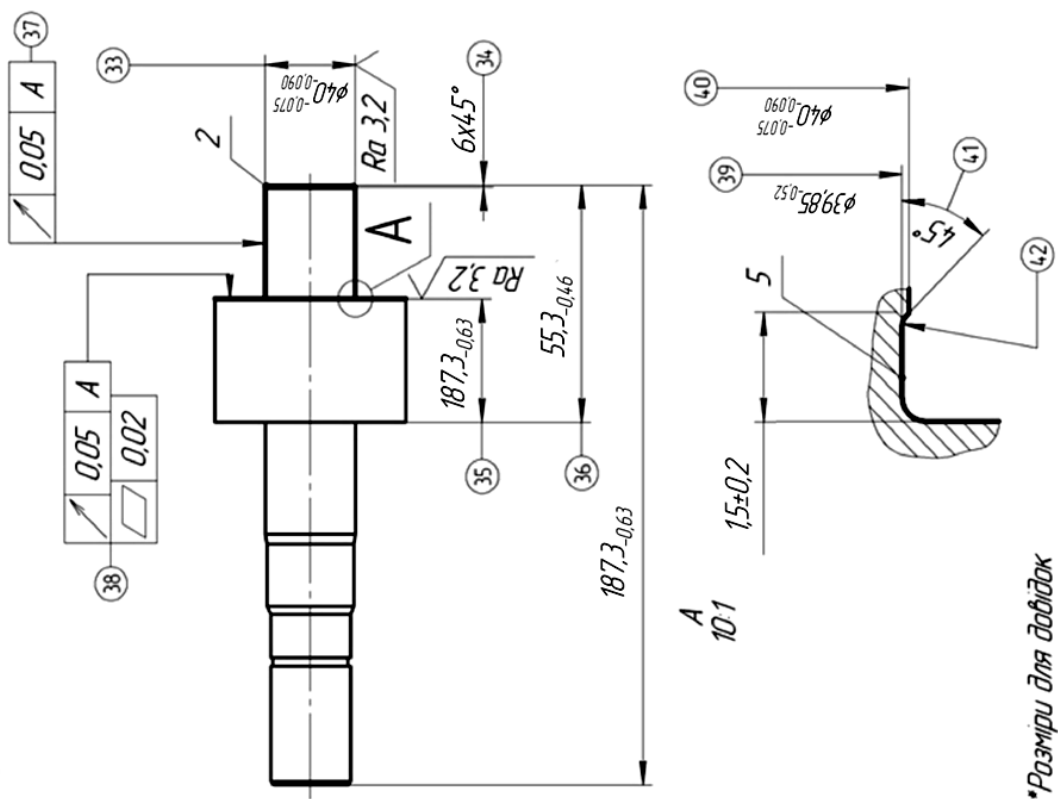
Структура та зміст технологічних операцій наведені в таблиці 4.7

1	2	3	4
		Перехід 3, 5 Technical drawing details: - Overall length: 187,3_{-0,63} - Section 3 length: 87,3_{-0,63} - Section 5 length: 100_{-0,63} - Central shaft diameter: $\phi 77_{-0,03}^{+0,06}$ - Transition section diameter: $\phi 40_{-0,075}^{+0,090}$ - Flange diameter: $\phi 34_{-0,050}^{+0,112}$ - Surface finish: Ra 3.2, Ra 0.05 - Callouts: 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24	

1	2	3	4
		Перехід 6  Technical drawing of a transition (Перехід 6) showing a cross-section of a part. Dimensions include a vertical distance of $2,4 \pm 0,3$ (26), a horizontal distance of $A = 10,1$ (25), and a radius of $R0,2$. Surface finish requirements are $Ra 3,2$ and $Ra 6,3$. A feature is labeled 15.	
		Перехід 7 Б 10,1  Technical drawing of a transition (Перехід 7) showing a cross-section of a part. Dimensions include a vertical distance of $2^{+0,5}$ (27), a horizontal distance of $0,4$ (28), and a radius of $R0,3$. Surface finish requirements are $Ra 3,2$ and $Ra 6,3$. A feature is labeled 15. A feature is labeled 9. A feature is labeled 29. A feature is labeled 1 max. A feature is labeled 30°.	

Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4
		Позиція II  Перехід 9	II Позиція 9. Відкріпити, перевстановити та закріпити деталь. 10. Точити поверхню 3 начерно, витримуючи розміри (30) (31) та вимогу (32) 11. Точити поверхні 2, 3 начисто, витримуючи розміри (40) (42) (43) та вимогу (44) 12. Підрізати торець 4 начерно, витримуючи розмір (31) та вимогу (33) 13. Підрізати торець 4 начисто, витримуючи розмір (47) та вимоги (48) (49) (57) 14. Врізати канавку 5, витримуючи розміри (47) (50) (51) (52) (53) (54) (55) (56) 15. Відкріпити та зняти деталь. 16. Перевірити розміри (1) (12) (13) (14) (15) (17) (18) (19) (25) (26) (27) (28) (29) (33) (34) (35) (39) (40) та вимоги (20) (21) (22) (24) (37) (38) та шорсткість поверхонь. 17. Покласти деталь в тару.
		Переходи 10, 12  Перехід 10, 12	*Розміри для довідок

1	2	3	4
		Переходи 11, 13, 14  *Размеры для доводки	

Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4
020 Зубофрезерна	Зубофрезерний напівавтомат SB312	Перехід 1 Перехід 2	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати зубці 7 деталі, витримуючи розміри згідно таблиці. 3. Відкріпити та зняти деталь. 4. Зачистити заусенці від виходу фрези (для контролюємих деталей). 5. Перевірити розміри деталі згідно таблиці. 6. Покласти деталь в тару.

Шорсткість $R_a\ 12,5$ забезпечується режимами різання та заточкою інструмента

*Розміри для довідок

Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4																																
		<table> <tr> <td>Модуль</td><td></td><td>m</td><td>6</td></tr> <tr> <td>Число зубців</td><td></td><td>z</td><td>10</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>+0.355</td></tr> <tr> <td>Граничні відхилення вимірювальної міжцентрової відстані</td><td>верхнє нижнє</td><td>E_{as}^+ E_{a1}^+</td><td></td></tr> <tr> <td>Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані</td><td>за оборот колеса на одному зубі</td><td>F_i^+ f_i^+</td><td>0.4 0.2</td></tr> <tr> <td>Допуск на похибку напрямку зуба</td><td></td><td>F_p</td><td>0.15</td></tr> <tr> <td>Довжина загальної нормалі</td><td></td><td>W</td><td>$28.92_{-0.24}^{-0.16}$</td></tr> </table>	Модуль		m	6	Число зубців		z	10	Вихідний контур			ГОСТ 13755-81	Коефіцієнт зміщення вихідного контура		x	+0.355	Граничні відхилення вимірювальної міжцентрової відстані	верхнє нижнє	E_{as}^+ E_{a1}^+		Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані	за оборот колеса на одному зубі	F_i^+ f_i^+	0.4 0.2	Допуск на похибку напрямку зуба		F_p	0.15	Довжина загальної нормалі		W	$28.92_{-0.24}^{-0.16}$	
Модуль		m	6																																
Число зубців		z	10																																
Вихідний контур			ГОСТ 13755-81																																
Коефіцієнт зміщення вихідного контура		x	+0.355																																
Граничні відхилення вимірювальної міжцентрової відстані	верхнє нижнє	E_{as}^+ E_{a1}^+																																	
Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані	за оборот колеса на одному зубі	F_i^+ f_i^+	0.4 0.2																																
Допуск на похибку напрямку зуба		F_p	0.15																																
Довжина загальної нормалі		W	$28.92_{-0.24}^{-0.16}$																																

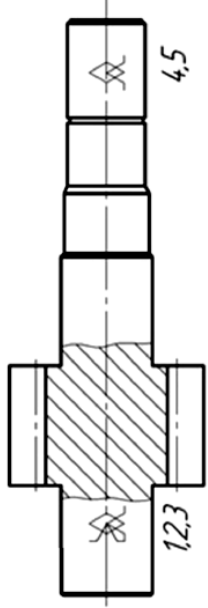
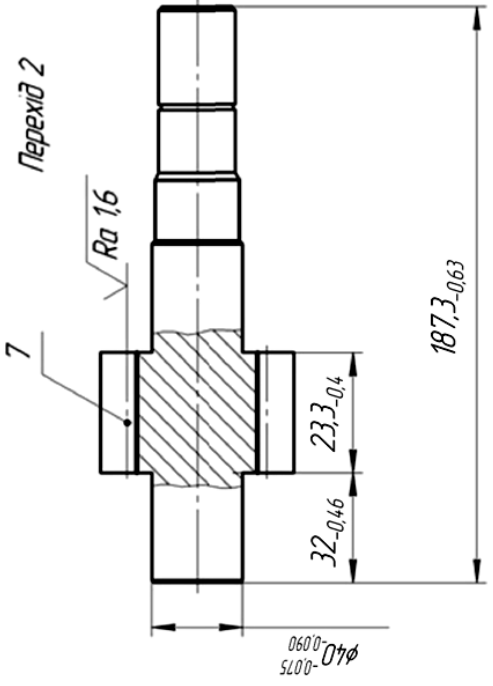
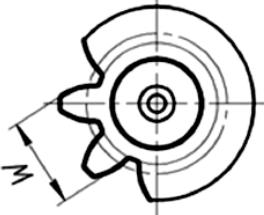
Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4
025 Зубодовбальна	Зубодовбальний напівавтомат 5122KN24	Перехід 1 Перехід 2	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Довбати зубці 7 деталі, витримуючи розміри згідно таблиці. 3. Відкріпити та зняти деталь. 4. Зачистити заусенці від виходу довбача. 5. Перевірити розміри деталі згідно таблиці. 6. Покласти деталь в тару.

Продовження таблиці 4.7

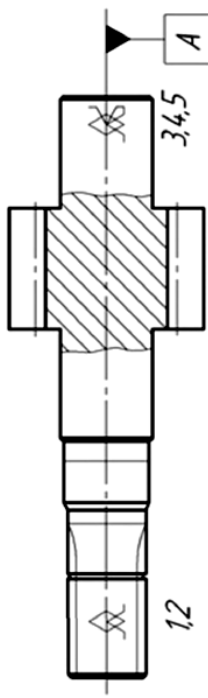
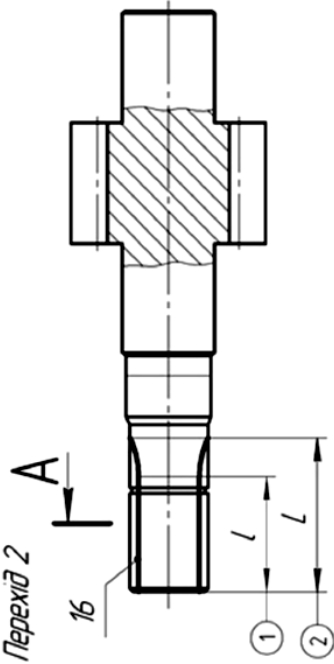
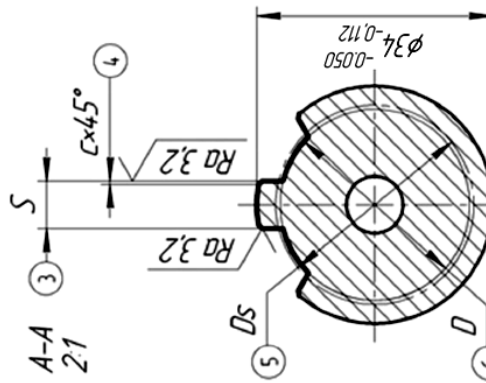
1	2	3	4																																
		<table> <tr> <td>Модуль</td><td></td><td>m</td><td>6</td></tr> <tr> <td>Число зубців</td><td></td><td>z</td><td>10</td></tr> <tr> <td>Вихідний контур</td><td></td><td></td><td>ГОСТ 13755–81</td></tr> <tr> <td>Коефіцієнт зміщення вихідного контура</td><td></td><td>x</td><td>+0.355</td></tr> <tr> <td>Граничні відхилення виміральної міжцентрової відстані</td><td>верхнє нижнє</td><td>E_{as}^* E_{ai}^*</td><td>+0.22 -0.19</td></tr> <tr> <td>Допуск на коливання виміральної міжцентрової відстані</td><td>за оборот колеса на одному зубі</td><td>F_i^* f_i^*</td><td>0.085 0.05</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>24,98_{-0,47}</td></tr> </table>	Модуль		m	6	Число зубців		z	10	Вихідний контур			ГОСТ 13755–81	Коефіцієнт зміщення вихідного контура		x	+0.355	Граничні відхилення виміральної міжцентрової відстані	верхнє нижнє	E_{as}^* E_{ai}^*	+0.22 -0.19	Допуск на коливання виміральної міжцентрової відстані	за оборот колеса на одному зубі	F_i^* f_i^*	0.085 0.05	Допуск на похибку напрямку зубця		F_p	0.02	Довжина загальної нормалі		W	24,98 _{-0,47}	
Модуль		m	6																																
Число зубців		z	10																																
Вихідний контур			ГОСТ 13755–81																																
Коефіцієнт зміщення вихідного контура		x	+0.355																																
Граничні відхилення виміральної міжцентрової відстані	верхнє нижнє	E_{as}^* E_{ai}^*	+0.22 -0.19																																
Допуск на коливання виміральної міжцентрової відстані	за оборот колеса на одному зубі	F_i^* f_i^*	0.085 0.05																																
Допуск на похибку напрямку зубця		F_p	0.02																																
Довжина загальної нормалі		W	24,98 _{-0,47}																																

Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4
030 Зубошесвінгувальна	Зубошліфувальний напівавтомат 5702В	Перехід 1  Перехід 2  *Розміри для довідок 	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати зубці 7 деталі, витримуючи розміри згідно таблиці. 3. Відкріпити та зняти деталь. 4. Перевірити розміри деталі згідно таблиці. 5. Покласти деталь в тару.

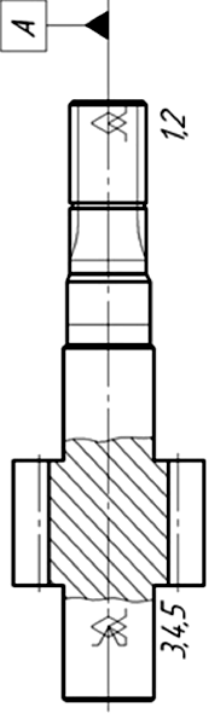
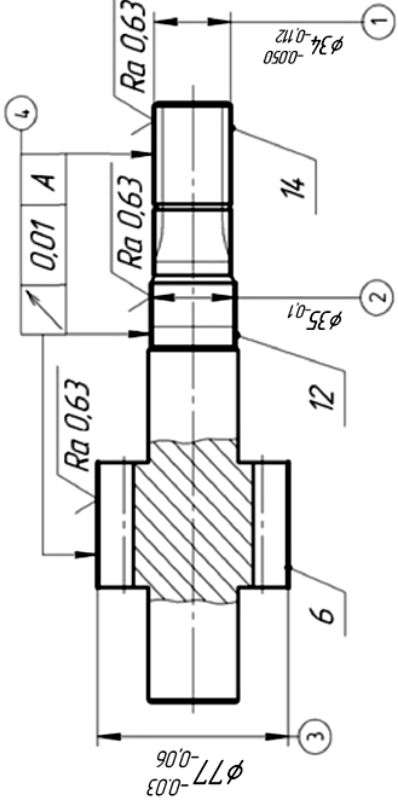
Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4																																
		<table> <tr> <td>Модуль</td><td></td><td>m</td><td>6</td></tr> <tr> <td>Число зубців</td><td></td><td>z</td><td>10</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>+0.355</td></tr> <tr> <td>Граничні відхилення вимірювальної міжцентрової відстані</td><td>верхнє нижнє</td><td>E_{as}'' E_{ai}''</td><td>+0.02 -0.17</td></tr> <tr> <td>Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані</td><td>за оборот колеса на одному зубі</td><td>F_i' f_i'</td><td>0.065 0.04</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>24,98_{-0,7}</td></tr> </table>	Модуль		m	6	Число зубців		z	10	Вихідний контур			ГОСТ 13755-81	Коефіцієнт зміщення вихідного контура		x	+0.355	Граничні відхилення вимірювальної міжцентрової відстані	верхнє нижнє	E_{as}'' E_{ai}''	+0.02 -0.17	Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані	за оборот колеса на одному зубі	F_i' f_i'	0.065 0.04	Допуск на похибку напрямку зубця		F_p	0.02	Довжина загальної нормалі		W	24,98 _{-0,7}	
Модуль		m	6																																
Число зубців		z	10																																
Вихідний контур			ГОСТ 13755-81																																
Коефіцієнт зміщення вихідного контура		x	+0.355																																
Граничні відхилення вимірювальної міжцентрової відстані	верхнє нижнє	E_{as}'' E_{ai}''	+0.02 -0.17																																
Допуск на коливання вимірювальної міжцентрової відстані	за оборот колеса на одному зубі	F_i' f_i'	0.065 0.04																																
Допуск на похибку напрямку зубця		F_p	0.02																																
Довжина загальної нормалі		W	24,98 _{-0,7}																																

1	2	3	4
035 Шліцефрезерна	Шліцефрезерний напівавтомат 5350A	Перехід 1  Перехід 2  Шорсткість $Ra\ 3,2$ забезпечується режимом різання та заточкою інструмента Розміри 1 4 5 6 забезпечуються інструментом *Розміри для довідок 	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати шліці 16, втримуючи розміри згідно таблиці. 3. Відкріпити та зняти деталь. 4. Зачистити заусенці в канавці. 5. Перевірити розміри деталі згідно таблиці. 6. Покласти деталь в тару.

Продовження таблиці 4.7

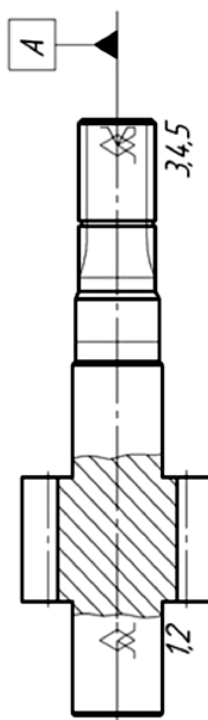
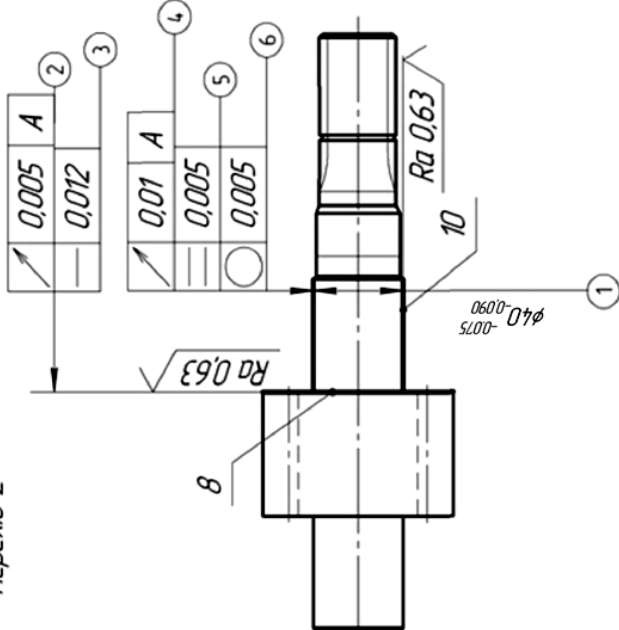
1	2	3	4																											
		<table><tr><td>Число зубців</td><td>z</td><td>6</td></tr><tr><td>Тип шліця</td><td></td><td>прямобічний</td></tr><tr><td>Довжина шліців з повною глибиною</td><td>l</td><td>6</td></tr><tr><td>Загальна довжини шліців</td><td>L</td><td>57.5max</td></tr><tr><td>Діаметр западин</td><td>D_s</td><td>26_{-0.7}</td></tr><tr><td>Середній діаметр</td><td>D</td><td>28</td></tr><tr><td>Ширина шліця</td><td>S</td><td>7^{+0.035}_{-0.200}</td></tr><tr><td>Діаметр фрези</td><td>Д</td><td>90</td></tr><tr><td>Величина фаски</td><td>c</td><td>0.3^{+0.2} x45°</td></tr></table>	Число зубців	z	6	Тип шліця		прямобічний	Довжина шліців з повною глибиною	l	6	Загальна довжини шліців	L	57.5max	Діаметр западин	D _s	26 _{-0.7}	Середній діаметр	D	28	Ширина шліця	S	7 ^{+0.035} _{-0.200}	Діаметр фрези	Д	90	Величина фаски	c	0.3 ^{+0.2} x45°	
Число зубців	z	6																												
Тип шліця		прямобічний																												
Довжина шліців з повною глибиною	l	6																												
Загальна довжини шліців	L	57.5max																												
Діаметр западин	D _s	26 _{-0.7}																												
Середній діаметр	D	28																												
Ширина шліця	S	7 ^{+0.035} _{-0.200}																												
Діаметр фрези	Д	90																												
Величина фаски	c	0.3 ^{+0.2} x45°																												

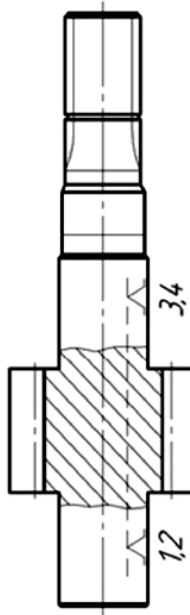
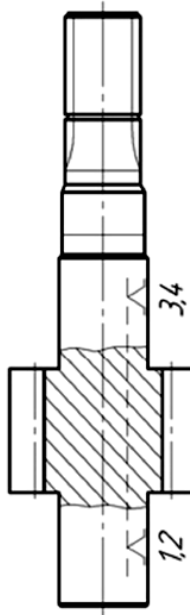
1	2	3	4
085 Круглошліфувальна з ЧПК	Кругло- шліфувальний напівавтомат з ЧПК 3М152МФ2	<i>Перехід 1</i>  <i>Перехід 2</i> 	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати поверхні 14, 12, 6 последовно, витримуючи розміри ① ② ③ та вимогу ④ 3. Відкріпити та зняти деталь. 4. Перевірити розміри ① ② ③ та вимогу ④ 6. Покласти деталь в тару.

Продовження таблиці 4.7

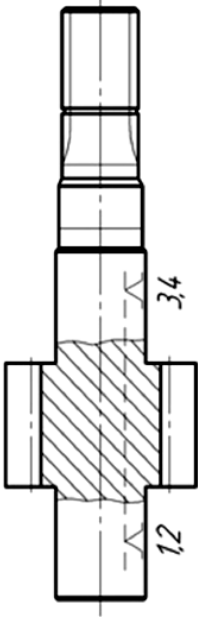
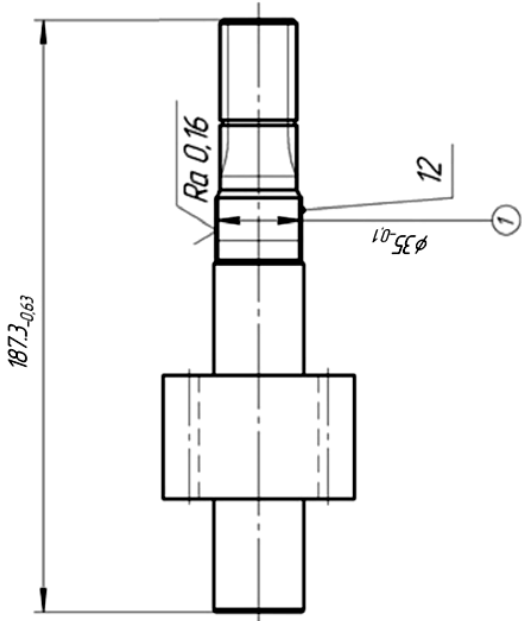
1	2	3	4
090 Торцекругло-шліфувальна	Торцекругло-шліфувальний автомат ЗБ153	Перехід 1	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати поверхні 3, 4 одночасно, витримуючи розміри 1 та 2 та вимоги 3, 4, 5, 6, 7 3. Відкріпити та зняти деталь. 4. Перевірити розміри 1, 2 та вимоги 3, 4, 5, 6, 7 5. Покласти деталь в тару.
		Перехід 2	Допуск 4 тільки в сторону вогнутості. 0,005 A 0,012 — 0,01 A 0,005 — 0,005 ○

Продовження таблиці 4.7

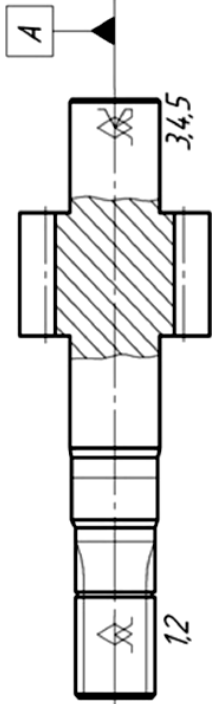
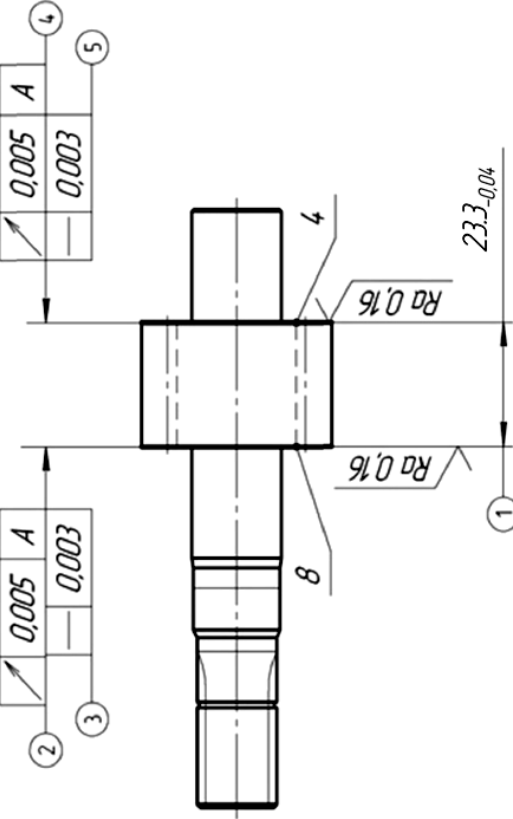
1	2	3	4
095 Торцекругло-шліфувальна	Торцекругло-шліфувальний автомат 3Б153	<i>Перехід 1</i>  <i>Перехід 2</i>  Допуск ③ тільки в сторону вогнутості.	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати поверхні 8, 10 одночасно, витримуючи розмір ① та вимоги ② ③ ④ ⑤ ⑥ 3. Відкріпити та зняти деталь. 4. Перевірити розмір ① та вимоги ② ③ ④ ⑤ ⑥ 5. Покласти деталь в тару.

1 115 Суперфінішна	2 Суперфінішний автомат 3879	3 Перехід 1 	4 1. Встановити деталь. 2. Суперфінішувати поверхні 3, 10 до шорсткості $R_a 0,16$, витримуючи розмір ① ② 3. Зняти деталь. 4. Перевірити розміри ① ② та шорсткість поверхні. 5. Покласти деталь в тару.
		Перехід 2 	

Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4
115 Суперфінішна	Суперфінішний автомат 3879	Перехід 1  Перехід 2 	1. Встановити деталь. 2. Суперфінішувати поверхню 12 до шорсткості Ra 0,16 ,втримуючи розмір ① 3. Зняти деталь. 4. Перевірити розмір ① та шорсткість поверхні. 5. Покласти деталь в тару.
*Розміри для довідок			

Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4
120 Доводочна	Доводочний автомат 020-011	Перехід 1 	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Доводити торці 4, 8 до шорсткості $R_a 0,16$ одночасно, витримуючи розмір ① та вимоги ② ③ ④ ⑤ 3. Відкрити та зняти деталь. 4. Перевірити розмір ① вимоги ② ③ ④ ⑤ та шорсткість поверхонь. 5. Покласти деталь в тару.
		Перехід 2  Допуски ③ ⑤ тільки в сторону вогнутості.	

Металорізальне обладнання для обробки деталі шестерня

№ опер.	Найменування та модель верстата	Коротка технічна характеристика				
		Діапазон частот обертання шпинделя, об/хв..	Діапазон подач, мм/в..	Сумарна потужність електродвигуна, кВт	Габаритні розміри верстата, мм	Максимальний розмір оброблюємої деталі, мм
010	Токарний з ЧПК НААС-SL20	20-2500	3-1200	11	3700x3000x2145	320
015	Зубофрезерний напівавтомат 53A80H	40-405	0,75-7,5	12,5	2897x1810x2250	800
020	Зубодовбальний напівавтомат 5122KH24	200-850	0,16-1,6	3	2000x1425x1965	200
025	Зубошевінгувальний напівавтомат ABC-02B	53-500	18-300	3	1820x1500x2120	320
030	Шліцефрезерний напівавтомат 5350A	80-250	0,63-5	7,5	2335x1550	150
035	Круглошліфувальний з ЧПК 3M152MФ2	1590	0,05-5	10	4975x2337x2170	200
040	Круглошліфувальний 3Б153	1125 ^{*3} 63-400	0,01-0,03	5,5	2650x1600x1650	220
045	Безцентровосуперфінішний напівавтомат 3Д879БН27	20-200	0,15-1,56	3,5	2600x1690x1800	80
050	Верстат для алмазної доводки шестерен 020-011	2400 ^{*4} 350 ^{*3}	0,075-0,1	4,6	3000x1500x1380	-

4.7. Вибір затискних пристроїв

Тип та конструктивні особливості затискних пристроїв для виконання кожної технологічної операції визначаємо з урахуванням обраної теоретичної схеми базування деталі та типу виробництва. Відомості про обрані затискні пристрої заносимо до таблиці 4.9.

Затискні пристрої для обробки деталі шестерня

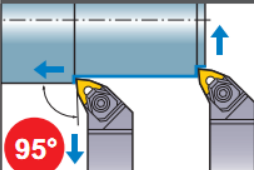
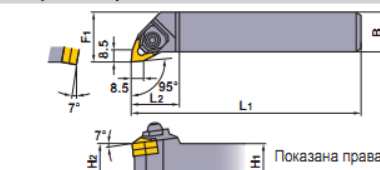
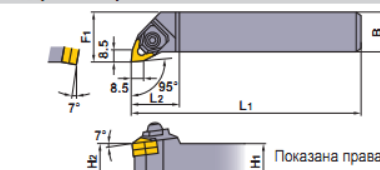
Номер операції	Найменування пристрою	Стандарт (код)	Вид приводу
005	1. Патрон 2. Кулачки закалені 3. Кулачки сирі 4. Патрон цанговий 5. Цанга	KFD-HE 210 ROHM 538-45 ROHM 538-04 ЕЧ-30хЕР25 2-16 DIN6499 DIN6499 FORM B 430 E-13	Електромеханічний
010	1. Пристосування установочне. 2. Центр нижній. 3. Центр верхній.	7533-6007 7533-6007-07 7533-6007-08	Гідравлічний
015	1.Бабка права 2.Бабка ліва 3.Центр 4.Центр	7030-4081 7030-4080 7562-4050-01 7562-4050-09	Гідравлічний
020	1. Конус морзе 4 ПТ Центр (2)	7032-0030 ГОСТ 13214-79	Гідравлічний
025	1. Центр передній. 2. Центр задній.	7032-4075 7032-4009	Гідравлічний
030	1. Центр передній. 2. Центр задній.	7032-4075 7032-4009	Гідравлічний
035	1.Валок ведучий 2.Валок ведений	7662-4170-02 7662-4171-02	Механічний
040	1.Центр	7162-0028	Механічний

4.8. Вибір різальних інструментів

Враховуючи метод і стадію обробки, тип виробництва, фізико-хімічні характеристики матеріалів заготовок та інструменту, його міцність і стійкість, а також характер обробки обирають необхідний для кожного переходу різальний інструмент.

Для обробки на верстатах з ЧПК обираємо імпортований новітній інструмент Mitsubishi (Японія), який дасть змогу обробити деталі при більш високих режимах різання, тим самим зменшивши основний час. Також він дасть змогу обробити деталь шестерня ведуча по контуру на токарному верстаті з ЧПК. Його зображення та геометричні параметри приведені нижче.

Різець для зовнішньої контурної обробки.

MWLN		Наружное точение, Подрезка торца		WP Тип		Финишная		Чистовая		Получистовая		Получистовая																			
						 (08)		 (08)		 (08)		 (08)																			
						Получистовая Стандарт		Получистовая Черновая		Нержавеющая сталь		CBN																			
						 (08)		 (08)		 (08)		 (08)																			
Обозначение		Направление		Обозначение пластины							Размеры (мм)																				
		R	L								H1	B	L1	L2	H2	F1	Опорная пластина		Шлифовальная пластина		Шлифовальная пластина		Прихват		Крепежный винт		Пружина		Ключ		
MWLNR/L2020K08		●	●	WNMA WNMG	0804	20	20	125	32	20	25	WPSWN43	CCP34	CPT24	CCK13	SLCS105	MES2	HKY40R													
2525M08		●	●		0804	25	25	150	32	25	32	WPSWN43	CCP34	CPT24	CCK13	SLCS105	MES2	HKY40R													
3225P08		●	●		0804	32	25	170	32	32	32	WPSWN43	CCP34	CPT24	CCK13	SLCS105	MES2	HKY40R													

Різець для зовнішньої обробки канавок.

DDJN		Наружное точение, Копирование		Тип С ДВОЙНЫМ ПРИЖИМОМ		Финишная		Чистовая		Получистовая		Получистовая	
						(15)		(11,15)		(15)		(15)	
						Получистовая - Черновая		Нержавеющая сталь		Класс G		CBN	
						(15)		(11,15)		(15)		(15)	

*1 Момент затяжки (N·м): DC0520T=3.5, DC0621T=5.0

*2 Пожалуйста, используйте опорную пластину LLSDN42 с пластинами шириной 6.35 мм. При использовании пластин шириной 6.35 мм, опорные пластины следует заказывать отдельно.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ

Обрабатываемый материал	Режим резания	Стружколом	Покрывтие	Скорость резания (м/мин)	Обрабатываемый материал	Режим резания	Стружколом	Покрывтие	Скорость резания (м/мин)
P Малоуглеродистая сталь (≤180HB)	Финишная	FY	NX3035	260—370	M Нержавеющая сталь (≤200HB)	Финишная	FH	US735	105—200
	Чистовая	SY	NX3035	235—335		Чистовая	SH	US735	95—185
	Получистовая	MS	UE6110	260—440		Получистовая	MS	US735	85—165
Углеродистая сталь Легированная сталь (180HB—280HB)	Финишная	FH	NX3035	200—280	K Чугун (≤350МПа)	Чистовая	MA	UC5115	160—295
	Чистовая	SH	UE6110	210—355		Получистовая	Стандарт	UC5115	160—295
	Получистовая	MP	UE6110	190—325		Черновая	Плоский верх	UC5115	155—280

(Примечание) Изображения пластин, буквы обозначают вид стружколома, цифры обозначают размеры пластин.

Таблиця 4.10

Різальний інструмент для обробки деталі

Номер		Найменування ін-ту	Стандарт (код) на конструкцію ін-ту	Стандарт (код) на державку	Стандарт (код) на різьну пластину	Різальна частина	
Операції	Переходу					Матеріал	Стандарт
1	2	3	4	5	6	7	8
005	2	Різець	ISO 9001	DWLNL2020K08	WNMG080408-GN	UE6020	-
	3	Різець	ISO 9001	DCLNL2020K12	CNMG120408-SW	UE6110	-
	4	Різець	ISO 9001	PDJNL2020K16	VNMG160401-FJ	VP10RT	-
	5	Різець	ISO 9001	PVJNL2020K16	VNMG160404-MH	UE6110	-
	6	Свердло центровочне	ГОСТ 14952-72	-	-	P6M5K5	ГОСТ 19265-73
	8	Різець	ISO 9001	DWLNL2020K08	WNMG080408-GN	UE6020	-
	9	Різець	ISO 9001	DCLNL2020K12	CNMG120408-SW	UE6110	-
	10	Різець	ISO 9001	PVJNL2020K16	VNMG160404-MH	UE6110	-
	11	Різець	ISO 9001	PDJNL2020K16	VNMG160401-FJ	VP10RT	-
	12	Різець	ISO 9001	PVJNL2020K16	VNMG160404-MH	UE6110	-
	13	Свердло центровочне	ГОСТ 14952-72	-	-	P6M5K5	ГОСТ 19265-73
010	2	Фреза спеціальна червячна Кл.А М=4	РН-72438	-	-	P6M5K5	ГОСТ 19265-73
015	2	Шевер дисковий М=4	ГОСТ 8570-80	-	-	P6M5K5	ГОСТ 19265-73
020	2	Шліцева фреза	2520-4005	-	-	P6M5K5	ГОСТ 19265-73
025	2	Шліфувальний круг ПП600х40х305	ГОСТ 2424-83	-	-	14А 25П 7к6	ГОСТ 9206-80
030, 035	2	Шліфувальний круг ПП600х50х305	ГОСТ 2424-83	-	-	14А 16П 6к7	ГОСТ 9206-80

040	2	Блок-брусок алмазний АББС 125x80x5x16	ТУ2-037-397-93	6380-4026	-	АСМ 20/14 КЗ-02-1-К	ГОСТ 9206-80
045	2	Круг алмазний АЧК 200x32x50x5x3	ТУ2-037-233-78	-	-	АСН 60/40 В301	ГОСТ 9206-80

4.9. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Засоби технічного контролю технологічних операцій обирають з урахуванням точності вимірювання, розміру та якості вимірювальної поверхні та типу виробництва. Засоби технічного контролю для деталі шестерня ведуча приведені відповідно в таблиці 4.11.

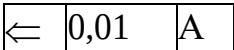
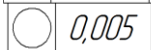
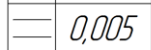
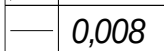
Для контролю циліндричних поверхонь використовуються переважно калібр-скоби та калібр-пробки, а для найбільш точних поверхонь – важільні скоби з контрольними зразками. Лінійні розміри вимірюються за допомогою калібрів. Для контролю технічних вимог використовуються спеціальні пристосування оснащені індикаторами різних типів. Для контролю шорсткості поверхонь використовується профілометр системи “М”.

Табл.4.11

Вимірювальний інструмент

Номер		Контролюємий параметр	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт (код)
Операції	Переходу			
1	2	3	4	5
005	2	121,5±0,2	Штангелциркуль ШЦ-II-125-0,05	ГОСТ 166-89
	3;4	10,6±0,15	Штангелциркуль ШЦ-II-125-0,05	ГОСТ 166-89
		11,2 _{-0,2}	Пристосування для контролю	8514-4032

	5;6	$1,5 \times 45^\circ$ $41^{+2,0}$ $40,7_{-0,7}$ $\varnothing 43_{-0,5}$ $\varnothing 79_{-0,5}$ ← 0,05 A	Калібр $1,5 \times 45^\circ$ Штангелциркуль ШЦ-I-125-0,1 ИЧ10 кл.2 Індикатор ПБМ-500 Центра контрольні	8371-4001-11 ГОСТ 166-89 ГОСТ 577-68 ТУ2-034-450-75
	7;9	$\varnothing 40,6_{-0,05}$ $\varnothing 77,8_{-0,4}$ ← 0,07 A	8113-0104 Скоба 8113-0106 Скоба	СТП 23.113.01.078-78 СТП 23.113.01.078-78
			ИЧ10 кл.2 Індикатор ПБМ-500 Центра контрольні	ГОСТ 577-68 ТУ2-034-450-75
	8;10	$78,3 \pm 0,2$ $39,85_{-0,52}$	0,02-100 кл.точн.2 Щуп Штангелциркуль ШЦ-II-250-0,05	ТУ2-034-025-87 ГОСТ 166-89
010	-	$\varnothing 49,4_{-0,39}$	Калібр для заміру діаметра впадин зуб'їв 1МИГ Індикатор Пристосування для контроля допуску направлення зуба Контрольний зразок для наладки пристосування 8532-4054 БВ-5045-В нормаломер Колесо мірильне М=6 ступінь точності 5 МЦ-400Б Міжцентромір Оправка під мірильне колесо Кінцеві міри довжини №1	8113-6008 ГОСТ 9696-82 8532-4054 8532-4054-0 ТУ2-034-230-88 ГОСТ 6512-74 ГОСТ 5368-81 8431-6041 ГОСТ 9038-90
015	-	М=6	МЦ-400Б Міжцентромір 1МИГ Індикатор Колесо мірильне М=6 ступінь точності 5 Пристосування для контроля допуску направлення зуба	ГОСТ 5368-81 ГОСТ 9696-82 ГОСТ 6512-74 8532-4054 8031-6001 8431-4059

			Плита установча Контрольний зразок для наладки міжцентроміра БВ-5045-В нормаломер	ТУ2-034-230-88
020	-	$\varnothing 77_{-0,03}$ 	ПБМ-500 Центра котрольні 2МИГ Індикатор Скоба індикаторна Калібр-скоба $\varnothing 77_{(-0,03;-0,06)}$ 8113-0106 Профілометр системи (М)	ТУ2-034-450-75 ГОСТ9696-82 8515-4056 СТП23.113.01.086-78 ГОСТ 19300-86
025;030	-	$\varnothing 40_{-0,08}$   	1МИГ Індикатор Пробка активного контроля Б1.01.000 Індикатор перетворювач Б1.02.000 Рахунково-командний пристрій БВ-6134	ГОСТ9696-82 - - - ГОСТ 11098-75 8530-4275-07
			Скоба важільна СР50 Контрольний зразок для наладки скоби важільної	ГОСТ 19300-86
035;040	-	  $36_{-0,04}$	Індикатор 1МИГ Пристосування для контролю допуску прямолінійності Контрольний приклад для пристосування 8533-4029 Центра контрольні ПБ-500 Профілометр системи «М» Скоба ричажна СР50 Скоба ричажна СР25 Міри довжини кінцеві плоскопаралельні №1	ГОСТ 9696-82 8533-4029-00-00-02 8533-4029-00-02-02 ТУ2-034-450-75 ГОСТ 19300-86 ГОСТ 11098-75 ГОСТ 11098-75 ГОСТ 9038-90

4.10. Визначення припусків та операційних розмірів деталей.

Аналітичне визначення припусків здійснюємо для поверхні 2 – цапфа деталі шестерня. Для неї будуємо схему розміщення припусків та міжопераційних розмірів. На решту поверхонь деталей припуски визначаємо за довідковими таблицями.

Для розрахунку використовуємо методику В.М. Кована. Маршрут обробки поверхні:

1. Точіння чорнове;
2. Точіння чистове;
3. Шліфування;

Сумарне значення просторових відхилень для заготовки даного типу знаходиться за формулою:

$$\rho_z = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{см}^2}$$

Короблення заготовки треба розглядати в осьовому перерізі:

$$\rho_{кор} = \Delta_k l = 1,5 \times 42 = 63 \text{ мкм},$$

де Δ_k - питома кривизна; l – виліт деталі;

Сумарне зміщення відхилення у відливці відносно осі під впливом обробки:

$$\rho_{см} = 350 \text{ мкм},$$

де $\Delta_k d$ - діаметр обробки;

$$\rho_z = \sqrt{350^2 + 63^2} = 351,6 \text{ мкм};$$

Похибка на кожен перехід:

$$\rho_{z_чорнове_точіння} = 351,6 (\text{мкм});$$

$$\rho_{z_чистове_точіння} = 0,06 \times 351,6 = 21,1 (\text{мкм});$$

$$\rho_{z_шліфування} = 0,04 \times 351,1 = 14,04 (\text{мкм});$$

$$\rho_{z_шліфування_чист.} = 0,02 \times 351,1 = 7 (\text{мкм}).$$

Мінімальний припуск при послідовній обробці поверхні визначаємо за формулою:

$$2zi_{\min} = 2 \left(R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \epsilon_i^2} \right);$$

де Rz_{i-1} - висота нерівностей профілю на попередньому переході; T_i - глибина дефектного шару на попередньому переході; ρ_{i-1} - сумарне відхилення розміщення поверхні (відхилення від паралельності, перпендикулярності, точності, симетричності, перетину осей) в деяких випадках відхилення форми на попередньому переході; ε_i - похибка установки деталі (приймаємо рівну нулю, тому, що обробка виконується за одну установку і реалізується принцип суміщення баз).

$$2zi_{\min_чорнове_точіння} = 2(600 + 351,1) = 1902,2(\text{мкм}) = 1,902(\text{мм});$$

$$2zi_{\min_чистове_точіння} = 2(80 + 390 + 21,1) = 982,2(\text{мкм}) = 0,982(\text{мм});$$

$$2zi_{\min_шліфування} = 2(40 + 100 + 14,04) = 308,8(\text{мкм}) = 0,309(\text{мм});$$

$$2zi_{\min_шліфування} = 2(20 + 25 + 7) = 104(\text{мкм}) = 0,104(\text{мм})$$

Розрахунковий розмір $d_{\min}$ визначається починаючи з кінцевого розміру шляхом послідовного додавання розрахункового мінімального припуску до кожного технологічного переходу:

$$d_{\min_шліфування_чистове} = 40 - 0,090 = 39,91(\text{мм});$$

$$d_{\min_шліфування_чорнове} = 39,91 + 0,104 = 40,014(\text{мм});$$

$$d_{\min_чистове_точіння} = 40,014 + 0,309 = 40,323(\text{мм});$$

$$d_{\min_чорнове_точіння} = 40,323 + 0,982 = 41,305(\text{мм})$$

Розрахунковий розмір $d_{\max}$ визначаємо шляхом додавання розрахункового припуску $d_{\min}$ і допуску на розмір по кожному переходу:

$$d_{\max_шліфування} = 40 - 0,075 = 39,925(\text{мм});$$

$$d_{\max_чорнове_шліфування} = 39,925 + 0,104 + 0,033 = 40,062(\text{мм});$$

$$d_{\max_чистове_точіння} = 40,062 + 0,309 + 0,16 = 40,531(\text{мм});$$

$$d_{\max_чорнове_точіння} = 40,531 + 0,982 + 0,33 = 41,843(\text{мм}).$$

$$2z_{\max i} = 2z_{\min i} + \delta_{\text{заготовки}_i} - \delta_{\text{деталі}_i}$$

Результати розрахунків приведені в таблиці 4.12.

Схема графічного розташування припусків представлена на рис. 4.2.

Таблиця 4.12

Припуски та граничні розміри на обробку поверхні $\varnothing 40_{-0,090}^{-0,075}$ ведучої шестерні

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм			Розрахований припуск $2z_{\min}$, мкм	Розрахований розмір d_p , мм	Допуск δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	T	ρ				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2z_{\min}^{np}$	$2z_{\max}^{np}$
Заготовка	600	600	-	-	-	1,5	43	44,5	-	-
Точіння чорнове	80	80	351,6	1902	41,394	0,33	41,305	41,843	1902	2157
Точіння чистове	40	40	21,1	982,2	40,412	0,16	40,323	40,531	982	1312
Шліфування чорнове	20	30	14,04	308,8	40,104	0,033	40,014	40,062	309	469
Шліфування чистове	10	15	7	104	40	0,015	39,91	39,925	104	122

Таблиця 4.13

Припуски на обробку деталі шестерня ведуча

№ поверхні	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск $Z_{\min}$ (мм)	Технологічний допуск, мм
1,11	Торець	Точіння чорнове	1,5	0,33
2,9	Зовнішня циліндрична поверхня	Точіння чорнове	3,72	0,33
		Точіння чистове	0,38	0,084
		Шліфування чорнове	0,24	0,033
		Шліфування чистове	0,12	0,021
		Суперфінішування	0,046	0,006
3,8	Канавки	Точіння чорнове	0,15	0,21
4,7	Торець зубчастого вінця	Точіння чорнове	1,5	0,54
		Точіння чистове	0,7	0,12
		Шліфування чорнове	0,17	0,074
		Шліфування чистове	0,07	0,03
		Доведення	0,005	0,013
5	Зубчаста евольвентна поверхня	Фрезерування чорнове	1,65	0,3
		Фрезерування чистове	0,71	0,074
		Зубошевінгування	0,12	0,03
6	Зовнішня поверхня зубчастого вінця	Точіння чорнове	1	0,54
		Точіння чистове	0,5	0,074
		Шліфування	0,49	0,03
10	Канавка	Точіння чорнове	1	0,21

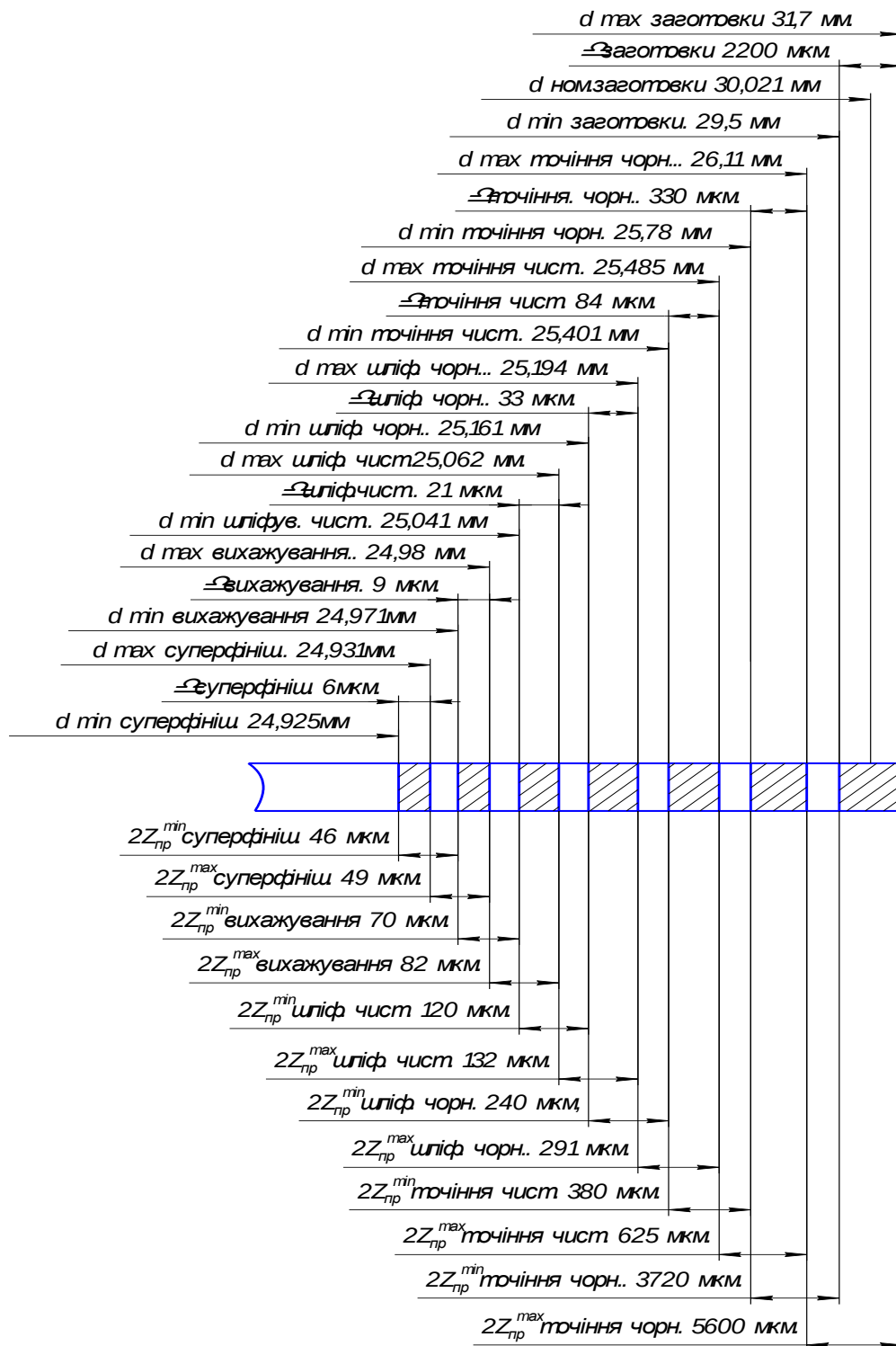


Рис.4.2. Схема графічного розташування припусків

4.11. Визначення режимів різання.

Розрахунок режимів різання здійснюємо для технологічної операції 005 механічної обробки деталі шестерня ведуча. Деталь оброблюється на токарному верстаті з HAAS-SL20. Розрахунок проводимо за методикою [5] стор. 265.

Перехід 2.

Подачу $S_{от}$ вибираємо по карті 3 $S_{от} = 0,83$ мм/об., та поправочні коефіцієнти на подачу по карті 5, для змінених умов обробки, в залежності від:

- інструментального матеріалу $K_{SM}=1$.
- способу кріплення пластини $K_{Sp}=1$.
- міцності ріжучої пластини $K_{Sg}=1$.
- міцності ріжучої частини $K_{Sh}=1$.
- схеми установки заготовки $K_{sy}=0,8$.
- стану поверхні заготовки $K_{Sn}=0,85$.
- геометричних параметрів різця $K_{Sφ}=1$.
- жорсткості верстата $K_{Sj}=0,7$.
- механічних властивостей оброблюваного матеріалу $K_{Sh}=1$.

Кінцеву подачу визначаємо за формулою:

$$S_o = S_{от} \cdot K_{SM} \cdot K_{Sp} \cdot K_{Sg} \cdot K_{Sh} \cdot K_{sy} \cdot K_{Sn} \cdot K_{Sφ} \cdot K_{Sj} \cdot K_{Sh}.$$

$$S_o = 0,83 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 = 0,395 \text{ мм/об.}$$

Рекомендуємо значення швидкості V_T та поправочні коефіцієнти визначаємо по карті 21:

$$V_T = 375 \text{ м/хв.}$$

В залежності від:

інструментального матеріалу $K_{VM}=0,8$

групи обробляємості матеріалу $K_{VC}=1$

виду обробки $K_{VO}=1$

жорсткості верстату $K_{VJ}=0,7$

механічних властивостей оброблюваного матеріалу $K_{VH}=1$

геометричних параметрів різця $K_{Vφ}=1$

періода стійкості ріжучої частини $K_{VT}=1$

наявності охолодження $K_{VЖ}=0,75$

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання визначаємо за формулою:

$$K_V = K_{VM} \cdot K_{VC} \cdot K_{VO} \cdot K_{VJ} \cdot K_{VT} \cdot K_{VЖ} \cdot K_{VN} \cdot K_{V\phi}.$$

$$K_V = 0.8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.7 \cdot 1 \cdot 0.75 \cdot 1 \cdot 1 = 0.525.$$

Кінцеву швидкість різання визначаємо за формулою:

$$V = V_T \cdot K_V.$$

$$V = 375 \cdot 0.525 = 197 \text{ м/хв.}$$

Частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

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

$$n = \frac{1000 \cdot 197}{3.14 \cdot 28} = 2240 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо частоту обертання $n_\phi = 2250 \text{ об/хв.}$

Тоді фактичну швидкість різання визначаємо за формулою:

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n_\phi}{1000}.$$

$$V_\phi = \frac{3.14 \cdot 28 \cdot 2250}{1000} = 198 \text{ м/хв.}$$

Основний час визначаємо за формулою:

$$T_o = \sum \frac{L_i}{S_{Mi}};$$

L_i - довжина шляху, що проходить інструмент чи деталь в напрямку подачі при обробці i -ої технологічної ділянки (з урахуванням врізання і перебігу).

S_{Mi} - хвилинна подача на даній технологічній ділянці, мм/хв.

$$S_{Mi} = S_o \cdot n;$$

$$T_o = \frac{115}{0.395 \cdot 2250} = 0.13 \text{ хв.};$$

Перехід 4:

$$S_{от} = 0.09 \text{ мм/об.}$$

$$K_{SM} = 0.9.$$

$$K_{Sp} = 1.$$

$$K_{Sg} = 1.$$

$$K_{Sh} = 1.$$

$$K_{sy} = 1.$$

$$K_{Sn}=1$$

$$K_{S\phi}=1.$$

$$K_{Sj}=1.$$

$$K_{Sh}=1.$$

$$S_o=0,09 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1=0,08 \text{ мм/об.}$$

Рекомендуємо значення швидкості $V_T=168 \text{ м/хв.}$

Поправочні коефіцієнти для розрахунку швидкості різання:

$$K_{VM}=1,1$$

$$K_{Vp}=1,2$$

$$K_{VC}=1$$

$$K_{VO}=1$$

$$K_{VJ}=0,7$$

$$K_{VH}=1$$

$$K_{V\phi}=1$$

$$K_{VT}=1$$

$$K_{VЖ}=0,75$$

$$K_V=1,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75=0,693.$$

Кінцеву швидкість різання визначаємо за формулою:

$$V=V_T \cdot K_V.$$

$$V=168 \cdot 0,693=116 \text{ м/хв.}$$

Частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

$$n=\frac{1000 \cdot 116}{3,14 \cdot 25}=1477 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо частоту обертання $n_{\phi}=1500 \text{ об/хв.}$

Тоді фактична швидкість різання складає:

$$V_{\phi}=\frac{3,14 \cdot 25 \cdot 1500}{1000}=118 \text{ м/хв.}$$

Основний час:

$$T_o=\frac{5}{0,08 \cdot 1500}=0,04 \text{ хв.};$$

Перехід 6:

Подачу $S_{от}$, швидкість V_T вибираємо по карті 46 $S_{от}=0,15$ мм/об., $V_T=26,5$ м/хв та поправочні коефіцієнти по карті 53, для змінених умов обробки, в залежності від:

- інструментального матеріалу $K_{SM}=0,95$.

$$S_o = S_{от} \cdot K_{SM};$$

$$S_o = 0,15 \cdot 0,95 = 0,142 \text{ мм/об};$$

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання визначаємо за формулою:

$$K_V = K_{VM} \cdot K_{V3} \cdot K_{Vж} \cdot K_{VT} \cdot K_{Vп} \cdot K_{Vн} \cdot K_{Vl} \cdot K_{Vw}.$$

$$K_{VM}=0,95;$$

$$K_{V3}=1;$$

$$K_{Vж}=0,8;$$

$$K_{VT}=1;$$

$$K_{Vп}=1;$$

$$K_{Vн}=2,2;$$

$$K_{Vl}=1;$$

$$K_{Vw}=0,8;$$

$$K_V = 0,95 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,2 \cdot 1 \cdot 0,8 = 1,34.$$

Кінцеву швидкість різання визначаємо за формулою:

$$V = V_T \cdot K_V.$$

$$V = 26,5 \cdot 1,34 = 35,5 \text{ м/хв}.$$

Частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

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

$$n = \frac{1000 \cdot 35,5}{3,14 \cdot 5} = 2260 \text{ об/хв}.$$

Приймаємо частоту обертання $n_{\phi}=2260$ об/хв.

Основний час для свердління розраховується за формулою:

$$T_o = \frac{L_{px}}{S_m};$$

$L_{p.x}$ - довжина робочого ходу інструмента

S_m - хвилинна подача, мм/хв.

$$T_o = \frac{16}{0,142 \cdot 2260} = 0,05 \text{ хв.};$$

На наступні переходи розрахунок проводимо аналогічно: по тим же формулам, та заносимо до таблиці. На решту операцій елементи режимів різання визначаються за нормативними документами.

Таблиця 4.14

Режими різання

Номер		t, мм	S, мм/об (мм/95в.)	v, м/хв	n, об/хв	t _о , хв
операції	переходу					
005	2	2	0,395	197	2250	0,13
	3	1	0,15	200	2275	0,083
	4	1	0,08	118	1500	0,04
	5	1	0,15	250	3183	0,02
	6	2,5	0,142	35,5	2260	0,05
	8	2	0,2	200	1158	0,172
	9	1	0,15	200	2275	0,086
	10	1	0,25	250	2420	0,05
	11	1	0,08	118	1500	0,04
	12	1	0,15	250	3183	0,02
	13	2,5	0,142	35,5	2260	0,05
010	2	2,36	2,65	190	60	1,685
015	2	0,12	23	20	50	2,378
020	2	0,4	1,2	34	200	1,055
025	2	0,25	0,006	16/50	180	0,488
030	2	0,25	0,006	16/50	180	0,584
035	2	0,005	0,0015	70	300	0,414
040	2	0,005	0,0015	70	300	0,414

4.12. Технічне нормування операцій

На технологічну операцію 005 механічної обробки деталі шестерня ведуча методику розрахунку норм часу викладаємо детально. Розрахунок проводимо за методикою [5]. На решту технологічних операцій приводимо тільки результати нормування, проведеного з використанням нормативних документів. Результати вибору та розрахунків приводимо в таблицях 4.15.

Операція 005 виконується на токарному верстаті з ЧПК.

Норму штучного часу визначаємо за формулою:

$$T_{шт} = (T_{ц.а.} + T_{в.} \cdot K_{ТВ}) \cdot \left(1 + \frac{\alpha_{тех} + \alpha_{орг} + \alpha_{отд}}{100}\right).$$

$T_{ц.а.}$ - час автоматичної роботи верстата по програмі;

T_B - допоміжний час;

K_{TB} - поправочний коефіцієнт на час виконання допоміжної ручної роботи в залежності від партії оброблюваних деталей (карта 1);

$$K_{TB}=0,76.$$

$\alpha_{\text{тех}}, \alpha_{\text{орг}}, \alpha_{\text{отд}}$ - час на технічне та організаційне обслуговування і на відпочинок у відсотках від оперативного часу (карта 16).

$$\alpha_{\text{тех}} + \alpha_{\text{орг}} + \alpha_{\text{отд}} = 7\%$$

$$T_{\text{ц.а}} = T_o + T_{\text{мв}};$$

T_o – основний час на обробку однієї деталі, хв.

$$T_o = 0,741 \text{ хв.}$$

$T_{\text{мв}}$ – машинно-допоміжний час по програмі, хв.

$$T_{\text{мв}} = \frac{\sum L}{V},$$

Де $\sum L$ - сумарна довжина шляху прискореного руху інструменту за операцію.

$$\sum L = 4,4 \text{ м.}$$

V – швидкість прискореного руху інструменту.

$$V = 30 \text{ м/хв.}$$

$$T_{\text{мв}} = \frac{4}{30} = 0,133 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{ц.а}} = 0,741 + 0,133 = 0,874 \text{ хв.}$$

Розрахунок допоміжного часу:

$$t_{\text{д.н}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{д.н}} + t_{\text{д.н}} \quad (26)$$

$$t_{\text{д.н}} = 0,13 + 0,03 + 0,11 = 0,27 \text{ хв.}$$

де: $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі вручну чи підйомником, хв.;

$$t_{\text{вст}} = 0,13 \text{ хв.}$$

$t_{\text{в.оп}}$ – допоміжний час, пов'язаний з операцією, що не ввійшов в керуючу програму, хв. ;

$$t_{\text{в.оп}} = 0,03 \text{ хв.}$$

$t_{\text{вим}}$ – час на контрольні виміри, хв.

$$t_{\text{вим}} = 0,11 \text{ хв.}$$

Розрахунок штучного часу:

$$T_{\text{шт}} = (0,874 + 0,27 \cdot 0,76) \cdot \left(1 + \frac{7}{100}\right) = 1,15 \text{ хв.}$$

Розрахунок штучно-калькуляційного часу:

$$t_{\text{шт.к}} = T_{\text{шт.}} + \frac{T_{\text{п.з.}}}{n};$$

де n – кількість деталей в партії.

Для шестерні n=464 шт.

Таблиця 4.15

Результати технічного нормування операцій

№ 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	0,741	0,27	0,06			1,15	4	1,159
010	1,685	0,19	0,08			2,305	26	2,361
015	2,378	0,13	0,105			2,608	18	2,647
020	0,488	0,7	0,107			1,295	10	1,317
025	0,488	0,7	0,107			1,295	10	1,317
030	0,635	0,055	0,035			0,724	13	0,752
035	0,414	0,23	0,041			0,685	10	0,707
040	0,414	0,23	0,041			0,685	10	0,707

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження

Середній коефіцієнт завантаження робочих місць, зайнятих у виготовленні деталі «шестерня ведуча НШ63Г-4-00-05-04», розраховуємо у такій послідовності. Потрібну кількість робочих місць на операціях проектного технологічного процесу визначаємо за формулою:

$$q_{p(i)} = \frac{N_z \cdot t_{um(i)}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot k_e}, \quad (5.1)$$

де $t_{um(i)}$ - штучний час i -ої операції, хв.;

$F_{дрм}$ - дійсний річний фонд часу роботи обладнання, годин;

$$F_{дрм} = F_n S (1 - 0,01 f), \quad (5.2)$$

де $F_{дрм}$ - номінальний (режимний) фонд часу роботи обладнання в одну зміну, годин (визначається щорічно за календарем);

S - режим (кількість змін) роботи цеху;

f - регламентований процент втрат робочого часу, пов'язаний з плановими простоюваннями обладнання під час планових ремонтів та міжремонтного обслуговування. Для механообробного обладнання величина f може складати 8-10% [1, с. 4];

$$F_{дрм} = (365 - 104 - 11) \cdot 8 \cdot 2 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) = 3680 \text{ год.}$$

k_e - нормативний коефіцієнт виконання норм часу (приймається у розмірі 1,01-1,1 згідно [1, с. 4]).

На операції 005 техпроцесу:

$$q_{p(1)} = \frac{8400 \cdot 1,15}{3680 \cdot 60 \cdot 1,0} = 0,044$$

Аналогічно виконані розрахунки по інших операціях техпроцесу зведемо до табл. 5.1.

Коефіцієнт завантаження обладнання по кожній деталі-операції:

$$\eta_{z(i)} = \frac{q_{p(i)}}{q_{np(i)}} \quad (5.3)$$

$$\eta_{з(1)} = \frac{0,044}{1} = 0,044$$

Середній коефіцієнт завантаження робочих місць на усіх операціях технологічного процесу виготовлення деталі:

$$\bar{\eta}_з = \frac{\sum_{i=1}^m q_{p(i)}}{\sum_{i=1}^m q_{np(i)}} = \frac{0,452}{9} = 0,05 \quad (5.4)$$

де $q_{np(i)}$ - прийнята (ціла) кількість робочих місць;

m - кількість операцій технологічного процесу.

Відповідно до знайденого значення $\bar{\eta}_з$ встановлюємо тип виробництва – дрібносерійний (ДС).

Таблиця 5.1

Розрахунок завантаження обладнання

№ опер	Найменування операції	Т _{шт} , хв.	Кількість обладнання		η_z	$\bar{\eta}_з$
			q_p	q_{np}		
005	Токарна з ЧПК	1,150	0,044	1	0,044	0,05
010	Зубофрезерна	2,305	0,088	1	0,088	
015	Зубодовбальна	2,608	0,099	1	0,099	
020	Зубошевінгувальна	1,295	0,049	1	0,049	
025	Шліцефрезерна	1,295	0,049	1	0,049	
030	Круглошліфувальна	0,724	0,028	1	0,028	
035	Торцекруглошліфувальна	0,685	0,026	1	0,026	
040	Суперфішішна	0,685	0,026	1	0,026	
045	Доводочна	1,121	0,043	1	0,043	
	Всього	11,868	0,452	9	0,452	

5.2 Розрахунок календарно-планових нормативів

До календарно-планових нормативів серійного виробництва належать: розмір партії деталей; кількість запусків партії деталей; періодичність (ритм) запуску-випуску партії деталей; тривалість операційних та технологічного циклів обробки деталі; розмір циклового запасу деталей.

Розмір партії деталей розраховуємо у два етапи: спочатку визначимо розрахунковий розмір партії, а потім цю величину скорегуємо з урахуванням

виробничих умов. Для визначення розрахункового розміру партії деталей n_p скористаємося другим методом [1, с. 5], який застосовується у тому разі, коли в технологічному процесі відсутні трудомістки за переналагоджуванням операції (тобто підготовчо-заклучний час не перевищує 30 хв.). Щоб не допускати частих переналагоджувань обладнання, час виготовлення партії деталей на найбільш продуктивній операції не повинен бути меншим, ніж половина зміни. Тобто:

$$n_p = \frac{0,5 \cdot F_{зм}}{t_{ум}^{\min}}, \quad (5.5)$$

де $F_{зм}$ – дійсний фонд часу зміни (440 хв.); $t_{ум}^{\min}$ – штучний час найбільш продуктивної операції:

$$n_p = \frac{0,5 \cdot 440}{0,685} \approx 321 \text{ шт.};$$

Для спрощення планування та обліку, партія деталей повинна укладатися в річну програму запуску ціле число разів. Тому, після визначення розрахункової *кількості партій* протягом року за формулою:

$$A_p = \frac{N_z}{n_p} = \frac{8400}{321} = 26, \quad (5.6)$$

визначимо фактичну кількість партій (A_{ϕ}) шляхом підбору найближчого до A_p цілого значення з уніфікованого ряду: 1, 2, 4, 8, 12, 18, 24, 36, 48, 52, 104, 250, після чого скорегуємо, відповідно до отриманого значення A_{ϕ} , розмір партії деталей:

$$A_{np} = 24;$$

$$n_{np} = \frac{N_z}{A_{\phi}} = \frac{8400}{24} = 350 \text{ шт.} \quad (5.7)$$

Періодичність (ритм) запуску-випуску партій деталей:

$$R_z = \frac{T_p}{A_{\phi}} = \frac{250}{24} = 10,4 \text{ роб. днів}, \quad (5.8)$$

де T_p - кількість робочих днів протягом року.

Тривалість багатоопераційного виробничого циклу виготовлення партії деталей залежить від тривалості операційних циклів, способу їхнього

сполучення у часі (прийнятого виду руху партії деталей) та часу межоопераційних перерв.

Тривалість операційного циклу:

$$T_{o(i)} = \frac{n_{np} \cdot t_{\kappa-\partial(i)}}{S \cdot F_{зм.д}}, \quad (5.9)$$

де n_{np} - остаточно прийнятий розмір партії деталей, шт.;

$t_{\kappa-\partial(i)}$ – калькуляційно-дійсний час на даній детале-операції, хв.

$$t_{\kappa-\partial(i)} = \frac{t_{um(i)}}{k_{\epsilon} \cdot p_{m(i)} \cdot q_{np(i)}} + \frac{t_{n-з(i)}}{n_{np}}, \quad (5.10)$$

де k_{ϵ} - коефіцієнт виконання норм на даній операції;

$p_{m(i)}$ - технологічна партія деталей (кількість деталей, що одночасно оброблюються в багатопозиційному пристосуванні), шт.

$q_{np(i)}$ - кількість робочих місць, які працюють на даній операції паралельно.

Наприклад, для першої операції техпроцесу:

$$t_{\kappa-\partial(005)} = \frac{1,150}{1,0 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{4}{350} = 1,161 \text{ хв.}$$

$$T_{o(005)} = \frac{350 \cdot 1,161}{2 \cdot 440} = 0,46 \text{ дн.}$$

Результати розрахунків $t_{\kappa-\partial(i)}$ і $T_{o(i)}$ зведемо до табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Розрахунок тривалості циклу

№ операції	Найменування операції	t_{um} , хв.	$t_{n-з}$, хв.	$t_{\kappa-\partial}$, хв.	T_o , днів	t_{mo} , днів
005	Токарна з ЧПК	1,150	4	1,161	0,46	0,27
010	Зубофрезерна	2,305	26	2,379	0,95	0,27
015	Зубодовбальна	2,608	18	2,659	1,06	0,27
020	Зубошевингувальна	1,295	10	1,324	0,53	0,27
025	Шліцефрезерна	1,295	10	1,324	0,53	0,27
030	Круглошліфувальна	0,724	13	0,761	0,30	0,27
035	Торцекруглошліфувальна	0,685	10	0,714	0,28	0,27
040	Суперфінішна	0,685	18	0,736	0,29	0,27
045	Доводочна	1,121	18	1,172	0,47	0,27
	Всього	11,868	-	12,231	4,86	2,43

Для даної партії деталей може бути обраний послідовний рух, який рекомендується приймати при груповому розташуванні обладнання, невеликій масі деталей та тривалості операційних циклів, що в середньому не перевищують два дні [1, с. 7].

Тривалість виробничого циклу визначаємо за формулою:

$$T_n = \sum_{i=1}^m T_{o_i} + \sum_{i=1}^m t_{mo} = 4,86 + 2,43 = 7,3 \text{ днів}, \quad (5.11)$$

де t_{mo} - час міжопераційної перерви, днів.

$$t_{mo} = \frac{(0,25 \dots 0,8) \cdot \sum_{i=1}^m T_{o_i}}{m} = \frac{0,5 \cdot 4,86}{9} = 0,27 \text{ дні}, \quad (5.12)$$

Графік послідовного виду руху партії деталей «шестерня ведуча» представлено на рис. 5.1.

Середній розмір *циклового запасу* деталей:

$$Z_y = \frac{n_{np} \cdot T_y}{R_3} = \frac{350 \cdot 7,3}{10,4} = 246 \text{ шт.}, \quad (5.13)$$

де T_y - тривалість виробничого циклу виготовлення партії деталей, дн.

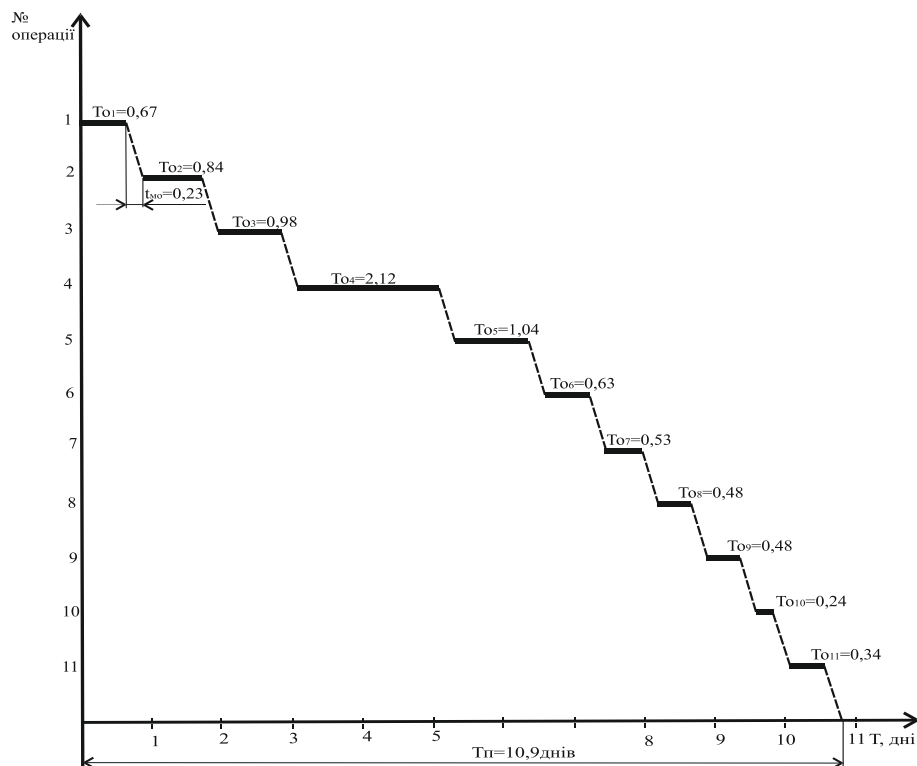


Рис. 5.1. Графік послідовного виду руху партії деталей «шестерня ведуча»
350 шт.

5.3 Визначення чисельності основних робітників цеху

До основних належать робітники, безпосередньо зайняті виконанням технологічних операцій. Їх чисельність у серійному виробництві визначається за формулою:

$$R_o = \frac{T_p}{F_{op}}, \quad (5.14)$$

де T_p - трудомісткість річної виробничої програми, нормо-годин.

$$T_p = N_z \cdot \frac{\sum_{i=1}^m t_{um_i}}{60} \cdot K_{дов} \cdot (1 + 0,01 \cdot d), \quad (5.15)$$

де $K_{дов}$ - коефіцієнт довантаження обладнання до нормативного (η_{zn}) для даного типу виробництва [1, дод. Д1]:

$$K_{дов} = \frac{\eta_{zn}}{\bar{\eta}} = \frac{0,95}{0,05} = 19,0 \quad (5.16)$$

d - процент додаткових робіт, непередбачених технологічним процесом (виправлення браку, доробка, комплектація тощо), $d=15...20\%$ [1, с. 8];

F_{op} - дійсний річний фонд часу роботи одного робітника, год. (залежить від номінального фонду часу поточного року F_n , зменшеного на процент невиходів на роботу з поважних причин C_n (8...10%)):

$$F_{op} = F_n \cdot (1 - 0,01 \cdot C_n) = 2000 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) = 1840 \text{ год.}, \quad (5.17)$$

$$T_p = 8400 \cdot \frac{11,868}{60} \cdot 19,0 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) = 37883 \text{ нормо-год.}$$

$$R_o = \frac{37883}{1840} = 21 \text{ особа.}$$

5.4 Аналіз варіантів технологічного процесу

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

$$C_{mex} = V \cdot N_3 + P, \quad (5.18)$$

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.

5.4.1 Розрахунок змінних витрат

За поелементним методом розрахунку змінні витрати визначаються за формулою:

$$V = M_o + Z_{одв} + E_c + B_p + B_{мд} + B_{ін.ун} + B_{пр.ун} + B_{ам.у} + B_{ен}, \quad (5.19)$$

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:

$$Z_{одв} = C_{z(i)} \frac{t_{ум(i)}}{60} (1 + K_o) \cdot (1 + K_c), \quad (5.20)$$

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

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

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

В базовому варіанті:

$$Z_{одв.баз} = \frac{83,072 \cdot 1,847}{60} \cdot (1+0,1) \cdot (1+0,22) = 3,4318 \text{ грн.}$$

В проектному варіанті:

$$Z_{одв.пр} = \frac{92,303 \cdot 0,724}{60} \cdot (1+0,1) \cdot (1+0,22) = 1,4947 \text{ грн.}$$

Наступні статті витрат пов'язано з утриманням та експлуатацією обладнання. Тому, перед їх розрахунком, на основі [1, дод. Д2] складемо табл. 5.3 характеристики обладнання, яке використовується у порівнюваних операціях базового та проектного техпроцесів.

Таблиця 5.3

Характеристика обладнання

Модель обладнання	Габаритні розміри: довжина × ширина, м	Потужність електро-двигунів верстата, кВт	Ма-са, т	Група ремонтної складності механічної/електричної частини, УРО	Площа в плані $S_{од}$, м ²	Ціна, тис. грн.
Базовий техпроцес						
Круглошліфувальний напівавтомат 3А151	4,90×2,30	10	6,1	8/8	11,27	221,8
Проектний техпроцес						
Круглошліфувальний з ЧПК 3М152МФ2	5,40×2,27	7,5	6,5	8,5/8	12,26	818,0

Витрати на електроенергію силову:

$$E_c = \frac{N_{\epsilon} \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_d}{\eta_{\epsilon} \cdot \eta_m} \cdot \frac{t_{ум}}{60} \cdot C_{ел}, \quad (5.21)$$

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

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

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (приймається у розмірі 0,4...0,5 – для шліфувальних верстатів);

K_0 – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за часом,
 $K_0=0,3...0,5$;

η_e – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі,
 $\eta_e=0,92...0,96$;

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

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

$$E_{с.баз} = \frac{10 \cdot 0,7 \cdot 0,4 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88} \cdot \frac{1,845}{60} \cdot 8,235 = 0,3285 \text{ грн.}$$

$$E_{с.пр} = \frac{7,5 \cdot 0,7 \cdot 0,4 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88} \cdot \frac{0,724}{60} \cdot 8,235 = 0,1248 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_p = \frac{W_m \cdot R_m + W_e \cdot R_e}{F_{дрм}} \cdot \frac{t_{ум}}{60}, \quad (5.22)$$

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;

$$B_{р.баз} = \frac{(980 \cdot 8 + 760 \cdot 8) \cdot 1,845}{3680 \cdot 60} = 0,1163 \text{ грн.}$$

$$B_{р.пр} = \frac{(980 \cdot 8,5 + 760 \cdot 8) \cdot 0,724}{3680 \cdot 60} = 0,0473 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{мд} = \frac{M_{зв} \cdot R_m \cdot t_{ум}}{100 \cdot 60} \cdot K_e, \quad (5.23)$$

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

K_e – коефіцієнт, який враховує тип виробництва.

$$B_{мд.баз} = \frac{70,5 \cdot 8 \cdot 1,845}{100 \cdot 60} \cdot 0,85 = 0,1474 \text{ грн.}$$

$$B_{мд.пр} = \frac{70,5 \cdot 8,5 \cdot 0,724}{100 \cdot 60} \cdot 0,85 = 0,0615 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію універсального ріжучого інструменту:

$$B_{ip} = \frac{(S_u + p \cdot S_{пер}) \cdot \gamma \cdot T_{нор}}{t_e (p + 1)} K_{вт}, \quad (5.24)$$

де S_u – первісна вартість універсального ріжучого інструменту, грн.;

p – кількість переточок ріжучого інструменту до повного зносу по лімітуючому розміру ріжучої грані [2, табл. 7.12];

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

γ – питома значення машинного часу роботи обладнання в загальному варіанті його роботи;

t_e – економічна стійкість інструменту, хв.;

$K_{вт}$ – коефіцієнт обліку втрат інструменту.

$$B_{ip.баз} = \frac{(1093,0 + 20 \cdot 48,6) \cdot 0,7 \cdot 1,845}{480 \cdot (20 + 1)} \cdot 1,01 = 0,2672 \text{ грн.}$$

$$B_{ip.нр} = \frac{(1093,0 + 20 \cdot 48,6) \cdot 0,7 \cdot 0,724}{480 \cdot (20 + 1)} \cdot 1,01 = 0,1049 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію універсального обладнання:

$$B_{ам} = \frac{\Phi_{бал} \cdot H_a \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot 100 \cdot \eta_{зн}}, \quad (5.25)$$

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

$$\Phi_{бал} = \Pi_{опт} \cdot K_{тмф}, \quad (5.26)$$

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

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

H_a – норма амортизації на реновацію, %.

$$B_{ам.баз} = \frac{221800 \cdot 1,19 \cdot 20 \cdot 1,845}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,95} = 0,4643 \text{ грн.}$$

$$B_{ам.нр} = \frac{818000 \cdot 1,19 \cdot 20 \cdot 0,724}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,95} = 0,6720 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію приміщення:

$$B_{ен} = \frac{S_{од} \cdot k_f \cdot C}{F_{дрм} \cdot \eta_{зн}} \cdot \frac{t_{ум}}{60}, \quad (5.27)$$

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

k_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (проходи, проїзди, транспортно-складські приміщення) [1, табл. 4].

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

$$B_{\text{ен.баз}} = \frac{11,27 \cdot 2 \cdot 1,845 \cdot 760}{3680 \cdot 60 \cdot 0,95} = 0,1507 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{ен.пр}} = \frac{12,26 \cdot 2 \cdot 0,724 \cdot 760}{3680 \cdot 60 \cdot 0,95} = 0,0643 \text{ грн.}$$

5.4.2 Розрахунок постійних витрат

За поелементним методом розрахунку постійні витрати включають:

$$P = B_{\text{нал}} + B_{\text{сп.осн}} + B_{\text{ам.сп}} + B_{\text{пр}}, \quad (5.28)$$

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

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

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

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

Витрати на налагодження обладнання:

$$B_{\text{нал}} = C_{\text{зн}} \cdot \frac{t_{\text{н-з}}}{60} \cdot (1 + K_o) \cdot (1 + K_c) \cdot A, \quad (5.29)$$

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

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

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

$$B_{\text{нал.баз}} = 104,609 \cdot \frac{16+16}{60} \cdot (1+0,1) \cdot (1+0,22) \cdot 24 = 1796,93 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{нал.пр}} = 123,067 \cdot \frac{13}{60} \cdot (1+0,1) \cdot (1+0,22) \cdot 24 = 858,81 \text{ грн.}$$

Витрати на створення програмного забезпечення:

$$B_{\text{пз}} = T_{\text{пр}} \cdot Z_{\text{год}} \cdot K_{\text{ос}}, \quad (5.30)$$

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

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

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

$$B_{пз.пр} = 31,5 \cdot 136,80 \cdot 1,342 = 5782,94 \text{ грн.}$$

5.4.3 Розрахунок технологічної собівартості

Усі виконані розрахунки змінних та постійних витрат, а також розрахунок технологічної собівартості зведемо до табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Розрахунок технологічної собівартості деталі «шестерня ведуча»

№ 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	3,4318	1,4947
1.2	Електроенергія силова	0,3285	0,1248
1.3	Ремонт обладнання	0,1163	0,0473
1.4	Матеріали допоміжні	0,1474	0,0615
1.5	Універсальний ріжучий інструмент	0,2672	0,1049
1.6	Амортизація універсального обладнання	0,4643	0,6720
1.7	Експлуатація приміщень	0,1507	0,0643
	Всього змінних витрат	4,9062	2,5695
2.	<u>Постійні витрати P</u>		
2.1	Налагодження обладнання	1796,93	858,81
2.2	Створення програмного забезпечення	-	5782,94
	Всього постійних витрат	1796,93	6641,75
	Технологічна собівартість річного випуску деталей $C_{тех}$	43009	28226

Технологічна собівартість:

$$C_{тех.баз} = 4,9062 \cdot 8400 + 1796,93 = 43009 \text{ грн.}$$

$$C_{тех.пр} = 2,5695 \cdot 8400 + 6641,75 = 28226 \text{ грн.}$$

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей «шестерня ведуча» $N_3=8400$ 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 $C_{тех.баз} = C_{тех.пр}$:

$$N_{кр} = \frac{P_{пр} - P_{баз}}{V_{баз} - V_{пр}} = \frac{6641,75 - 1796,93}{4,9062 - 2,5695} = 2074 \text{ шт.}, \quad (5.31)$$

Висновок: За річної програми запуску деталі «шестерня ведуча», яка менше або дорівнює $N_{кр}$ (2073 шт.), ефективнішим з економічної точки зору буде базовий варіант техпроцесу, а за програми запуску, що перевищує $N_{кр}$, у тому числі для заданої програми запуску 8400 шт, ефективнішим є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

5.4.4 Розрахунок показників економічної ефективності проектного варіанту технологічного процесу

Річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу:

$$E_p = (C_{тех.баз} + E_n \cdot K_{баз}) - (C_{тех.пр} + E_n \cdot K_{пр}), \quad (5.32)$$

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:

$$K = (\Phi_{бал} + B_{осн} + K_{буд}) \cdot \eta_{zi}, \quad (5.33)$$

Капітальні вкладення в будівлі розраховуємо за формулою:

$$K_{буд} = S_{од} \cdot K_f \cdot q_{пр} \cdot h \cdot \Pi_{буд}, \quad (5.34)$$

де h – висота приміщення цеху, м;

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

$$K_{\text{буд.баз}} = 11,27 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 8000 = 2885120 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{буд.пр}} = 12,26 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 8000 = 1569280 \text{ грн.}$$

Балансова вартість обладнання:

$$\Phi_{\text{бал.баз}} = 221800 \cdot 2 \cdot 1,19 = 527884 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{\text{бал.пр}} = 818000 \cdot 1,19 = 973420 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{баз}} = (2885120 + 527884) \cdot 0,070 = 238910 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{пр}} = (1569280 + 973420) \cdot 0,028 = 71196 \text{ грн.}$$

$$E_p = (43009 + 0,16 \cdot 238910) - (28226 + 0,16 \cdot 71196) = 41600 \text{ грн.}$$

При впровадженні нового технологічного процесу додаткові капітальні вкладення – відсутні.

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

$$\Delta T_p = \frac{\sum_{i=1}^m t_{\text{ум}(i)}^{\text{баз}}}{\sum_{i=1}^m t_{\text{ум}(i)}^{\text{пр}}} \cdot 100 - 100 = \frac{0,724}{1,845} \cdot 100 - 100 = 60,8\%, \quad (5.35)$$

5.5 Розрахунок планової цехової собівартості деталі

Цехова собівартість виготовлення деталі визначається як сума калькуляційних статей витрат:

$$C_{\text{цех}} = M_o + Z_{od} + B_c + B_{in} + B_o + B_{ц}, \quad (5.36)$$

де M_o - вартість основних матеріалів, грн.:

Z_{od} - основна та додаткова заробітна плата основних виробничих робітників, грн.;

B_c - відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний внесок), грн.;

B_{in} - витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн.;

B_o - витрати на утримання та експлуатацію обладнання, грн.;

$B_{ц}$ - цехові витрати, грн.

Вартість основних матеріалів:

$$M_o = a_p \cdot C_m \cdot K_{mp} - a_s \cdot C_s, \quad (5.36)$$

де a_p - норма витрат матеріалу на деталь (сталі 18ХГТ), кг.;

Π_m - ціна матеріалу, грн./кг.;

K_{mp} - коефіцієнт, який враховує транспортно-заготівельні витрати, витрати на зберігання матеріалів (приймається у розмірі 1,05...1,08);

a_e - маса відходів, кг.;

Π_e - ціна відходів, грн./кг.

$$M_o = 12,566 \cdot 39,0 \cdot 1,05 - (12,566 - 6,371) \cdot 5,85 = 478,337 \text{ грн.}$$

Заробітна плата основна й додаткова виробничих робітників:

$$Z_{od} = P_e (1 + K_d), \quad (5.37)$$

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

$$P_e = \sum_1^m P_{on_i} = \sum_1^m \frac{e_{zod_i}^e \cdot t_{um-\kappa_i}}{60}, \quad (5.38)$$

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

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

$$t_{um-\kappa_i} = t_{um_i} + \frac{t_{n-3_i}}{n_{np}}, \quad (5.39)$$

n_{np} - розмір партії деталей, шт.

На першій операції техпроцесу:

$$t_{um-\kappa_1} = 1,150 + \frac{4}{350} = 1,161 \text{ хв.}$$

$$P_{on_1} = 92,303 \cdot \frac{1,161}{60} = 1,7867 \text{ грн./шт.}$$

Розрахунок відрядної розцінки на деталь зведемо до табл. 5.5.

Розрахунок відрядної розцінки на деталь

№ оп.	Найменування операції	$t_{\text{шт-к, хв.}}$	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Розцінка на деталь, грн.
005	Токарна з ЧПК	1,161	4	92,303	1,7867
010	Зубофрезерна	2,379	2	67,687	2,6841
015	Зубодовбальна	2,659	2	67,687	3,0001
020	Зубошевингувальна	1,324	2	67,687	1,4931
025	Шліцефрезерна	1,324	3	83,072	1,8325
030	Круглошліфувальна	0,761	4	92,303	1,1709
035	Торцекруглошліфувальна	0,714	3	83,072	0,9880
040	Суперфінішна	0,736	3	83,072	1,0196
045	Доводочна	1,172	3	83,072	1,6233
	Всього	12,231	—	—	15,598

$$З_{од} = 15,598 \cdot (1 + 0,1) = 17,158 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби виробничих робітників:

$$B_c = 17,158 \cdot \frac{22}{100} = 3,775 \text{ грн.}, \quad (5.40)$$

де K_c - відсоток єдиного соціального внеску.

Витрати на експлуатацію спеціального оснащення, що припадають на одну деталь, складають 22-25 грн. на одну нормо-годину трудомісткості виготовлення деталі (менше значення відповідає ДС, більше – ВС).

$$B_{осн} = 22 \cdot \frac{11,868}{60} = 4,352 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

$$B_o = З_o \cdot \frac{П_{во}}{100} = 15,598 \cdot \frac{320}{100} = 49,914 \text{ грн.}, \quad (5.41)$$

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

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

Загальноцехові витрати в собівартості деталі:

$$B_{ц} = З_o \cdot \frac{П_{ц}}{100} = 15,598 \cdot \frac{240}{100} = 37,435 \text{ грн.}, \quad (5.42)$$

де $П_{ц}$ – процент цехових витрат.

Калькуляцію цехової собівартості деталі слід звести до табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Калькуляція цехової собівартості виготовлення деталі

№ з/п	Найменування статей	Витрати, грн.
1.	Матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів	478,337
2.	Основна заробітна плата виробничих робітників	15,598
3.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	1,560
4.	Відрахування у соціальні фонди	3,775
5.	Експлуатація спеціального оснащення	4,352
6.	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	49,914
7.	Цехові витрати	37,435
8.	Всього цехова собівартість $C_{ц}$	590,971

5.6 Планування підсумкових техніко-економічних показників

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

- *виріток продукції на одного робітника:*

$$B_n = \frac{T_p}{R_o} = \frac{37883}{21} = 1804 \text{ нормо-год./ос.}, \quad (5.43)$$

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

R_o – чисельність основних робітників цеху, осіб;

- *зарплатомісткість продукції:*

$$Z_{zn} = \frac{Z_{od}}{C_{ц}} \cdot 100 = \frac{17,158}{590,971} \cdot 100 = 2,9\%, \quad (5.44)$$

де Z_{od} – основна й додаткова заробітна плата у собівартості деталі, грн.;

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

- *матеріаломісткість продукції:*

$$Z_{mn} = \frac{M_o}{C_{ц}} \cdot 100 = \frac{478,337}{590,971} \cdot 100 = 80,9\%, \quad (5.45)$$

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

- собівартість товарної продукції цеху:

$$C_{mn} = C_{\text{ц}} \cdot N_3 \cdot K_{\text{дов}} \quad (5.46)$$

де N_3 - річна програма запуску деталей, шт./рік.

$$C_{mn} = 590,971 \cdot 8400 \cdot 19 = 94319 \text{ тис. грн.}$$

Підсумкові техніко-економічні показники роботи цеху слід звести до табл. 5.7.

Таблиця 5.7

Техніко-економічні показники цеху

№ з/п	Показник	Одиниця виміру	Величина
1.	Програма запуску деталі (N_3)	шт./рік	8400
2.	Трудомісткість виробничої програми (T_p)	нормо-год.	37883
3.	Цехова собівартість деталі	грн.	590,97
4.	Собівартість товарної продукції цеху (C_{mn})	тис. грн./рік	94319
5.	Чисельність основних робітників	осіб	21
6.	Виробіток продукції на одного робітника	нормо-год.	1804
7.	Матеріаломісткість продукції	%	80,9
8.	Зарплатомісткість продукції	%	2,9
9.	Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу ΔT_p	%	60,8
10.	Річний економічний ефект від застосування проектного варіанту техпроцесу E_p	грн.	41600

Література

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування / Павленко І.І. - Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420с.
2. Павленко І. І. Захватні пристрої роботів: Навчальний посібник. / І. І. Павленко, М. О. Годунко. – Кіровоград: КНТУ, 2014. – 367 с.
3. <http://mindtrans.narod.ru/hands/hands.htm> - перелік існуючих захватних пристроїв роботів
4. Бичіне, В.Б. Організація і нормування праці: підручник для вузів. - М.: «Іспит», 2005. - 464 с.
5. Вешнякова, Т.С. Організація, нормування і оплата праці на підприємствах сфери обслуговування [Текст]: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Т.С. Вешнякова. - М: «Академія», 2006. - 224 с.
6. Павленко І.І. Експериментальні статичні дослідження сил затиску ЗП промислових роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація./ Вип. 22. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – С. 173 – 178.
7. Павленко І.І. Експериментальні динамічні дослідження сил затиску ЗП промислових роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 40 / Частина II. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 251 – 255.
8. Павленко І.І. Функціональні характеристики затискних важелів ЗП роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 40/Частина II. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 172 – 177.
9. Павленко І.І. Аналіз передавальних відношень плечей сил затискних важелів ЗП роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в

сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація./ Вип. 23. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 123 – 128.

10. K.Koskinen (2016) Design of a smart gripper for industrial applications., 8th June.

11. Caucey G.C. & R.D. Quinn. (2016) Gripper design guidelines for modular manufacturing. Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat.No.98CH36146) n. pag. Web.8 June.

12. Raymond R. Ma & Aaron M. Dollar. (2016) Yale Openhand Project - Model T. Eng.yale.edu. N.p.. Web. 21 June.

13. 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.