

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 вал-
шестерні з дослідженням силових навантажень
захватного пристрою промислового робота»**
**«Development of a technology for manufacturing a
shaft-gear with research into the force loads of an
industrial robot's gripping device»**

Виконав здобувач вищої освіти ІІ-го
курсу групи ГМ-23М-З
ОПП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Сергій БРАТУХІН

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

Рецензент:

Кропивницький 2025

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

Братухіну Сергію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка технології виготовлення вал-шестерні з дослідженням силових навантажень захватного пристрою промислового робота

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 вал-шестерня – 6000шт

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

(підпис)

Братухін С.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Годунко М.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

на випускн у кваліфікаційну роботу здобувача гр. ГМ-23М-3

Братухіна Сергія Васильовича

Кваліфікаційна робота виконана відповідно до теми: “Розробка технології виготовлення вал-шестерні з дослідженням силових навантажень захватного пристрою промислового робота”.

Робота включає пояснювальну записку (107 аркушів), а також графічну частину (8 листів формату А4).

На основі аналізу базового процесу здійснено заміну традиційних верстатів на обладнання з ЧПУ. Це забезпечує швидшу обробку деталей із підвищеною точністю.

Згідно з темою досліджено силові навантаження захватного пристрою робота при виконанні ним поставлених задач у складі роботизованого верстатного комплексу. Розроблено розрахункові схеми для визначення сил затиску, а також створено експериментальну установку для перевірки виведених формул, побудови відповідних залежностей, надання рекомендацій.

Виготовлено прототип запропонованого захватного пристрою робота, що також висвітлено у графічній частині. Графічна частина містить схеми механічної обробки, аналіз базового та нового технологічних процесів, а також наукові аспекти згідно теми роботи.

Усі запропоновані зміни технологічного процесу підтверджені розрахунками й мають економічне обґрунтування.

промислові роботи, захватні пристрої, сили затиску, технологічний процес

ANNOTATION

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

Serhiy Bratukhin

The qualification thesis is completed on the topic: "Development of a manufacturing technology for a shaft gear with an analysis of the force loads on the gripping device of an industrial robot."

The work includes an explanatory note (107 pages) and a graphic part (8 sheets in A4 format).

Based on the analysis of the baseline process, traditional machines have been replaced with CNC equipment. This ensures faster machining of parts with enhanced precision.

In line with the research topic, the force loads on the robot's gripping device were analyzed as it performed tasks within a robotic machine tool complex. Calculation schemes for determining clamping forces were developed, and an experimental setup was created to validate the derived formulas, build relevant dependencies, and provide recommendations.

A prototype of the proposed robot gripping device was manufactured, which is also detailed in the graphic section. The graphic part contains machining process schemes, an analysis of the baseline and new technological processes, as well as scientific aspects in accordance with the research topic.

All proposed changes to the technological process are supported by calculations and have economic justification.

Keywords: industrial robots, gripping devices, clamping forces, technological process

	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.	Роботи-маніпулятори: світові тенденції впровадження та актуальність використання	14
2.2.	Захватні пристрої як основний виконавчий орган роботів-маніпуляторів	16
2.3.	Використання захватних пристроїв у військовій сфері	19
2.4.	Особливості затиску деталей типу «тіло обертання» захватним пристроєм	21
2.5.	Силовий розрахунок вертикально орієнтованого захватного пристрою	23
2.6.	Дослідження впливу конструктивних характеристик пристроїв на сили затиску	27
3	Експериментальна частина	
3.1.	Постановка дослідження силових характеристик	30
3.2.	Експериментальне дослідження силових характеристик затиску деталей	31
3.3.	Висновки	36
4.	Технологічна частина	
4.1.	Аналіз точності та технологічності заданої деталі	37
4.2.	Аналіз діючого технологічного процесу	39
4.3.	Вибір заготовок та способу їх виготовлення	42
4.4.	Вибір методів та маршрутів обробки поверхонь деталі	44
4.5.	Розробка маршрутів виготовлення деталі	49
4.6.	Вибір технологічних баз	52
4.7.	Розробка структури та змісту технологічних операцій	52

4.8. Вибір затискних пристроїв	61
4.9. Вибір ріжучих інструментів	63
4.10. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів	64
4.11. Визначення припусків та операційних розмірів деталі	65
4.12. Визначення режимів різання	69
4.13. Технічне нормування операцій	85
5. Економічна частина	
5.1. Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження	87
5.2. Розрахунок календарно-планових нормативів	88
5.3. Визначення чисельності основних робітників цеху	92
5.4. Аналіз варіантів технологічного процесу	93
5.5. Розрахунок планової цехової собівартості деталі	100
5.6. Планування підсумкових техніко-економічних показників	103
Загальні висновки	105
Література	106

Вступ

Автоматизоване виробництво є важливою складовою сучасної промисловості, яка сприяє зростанню продуктивності, покращенню якості продукції та підвищенню ефективності виробничих процесів. Нижче приведені основні елементи автоматизованого виробництва.

Промислові роботи: виконують різноманітні завдання, такі як зварювання, складання, фарбування, транспортування тощо. Вони можуть діяти автономно або працювати у зв'язці з іншими системами. Системи управління виробництвом (MES): забезпечують координацію і контроль виробничих процесів у реальному часі, охоплюючи планування, управління ресурсами, контроль якості та продуктивності. Системи CAD/CAM: використовуються для проектування і створення програм для обладнання з числовим програмним управлінням.

Переваги автоматизації. Зростання продуктивності: автоматизовані системи швидше виконують роботу, зменшуючи час простоїв. Вища якість продукції: забезпечується точність і повторюваність процесів, що знижує кількість дефектів. Зниження витрат: оптимізується використання матеріалів і ресурсів, скорочується потреба в ручній праці. Підвищення безпеки: автоматизація знижує ризик травм, виконуючи небезпечні завдання. Гнучкість: системи легко адаптуються до нових умов і задач, дозволяючи змінювати асортимент продукції з мінімальними витратами.

Виклики. Високі початкові інвестиції: впровадження потребує значних витрат на обладнання і навчання персоналу. Складність інтеграції: може потребувати адаптації існуючих процесів і обладнання. Технологічна залежність: системи вимагають регулярного обслуговування та оновлення, а їх збої можуть викликати значні затримки.

Автоматизоване виробництво відіграє ключову роль у підвищенні конкурентоспроможності підприємств. Воно дозволяє досягти високих результатів, але потребує ретельного планування та значних початкових вкладень для успішної реалізації.

1. Загальна частина

1.1. Постановка задачі та методи її вирішення

Мета роботи. Метою кваліфікаційної роботи є аналіз ефективності впровадження промислових роботів у виробничий процес на прикладі деталі вал-шестерня Зокрема, розглядається додавання роботи до однієї з технологічних операцій із обґрунтуванням цього рішення за допомогою економічних показників. Крім того, передбачено створення експериментального стенда для оцінки ефективності використання захватних пристроїв роботів.

Актуальність теми. Промислові роботи займають центральне місце в автоматизованому машинобудуванні, виконуючи ключові функції та надаючи значні переваги:

1. Автоматизація виробничих процесів:

- Складання вузлів: забезпечення точного складання компонентів у різноманітні вироби.
- Зварювання: виконання зварювальних операцій із високою точністю, особливо актуально для автомобільної й авіаційної галузей.
- Фарбування: рівномірне нанесення покриттів для покращення якості продукції та зменшення відходів.

2. Підвищення продуктивності та ефективності:

- Швидкість: роботи працюють безперервно, підвищуючи обсяги виробництва.
- Точність: зменшення кількості дефектів і повторної обробки.

3. Зменшення виробничих витрат:

- Оптимізація праці: скорочення витрат на робочу силу у довгостроковій перспективі.
- Рациональне використання матеріалів: мінімізація відходів завдяки високій точності.

4. Покращення умов праці:

- Виконання небезпечних завдань, зменшуючи ризики для персоналу.
- Робота в екстремальних середовищах, непридатних для людини.

5. Гнучкість виробництва:

- Швидке переналаштування для виконання нових завдань відповідно до змін попиту.

6. Моніторинг та контроль якості:

- Автоматичний контроль якості та аналіз даних для вдосконалення виробничих процесів.

Інтеграція промислових роботів у машинобудування сприяє підвищенню продуктивності, якості та конкурентоспроможності підприємств.

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

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

Завдання роботи

1. Визначити основні аспекти ефективності впровадження роботів.
2. Розробити технологічну операцію із застосуванням промислового робота.
3. Провести економічні розрахунки ефективності впровадження робота.
4. Виконати силовий розрахунок для оптимального використання захватного пристрою.
5. Створити експериментальний стенд для перевірки силових характеристик.
6. Сформулювати висновки та рекомендації.

Методи дослідження. Завдання вирішуються за допомогою методів обчислювальної математики, систем управління, теорії робототехнічних систем, а також теоретичної та прикладної механіки.

Наукова новизна. Робота досліджує аспекти ефективного впровадження промислових роботів у машинобудівне виробництво, приділяючи особливу увагу силовим характеристикам як ключовому чиннику раціоналізації.

Практична цінність. Запропонований стенд дозволяє визначати мінімальні сили затиску для утримання деталей та оптимізувати масо-габаритні

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

Впровадження промислових роботів має ряд ключових аспектів. Інтеграція промислових роботів у виробничий процес є важливим кроком для підвищення ефективності, продуктивності та конкурентоспроможності підприємств. Нижче наведено основні аспекти цього процесу.

Технічні аспекти

1. Вибір роботів:

- Типи роботів: залежно від завдань обираються маніпулятори, мобільні чи колаборативні роботи.

- Характеристики: враховуються вантажопідйомність, точність, швидкість роботи, радіус дії тощо.

2. Інтеграція з виробничими системами:

- Сумісність: роботи повинні відповідати наявним виробничим лініям та обладнанню.

- Налаштування: включає програмування та розробку алгоритмів управління.

Економічні аспекти

1. Витрати на впровадження:

- Початкові інвестиції: закупівля обладнання, монтаж, програмування.
- Експлуатаційні витрати: обслуговування, навчання персоналу, витрати на електроенергію.

2. Ефективність:

- Підвищення продуктивності: роботи можуть працювати цілодобово, забезпечуючи зростання обсягів виробництва.

- Оптимізація витрат: зниження матеріальних втрат і витрат на робочу силу.

Організаційні аспекти

1. Підготовка персоналу:

- Навчання: працівники проходять курси роботи з роботизованими системами.
- Перепрофілювання: зміна функцій персоналу відповідно до нових технологій.

2. Управління змінами:

- Адаптація процесів: перебудова виробничих і управлінських ланцюгів.
- Сприйняття змін: запобігання страху працівників щодо втрати робочих місць.

Юридичні та етичні аспекти

1. Законодавчі вимоги:

- Безпека: відповідність стандартам безпеки.
- Правові питання: дотримання нормативних вимог і реєстрація обладнання.

2. Етичні аспекти:

- Соціальний вплив: врахування ризиків скорочення робочих місць.
- Відповідальність: визначення відповідальних осіб у разі збоїв чи аварій.

Приклади застосування

1. Автомобільна промисловість: використання роботів для зварювання, фарбування та складання забезпечує високу якість продукції.

2. Електроніка: автоматизовані процеси пайки, складання мікросхем та тестування компонентів.

3. Логістика: автоматизовані системи сортування й транспортування значно підвищують ефективність роботи складів.

Висновок

Промислові роботи забезпечують зростання продуктивності, покращення якості продукції, зниження виробничих витрат і підвищення безпеки. Успішне впровадження роботів вимагає комплексного підходу, включаючи технічну підготовку, навчання персоналу, адаптацію бізнес-процесів і врахування

юридичних та етичних аспектів. Це дозволяє ефективно використовувати робототехніку для досягнення стратегічних цілей підприємства.

2. Наукова частина

2.1. Роботи-маніпулятори: світові тенденції впровадження та актуальність використання

Сучасний розвиток і використання роботів-маніпуляторів. Автоматизація є одним із ключових напрямів розвитку сучасного світу, і роботи-маніпулятори (РМ) відіграють у цьому процесі провідну роль. Вони успішно застосовуються у таких галузях, як промисловість, медицина, сільське господарство та космічні дослідження. Водночас, військова сфера стає одним із найбільш перспективних напрямів їх використання, адже РМ дозволяють не лише підвищувати ефективність операцій, а й мінімізувати ризики для особового складу.

У промисловості РМ є незамінними завдяки високій точності та швидкості виконання завдань. Вони сприяють підвищенню продуктивності, зниженню кількості дефектів і скороченню витрат на робочу силу. Наприклад, сучасні автомобільні та електронні заводи оснащені автоматизованими конвеєрними лініями, де роботи-маніпулятори забезпечують безперервний і точний процес складання.

Медична сфера також активно впроваджує РМ. Хірургічні роботи дозволяють проводити складні операції з мінімальним втручанням, що пришвидшує відновлення пацієнтів і зменшує ризик ускладнень.

Сільське господарство використовує РМ для автоматизації процесів збирання врожаю, догляду за рослинами та сортування продукції, що значно підвищує ефективність виробництва.

У космічній галузі роботи виконують завдання, які є занадто небезпечними або неможливими для людини. Вони застосовуються для ремонту супутників, складання космічних станцій і виконання експериментів у суворих умовах космосу.

Військова сфера висуває особливі вимоги до технологій, і РМ дедалі частіше стають невід'ємною частиною оборонних систем. Їх використовують для розмінування територій, знешкодження вибухівки, транспортування боєприпасів і логістичного забезпечення в бойових умовах. Крім того, РМ є незамінними у технічному обслуговуванні та ремонті військової техніки.

Завдяки високоточним маніпуляторним системам, вони можуть виконувати складні механічні операції в небезпечних або важкодоступних місцях без залучення людей.

Отже, роботи-маніпулятори є важливим елементом сучасних технологічних рішень. Їх широке впровадження у різні сфери людської діяльності сприяє зростанню ефективності, продуктивності й безпеки.

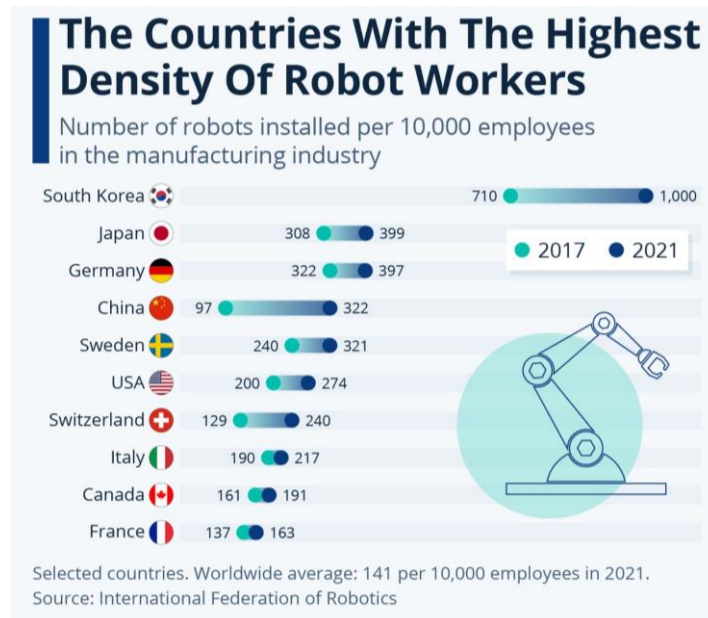


Рис. 2.1 Світові лідери з використання роботів у промисловості [3]

Згідно з даними аналітичної компанії IDC (Міжнародна дослідницька та консалтингова компанія), глобальний ринок промислової робототехніки, включаючи програмне забезпечення, демонструє стабільне зростання і вже перевищив 210 мільярдів доларів (рис. 2.1). Особливу увагу до розвитку військових робототехнічних систем проявляють провідні країни світу, такі як США, Китай, Ізраїль, Франція та Велика Британія, які активно інтегрують автоматизовані бойові системи у свої оборонні структури.

2.2. Захватні пристрої як основний виконавчий орган роботів-маніпуляторів

Сучасні умови ринку та динамічний розвиток науково-технічного прогресу зумовлюють потребу у впровадженні гнучких автоматизованих систем. Важливу роль у таких системах відіграють роботи-маніпулятори (РМ), які вважаються найбільш перспективними засобами автоматизації в різноманітних сферах людської діяльності (рис. 2.2).



Рис.2.2. Основні складові РМ [6], де: 1 – робот-маніпулятор; 2 – захватний пристрій робота; 3 – блок керування; 4 – пульт керування.

Особливості конструкції та роботи захватних пристроїв роботів-маніпуляторів. Основною перевагою роботів-маніпуляторів є їх здатність імітувати рухові функції рук людини, що досягається високим ступенем рухливості та оснащенням кінцівок необхідною кількістю захватних пристроїв (ЗП). Ефективність їх використання у виробничих процесах значною мірою залежить від рівня вдосконалення конструкції, зокрема ЗП, які виконують функцію робочого органу для затиску й утримання деталей чи оснащення.

Конструктивні особливості захватних пристроїв. Захватні пристрої монтуються на кінці рухомої руки маніпулятора, яка здатна виконувати

різноспрямовані зворотно-поступальні та обертальні рухи. Ці дії супроводжуються високими прискореннями й інерційними силами, що створює значні динамічні навантаження на ЗП і систему робота загалом. Це ускладнює забезпечення точної траєкторії рухів і вимагає мінімізації часу виконання операцій.

Особливе значення мають сили затиску деталі, які необхідно розраховувати з високою точністю. Номінальна сила затиску визначається як сила, з якою контактні поверхні ЗП діють нормально до поверхні утримуваного об'єкта [ГОСТ 26063-84]. Крім цього, ЗП повинні забезпечувати:

- Надійне утримання деталей різних розмірів під час переміщення.
- Компактні розміри конструкції.
- Мінімальний час на операції затиску та розтиску.

Типи захватних пристроїв

Найпоширеніші механічні конструкції ЗП включають:

1. Захвати з пружно-силовим затиском:

- Фіксація деталей здійснюється завдяки деформації пружних елементів.
- Часто використовуються без приводу або з механізмом лише для розтискання.

2. Важільно-шарнірні захвати (рис. 2.3, а):

- Перетворення поступального руху приводу у обертальний рух важелів.
- Забезпечують надійний затиск деталей завдяки простій конструкції.

3. Захвати із зубчасто-рейковою передачею (рис. 2.3, б):

- Зубчасті колеса перетворюють рух рейки у рух важелів, що підсилює затискне зусилля.

4. Клинові механізми (рис. 2.3, в):

- Утримання забезпечується клином, що взаємодіє з роликами.
- Розтискання здійснюється за допомогою пружини.

5. Захвати з плоско-паралельним рухом губок (рис. 2.3, г):

- Призначені для роботи з плоскими об'єктами, затиск забезпечується клиноподібним механізмом.

6. Захвати зі змінними затискними елементами (рис.2.3, д):

- Оснащені швидкозмінними губками, що дозволяє адаптувати їх до різних виробів.

- Забезпечують високу гнучкість і універсальність у виробничих процесах.

Ключові характеристики ЗП

- Час виконання операцій затиску/розтиску: від моменту отримання сигналу до завершення операції. Його зменшення є критичним для підвищення продуктивності системи.

- Надійність і точність: гарантують стабільну роботу системи навіть за умов високих динамічних навантажень.

Висновок. Захватні пристрої є одним із ключових елементів конструкції роботів-маніпуляторів. Їхнє вдосконалення дозволяє забезпечити надійність, точність і гнучкість систем, що є необхідними умовами ефективності виробничих процесів. Різноманіття конструкцій ЗП дозволяє адаптувати їх до потреб конкретного виробництва, підвищуючи продуктивність і універсальність роботизованих систем. Детальна класифікація ЗП наведена в Додатку А.

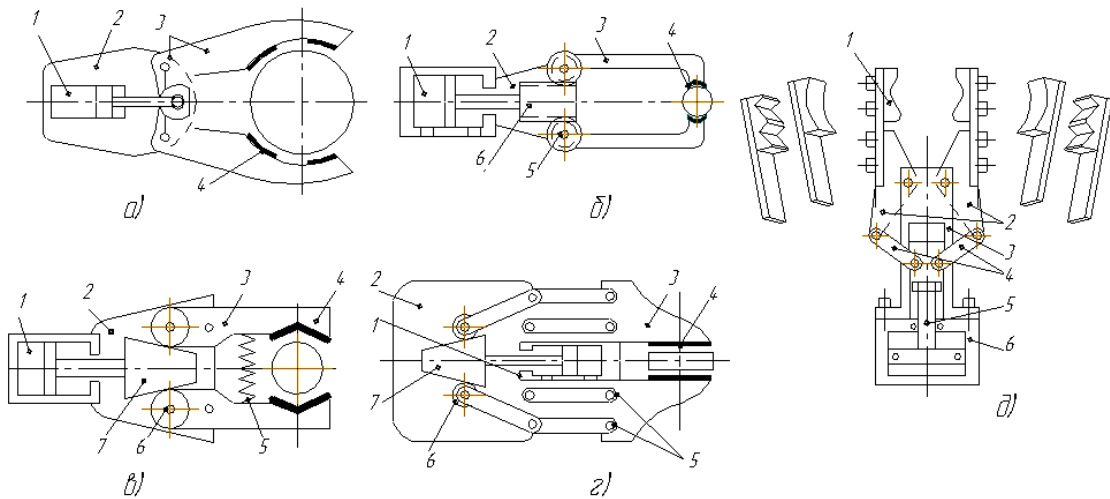


Рис.2.3. Механічні ЗП [6]

За відносно короткий період розвитку робототехніки було розроблено велику кількість різних конструкцій механічних захватних пристроїв (ЗП). Це зумовлено широким спектром роботизованих операцій і різноманіттям деталей, з якими роботи взаємодіють у різних умовах.

Загальна будова типових механічних захватних пристроїв зображена на рис.2.4.

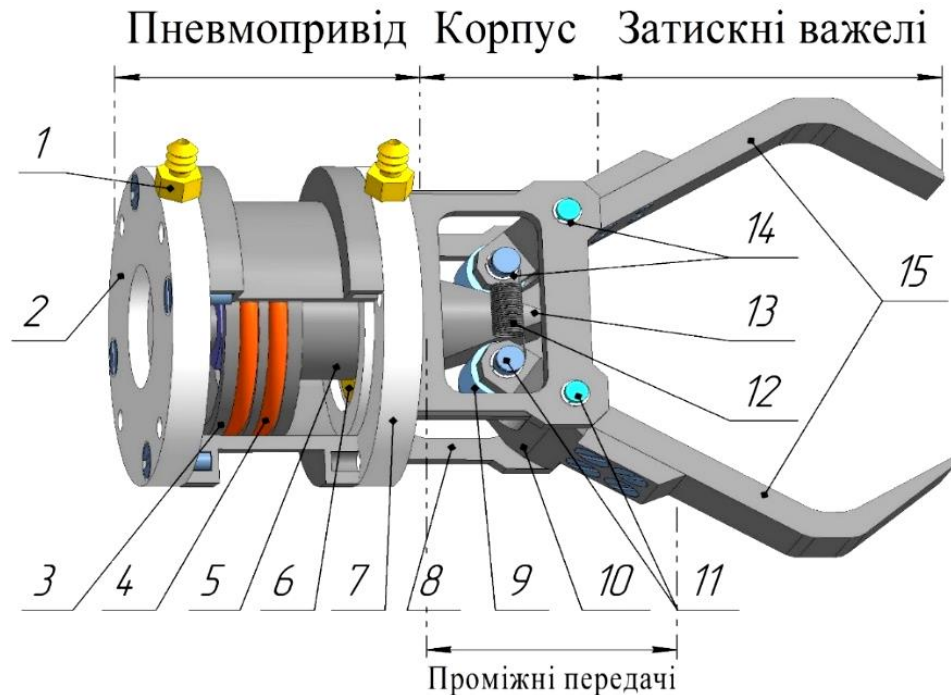


Рис.2.4. Будова типових механічних ЗП [2]:

- 1- штуцер; 2 – кришка нижня; 3 – поршень; 4 – ущільнюоче кільце; 5 – шток; 6 – втулка з ущільненням; 7 – кришка верхня; 8 – пластина; 9 – ролик; 10 – вилка; 11 – вісь; 12 – пружина розтиску; 13 – клин; 14 – стопорні кільця; 15 – затискні елементи

У сучасних роботизованих маніпуляторах, оснащених сервомоторами або кроковими двигунами, доволі часто застосовуються стандартні пневматичні захоплювальні пристрої (ЗП). Це пояснюється їхньою простотою та високою надійністю. Водночас дедалі частіше використовуються захоплювачі з електромеханічними приводами, такими як серводвигуни.

2.3. Використання захватних пристроїв у військовій сфері

Сучасна військова галузь потребує максимальної точності, безпеки та ефективності, і захоплювальні пристрої відіграють у цьому важливу роль. Вони є ключовим елементом роботизованих маніпуляторів, що використовуються для виконання різноманітних завдань – від переміщення боєприпасів до нейтралізації вибухонебезпечних об'єктів.



Рис.2.5 Виробництво артилерійських снарядів на заводі BAE Systems [4].

Один із ключових напрямів використання – це виробництво та логістика боєприпасів (рис.2.5). Транспортування снарядів, мін і ракет вимагає високої точності, оскільки навіть незначний механічний вплив може призвести до детонації. Роботизовані комплекси із захватними механізмами забезпечують безконтактне переміщення боєприпасів як на складах, так і безпосередньо в умовах бойових дій, знижуючи ризики для особового складу [4].

Не менш важливою є роль робототехнічних систем у розмінуванні. Через нестабільність запалів вибухонебезпечних предметів їх знешкодження потребує надзвичайної точності. Роботи-сапери (рис.2.6), обладнані захватними пристроями з м'яким, але надійним утриманням, можуть дистанційно маніпулювати боєприпасами, уникаючи випадкової активації.



Рис.2.6 Роботизована система розмінування Centaur [5].

Робототехнічні системи активно використовуються для технічного обслуговування та ремонту військової техніки. У бойових умовах, де

пошкодження техніки є неминучими, роботизовані механізми дозволяють виконувати ремонтні роботи без необхідності присутності особового складу в небезпечних зонах.

Перспективним напрямом є розробка роботів для бойових завдань, оснащених маніпуляторами для відкривання дверей, усунення перешкод або навіть участі в ближньому бою в урбанізованих середовищах. Завдяки високоточним захватним механізмам такі роботи здатні виконувати складні завдання, які раніше потребували безпосередньої участі людини.

Інтеграція робототехнічних систем у військову сферу не тільки підвищує ефективність бойових і логістичних операцій, але й значно знижує ризики для військовослужбовців, роблячи сучасну армію більш технологічною та безпечною.

2.4. Особливості затиску деталей типу «тіло обертання» захватним пристроєм

На сьогоднішній день забезпечення надійного та контрольованого затиску об'єктів маніпулювання є надзвичайно актуальним завданням, оскільки роботизовані маніпулятори (РМ) знаходять застосування не лише в промисловості, але й у військовій сфері. У машинобудуванні РМ гарантують ефективну роботу основного технологічного обладнання [1, с. 58], тоді як у військовій галузі мобільні роботи з маніпуляторами виконують важливі завдання, такі як захоплення і транспортування вибухонебезпечних об'єктів. У всіх цих випадках точність і контроль сил затиску мають вирішальне значення для ефективності та безпеки операцій.

Проектування захватних пристроїв (ЗП) вимагає особливої уваги, адже вони є завершальною ланкою кінематичного ланцюга робота і безпосередньо впливають на якість виконуваних маніпуляцій. До таких пристроїв висуваються жорсткі вимоги щодо точності, силових характеристик і функціональної надійності. Додатково необхідно враховувати мінімізацію масо-габаритних характеристик конструкції, оскільки це впливає на продуктивність і маневреність маніпулятора (зокрема, інерційність всієї системи).

Силові параметри ЗП є особливо важливими у ситуаціях, де потрібно уникнути пошкодження захоплюваних об'єктів. Це стосується як «делікатних» деталей у виробничих процесах, так і небезпечних або вибухонебезпечних об'єктів під час військових операцій. Для контрольованого утримання деталей типу «тіло обертання» необхідно точно розрахувати зусилля затиску з урахуванням форми, матеріалу і умов їх переміщення. Особливу увагу слід приділити динамічним навантаженням, напрямку руху, режиму роботи маніпулятора та характеристикам позиціонування об'єкта.

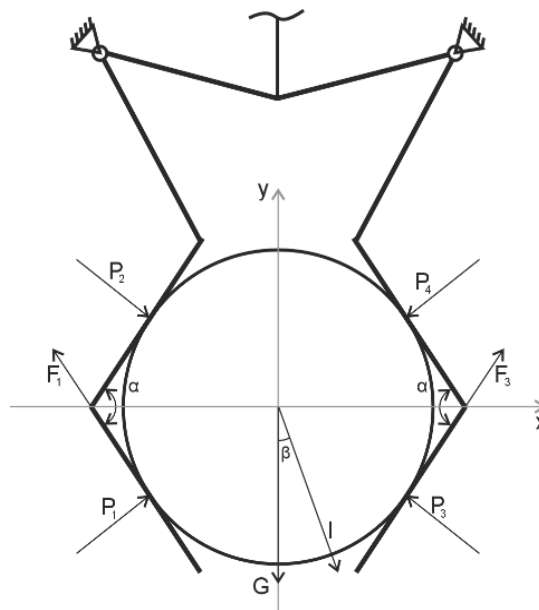


Рис.2.7. Розрахункова схема ЗП
(схема автора)

Методика силового розрахунку [2, с.88] спрямована на визначення мінімально необхідних сил затиску, які забезпечують надійне утримання об'єкта. Нижче наведено приклад розрахункової схеми захватного пристрою (рис.2.7) та відповідні рівняння для обчислення цих сил. Отримані математичні залежності можуть бути використані як на етапі проектування захватних пристроїв, так і для створення коригуючих підпрограм у системах управління роботами.

Розрахункова схема враховує специфіку процесу затиску деталі захватом і включає наступні позначення:

- **G** – сила тяжіння деталі;
- **I** – сила інерції;

- α – кут призми;
- β – кут напрямку сили інерції;
- $P1, P2, P3, P4$ – мінімально необхідні сили затиску;
- $F1, F3$ – сили тертя.

Ця схема дозволяє врахувати вплив ключових факторів, таких як динамічні навантаження, геометричні параметри та сили взаємодії, що виникають під час утримання та переміщення деталі. Такий підхід забезпечує універсальність і точність розрахунків для подальшого використання в реальних умовах.

2.5. Силевий розрахунок вертикально орієнтованого захватного пристрою

Далі розглянемо три варіанти функціонування вертикально орієнтованого захватного пристрою (ЗП) з урахуванням дії сил інерції та гравітації.

1. Загальний випадок

У цьому випадку сила інерції спрямована під кутом β до сили тяжіння деталі. Такий сценарій дозволяє оцінити вплив динамічних навантажень на механізм утримання, враховуючи складну взаємодію між компонентами сил. Аналіз цього випадку є базовим для визначення загальних закономірностей роботи ЗП.

2. Частинний випадок 1

Сила інерції діє під кутом 90° до сили тяжіння. Це моделює умови різких змін напрямку руху, коли сила інерції максимальна та спрямована перпендикулярно до ваги деталі. Такий режим характерний для моментів зупинки чи розвороту траєкторії руху, що створює підвищені вимоги до надійності затиску.

3. Частинний випадок 2

Сила інерції збігається з напрямком сили ваги (0°). Цей сценарій відповідає умовам рівноприскореного або рівномірного вертикального переміщення деталі, коли обидві сили діють уздовж однієї лінії. У цьому випадку динамічне навантаження мінімальне, але ключовим фактором залишається забезпечення стабільності утримання деталі при зміні режиму руху.

Проведений аналіз дозволяє встановити оптимальні силові параметри для кожного режиму роботи, забезпечуючи стабільне утримання об'єкта та

мінімізуючи ризики його вислизання або пошкодження. Цей підхід важливий для проектування ЗП, здатного адаптуватися до різноманітних динамічних умов роботи маніпулятора.

2.5.1. Сили затиску для деталі типу «тіло обертання»: загальний випадок

Для розрахунку загального випадку, коли сила інерції (I) спрямована під кутом β до сили ваги (G) деталі, складаємо силову схему, яка враховує взаємодію всіх компонентів сил (рис. 2.8). У цьому випадку, коли $I \leq G$, динамічне навантаження, спричинене інерцією, є менш інтенсивним у порівнянні з вагою деталі, що дозволяє спростити аналіз розподілу сил..

Для визначення мінімальних сил, необхідних для утримання деталі в захватному пристрої (ЗП), припустимо, що додаткова сила P_2 відсутня. Розглянемо проєкції сил на координатні осі OX та OY :

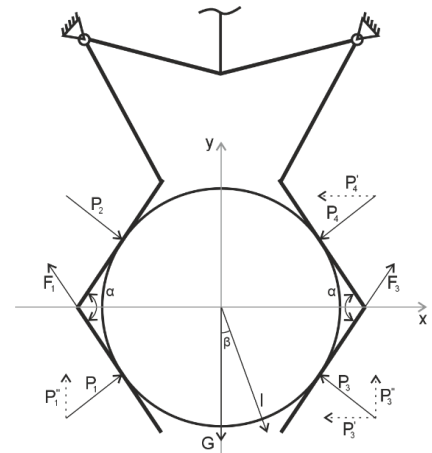
1. Проєкція на вісь OX :

Сили, які діють уздовж осі OX , складаються з компонент затискних сил, прикладених до контактних поверхонь, і сил тертя. При цьому відсутність P_2 дозволяє спростити рівняння рівноваги для цієї осі.

2. Проєкція на вісь OY :

У напрямку осі OY враховуються вага деталі (G) і нормальні реакції ЗП, які забезпечують її утримання. Крім того, сили тертя перешкоджають зсуву деталі під дією сили тяжіння.

Мінімально необхідні сили затиску визначаються ваговими характеристиками деталі, коефіцієнтом тертя між контактними поверхнями та умовами рівноваги для кожної осі. Використання цих залежностей дозволяє



точно розрахувати параметри ЗП, забезпечуючи надійне утримання деталі без надлишкового збільшення затискної сили.

Отже, рівняння рівноваги будуть:

$$\sum P_x = I \sin \beta - P'_3 \cos \left(90 - \frac{\alpha}{2}\right) - P'_4 \cos \left(90 - \frac{\alpha}{2}\right) = 0 \quad (2.1)$$

$$\sum P_y = -G - I \cos \beta + P''_1 \sin \left(90 - \frac{\alpha}{2}\right) + P''_3 \sin \left(90 - \frac{\alpha}{2}\right) + F_1 \sin \frac{\alpha}{2} + F_3 \sin \frac{\alpha}{2} = 0 \quad (2.2)$$

Для осі ОХ в (2.1) виконуємо відповідні тригонометричні перетворення:

$$\sum P_x = I \sin \beta - P'_3 \sin \frac{\alpha}{2} - P'_4 \sin \frac{\alpha}{2} = 0$$

Для рівноважного утримання деталі потрібно щоб виконувалась умова:

$$P'_3 = P'_4 = P' \\ I \sin \beta = 2P' \sin \frac{\alpha}{2}$$

Отже:

$$P' = \frac{I \cdot \sin \beta}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}$$

Для осі ОУ в (2.2) виконуємо відповідні тригонометричні перетворення і робимо такі заміни:

$$F_1 = f \cdot P''_1 \\ F_3 = f \cdot P''_3 \\ P''_1 = P''_3 = P'' \\ 2P'' \cos \frac{\alpha}{2} + 2fP'' \sin \frac{\alpha}{2} = G + I \cos \beta \\ P'' = \frac{G + I \cdot \cos \beta}{2 \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)}$$

Відповідно до розрахунків отримуємо рівняння для визначення мінімально необхідних сил затиску, також можемо отримати залежності сил затиску деталі типу «тіло обертання» від кута призми, сили інерції та ваги тіла:

$$P_1 = \frac{G + I \cos \beta}{2 \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2} \right)} \\ P_2 = 0 \\ P_3 = \frac{G + I \cos \beta}{2 \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2} \right)} + \frac{I \sin \beta}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (2.3) \\ P_4 = \frac{I \sin \beta}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

2.2.2. Сили затиску для деталі типу «тіло обертання»: сила інерції перпендикулярна до сили тяжіння.

Для виконання розрахунків у випадку, коли сила інерції спрямована під кутом 90° до сили тяжіння G деталі, використовується схема сил затиску заготовки (рис. 2.3). Такі схеми відтворюють горизонтальний рух руки робота при переміщенні деталі на наступну позицію. Припускаємо, що $I \leq G$.

Аналогічні розрахунки, проведені в п. 2.2.1, дають такі результати за умови, що кут $\beta = 90^\circ$.

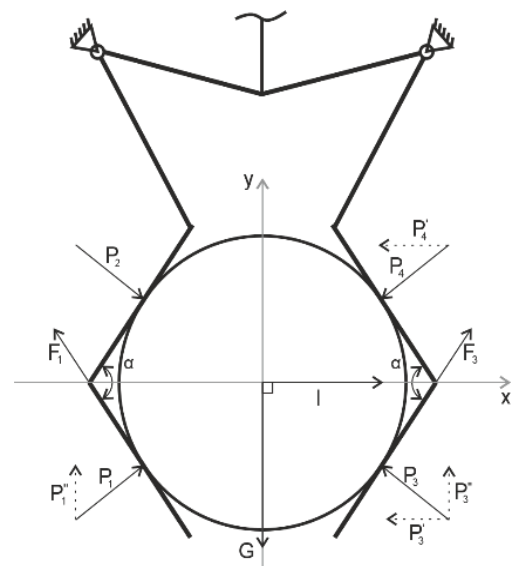


Рис.2.3. Схема для розрахунку сил затиску ЗП, $\beta = 90^\circ$ (схема автора)

$$P_1 = \frac{G}{2 \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2} \right)}$$

$$P_2 = 0$$

$$P_3 = \frac{G}{2 \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2} \right)} + \frac{I}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

$$P_4 = \frac{I}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

2.2.3. Сили затиску для деталі типу «тіло обертання»: сила інерції і сила тяжіння мають один напрямок.

Для проведення розрахунку, коли сила інерції має той самий напрямок, що і сила тяжіння деталі, складаємо схему для сил затиску заготовки (рис. 2.4). Така розрахункова схема вважається самою навантаженою, і саме її можна брати за

основу розрахунку сил затиску та послідуочого вибору характеристик привода, який буде забезпечувати необхідну силу. Розглянемо випадок коли $I \leq G$.

$$P_1 = P_3 = \frac{G+I}{2(\cos\frac{\alpha}{2} + f\sin\frac{\alpha}{2})} \quad (2.4)$$

$$P_2 = P_4$$

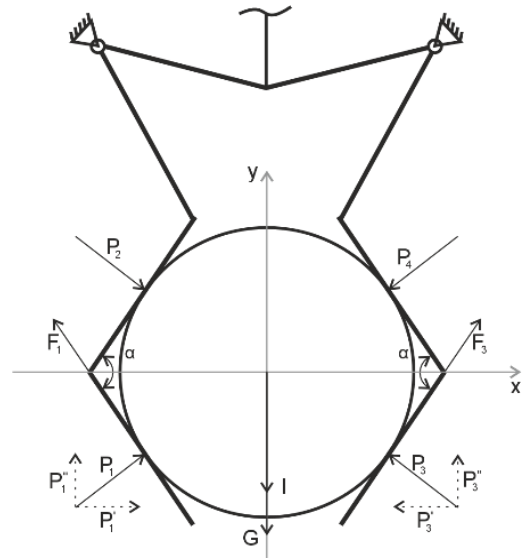


Рис.2.4. Схема для розрахунку сил затиску 3П $\beta=0^\circ$ (схема автора)

2.3. Дослідження впливу конструктивних характеристик пристроїв на сили затиску

На величину сил затиску P_1, P_2, P_3, P_4 будуть впливати сила тяжіння G , варіанти напрямлення сили інерції I та конструктивні параметри захвату. Досліджуючи вплив конструктивних параметрів 3П можна помітити, що на сили затиску мають вплив такі кути: кут призми α та кут напрямку сили інерції β . Величина сил затиску P_1, P_2, P_3, P_4 залежить від декількох факторів, серед яких сила тяжіння (G), напрям сили інерції (I), а також конструктивні параметри захватного пристрою. Дослідження впливу конструктивних характеристик 3П показує, що на затискні сили суттєво впливають:

1. Кут призми (α): визначає геометрію контактної поверхні 3П; зі збільшенням кута (α) змінюється розподіл нормальних і тертьових компонент затискних сил, що може як підвищувати, так і знижувати надійність утримання.

2. Кут напрямку сили інерції (β): відображає взаємне розташування сили інерції (I) відносно сили тяжіння (G). Значення кута (β) впливає на рівновагу системи, оскільки розподіл інерційних сил змінює потребу в затискних силах для утримання деталі.

Вплив конструктивних параметрів на сили затиску. При зміні кута (α): зі зменшенням (α) збільшується нормальна складова сили затиску, що підвищує стійкість деталі, але може збільшити сили тертя та необхідні зусилля для затиску. При зміні кута (β): залежно від напрямку інерційної сили (I), змінюється розподіл навантажень на захват. При $\beta = 0$: I спрямована паралельно силі тяжіння G , що зменшує її вплив на затиск. При $\beta = 90$: I спрямована перпендикулярно до G , створюючи додатковий горизонтальний компонент, який збільшує вимоги до сили затиску. Отже, конструктивні параметри захватного пристрою, зокрема кут призми α та кут напрямку інерційної сили β , суттєво впливають на затискні сили. Їх правильний підбір є критичним для забезпечення надійного утримання деталі та оптимізації роботи системи в умовах впливу сили тяжіння та інерції.

2.3.1. Залежності сил затиску від конструктивних особливостей захватного пристрою: загальний випадок

Розглянемо залежність сил затиску від кута β , що визначає напрямок дії сили інерції, для кількох характерних значень кута призми α (110° , 120° , 150°). Для спрощення розрахунків припускаємо, що сила інерції I дорівнює 10 Н, сила ваги G також становить 10 Н, а коефіцієнт тертя f дорівнює 0,2. Щоб полегшити обчислення, скористаємося програмним забезпеченням для математичних розрахунків, таким як Wolfram Alpha. Наприклад, для визначення залежності $P_3(\beta)$ на основі рівняння (2.3) при куті призми $\alpha = 120^\circ$, необхідно сформулювати відповідний запит (див. рис. 2.5).

`Plot[P=(10 + 10 cos( $\beta^\circ$ )) / (2 (cos(120°/2) + 0.2 sin(120°/2))) + (10 sin( $\beta^\circ$ )) / (2 sin(120°/2)), { $\beta$ , 0, 90}]`

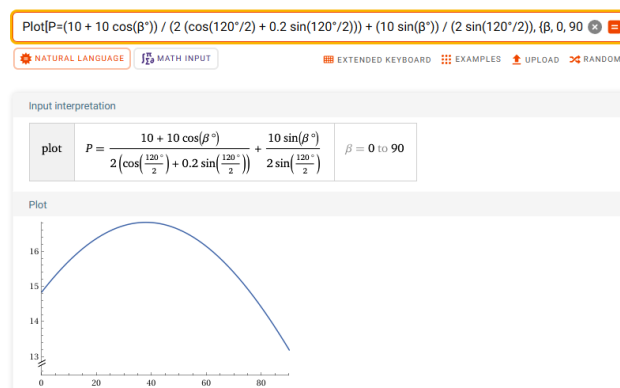


Рис.2.5. Скріншот виконання розрахунку залежності $P_3(\beta)$ при $\alpha=120^\circ$

(скріншот автора)

Отримані графіки функції будемо зберігати у спеціально створеній таблиці (Додаток Б). Аналізуючи форму графіків, можна дійти висновку, що найбільше навантаження припадає на P_3 . При цьому, зі зменшенням кута α спостерігається зменшення сили затиску.

Також видно, що P_3 досягає максимального значення при кутах β у діапазоні від 20° до 45° . У таких випадках доцільно знижувати силу інерції деталі, щоб захистити затискний пристрій (ЗП) від надмірних навантажень.

2.3.2. Залежності сил затиску від кута призми захватного пристрою для статичного випадку

Визначимо залежність сил затиску від кута призми α у статичному випадку на основі рівняння (2.4). Для цього приймемо, що сила інерції I дорівнює 0 Н, сила тяжіння G становить 6 Н, а коефіцієнт тертя f дорівнює 0,1.

Також дослідимо залежність сил затиску від кута напрямку сили інерції β для кількох характерних значень кута призми α (110° , 120° , 150°). У цьому випадку рівняння (2.4) набуде вигляду, поданого на рисунку 2.6.

$$P_1 = P_3 = \frac{6}{2 \left(\cos \frac{\alpha}{2} + 0,1 \sin \frac{\alpha}{2} \right)}$$

`Plot[P=(6)/(2(cos(α°/2)+0.1sin(α°/2))), {α, 80, 160}]`

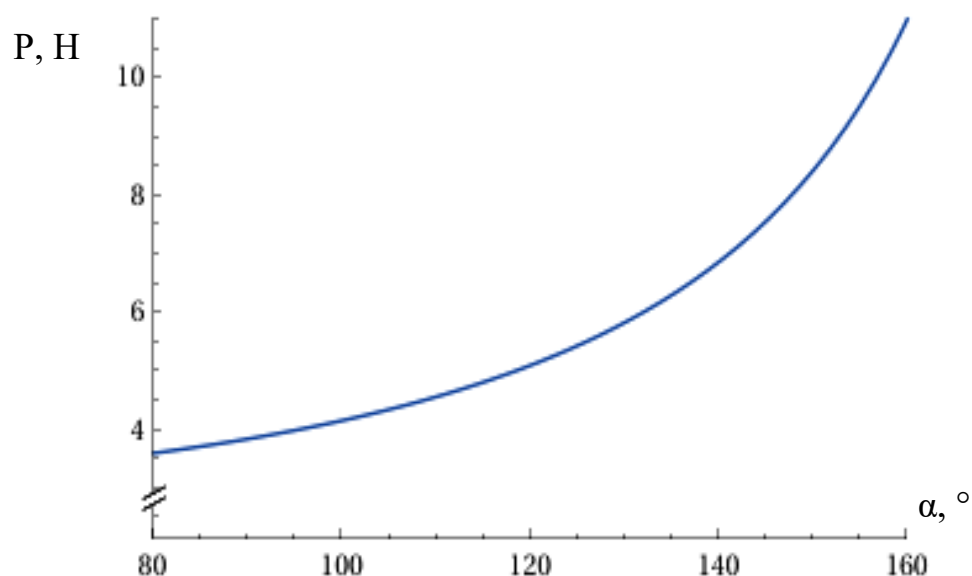


Рис.2.6. Залежності сил затиску $P(\alpha)$ у статичному випадку (скріншот автора)

3. Експериментальна частина

3.1. Постановка дослідження силових характеристик

Для перевірки точності теоретичних розрахунків необхідних сил затиску була розроблена схема та методика експериментальних досліджень. Оскільки дослідження проводилися у статичних умовах, вони враховували лише дію сили тяжіння деталі, виключаючи вплив сил інерції.

З метою спрощення та підвищення надійності експерименту було застосовано спрощену двоточкову схему затиску (рис. 3.1), описану у джерелі [8]. На її основі було спроектовано конструкцію експериментального затискного пристрою (рис. 3.2).

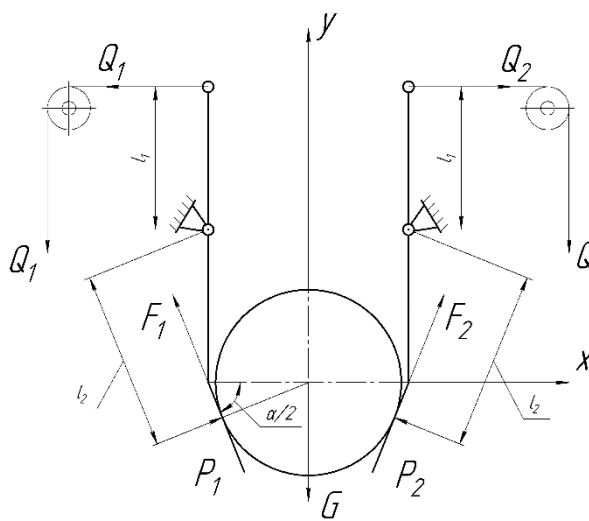


Рис. 3.1. Схема затиску деталі установки для вимірювання сил затиску ЗП робота (схема автора)



Рис. 3.2. Установа для вимірювання сил затиску ЗП робота (фото автора)

Конструктивно пристрій являє собою раму (рис. 3.2), у якій затискні важелі закріплені на опорних підшипниках. На кінцях важелів розташовані тримачі для змінних затискних елементів, які надійно фіксуються на своїх місцях. Завдяки такій конструкції затискні елементи можуть виготовлятися методом 3D-друку, що дозволяє адаптувати їх для утримання деталей із різними кутами призми.

Важелі мають можливість змінювати відстань між опорами, що дає змогу налаштовувати їхнє вертикальне положення відповідно до діаметра деталі та кута призми, згідно з розрахунковою схемою (рис. 3.2). До верхніх частин важелів прикріплюються гнучкі стрічки, які проходять через ролики, а на їхніх

вільних кінцях підвішуються гири (таровані вантажі), що забезпечують необхідну силу затиску [8].

Для забезпечення об'єктивності досліджень важливо досягти відповідності між розрахунковою та експериментальною схемами, що передбачає узгодженість параметрів обох схем. На основі рівняння (2.4) складено залежності для розрахунків.

$$P_1 = P_2 = P_p = \frac{G}{2 \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2} \right)}$$

Для створення необхідних сил затиску прикладаються зовнішні сили, результуюча яких дорівнює ($Q_p = Q_1 = Q_2$). Значення цих сил визначається наступним чином:

$$P_p \cdot l_2 = Q_p \cdot l_1. \quad (2.5)$$

3.2. Експериментальне дослідження силових характеристик затиску деталей

Для отримання експериментальних результатів дослідження використаємо установку, зображену на рисунку 3.2, та побудуємо теоретичний графік залежності, описаний у пункті 2.3.2. Як об'єкт для вимірювання використовуватимемо зважену деталь типу «тіло обертання» (рис. 3.3).



Рис. 3.3 Зважування деталі (фото автора).

На рисунку 3.3 представлено процес зважування деталі (фото автора). Отримана вага деталі становить 2,21 Н, що дає змогу розрахувати теоретичну залежність сили затиску від кута призми за методикою, аналогічною до пункту 2.3.2.

Для визначення експериментальних сил затиску скористаємося співвідношенням (2.5).

$$P_e = Q_e \cdot \frac{l_1}{l_2}$$

Зібрані дані записуємо в таблицю 1, а фотографії процесу виконання експерименту наведені в Додатку В.

Таблиця 1.

Результати експериментальних досліджень сил затиску (таблиця автора)

$\alpha, ^\circ$	m, г	$Q_e, \text{Н}$	l_1/l_2	$P_e, \text{Н}$	$P_{e \text{ сеп.}}, \text{Н}$
110	151	1,48	2	2,96	2,98
	150	1,47		2,94	
	155	1,52		3,04	
120	160	1,57		3,14	3,24
	165	1,62		3,24	
	170	1,67		3,34	
150	320	3,14		6,28	6,02
	300	2,94		5,89	
	300	2,94		5,89	

Зібрані дані записуємо в таблицю 1, а фотографії процесу виконання експерименту наведені в Додатку В.

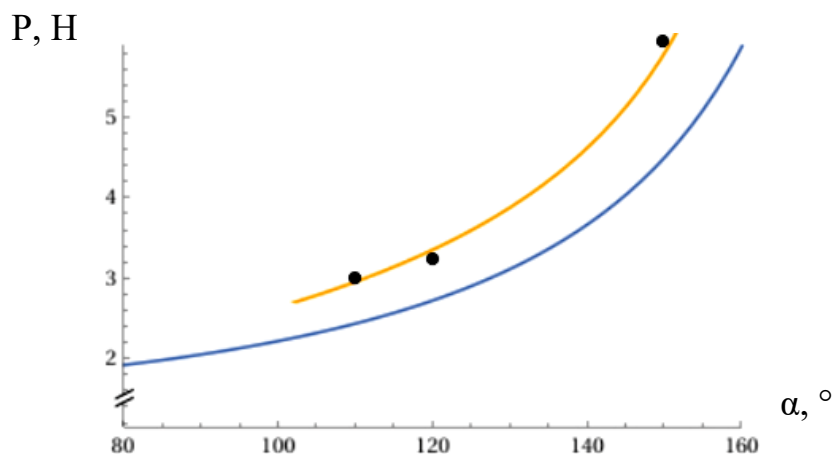


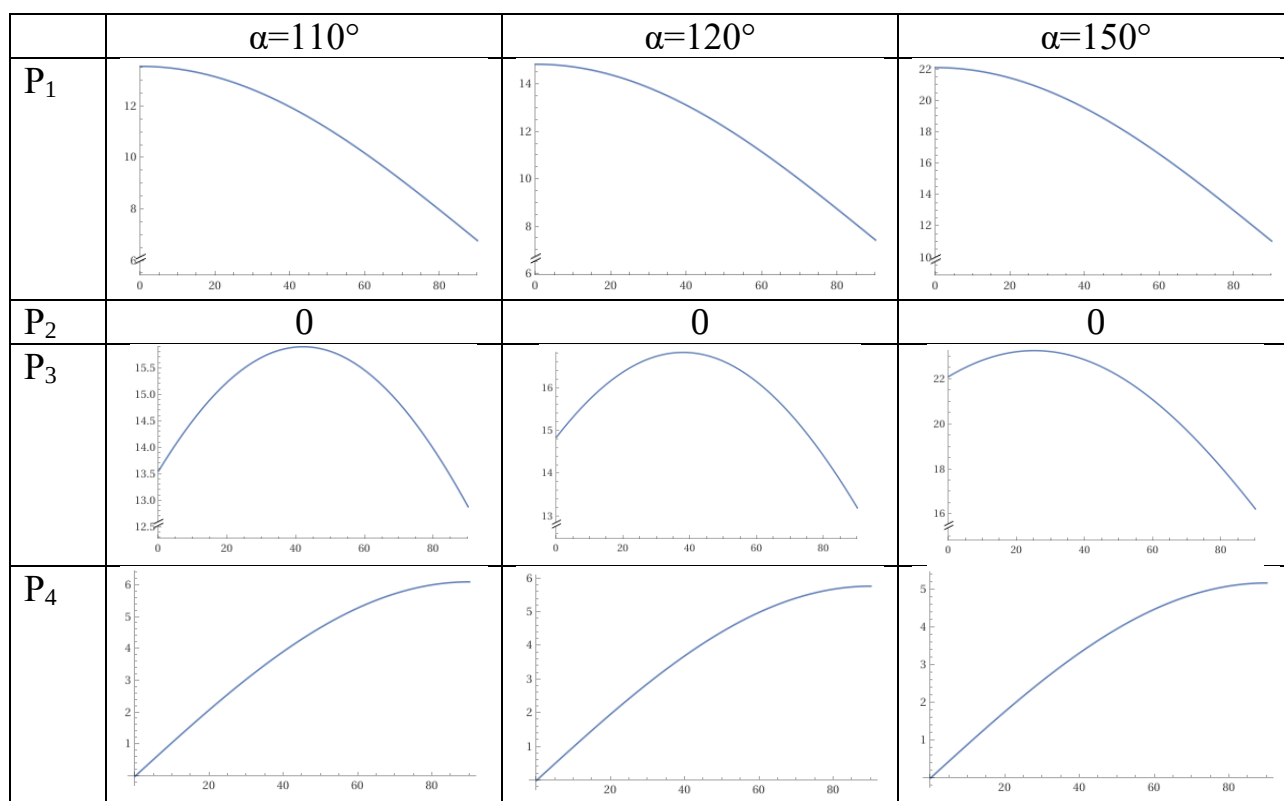
Рис.3.4. Порівняння теоретичного розрахунку залежності сил затиску $P(\alpha)$ у статичному випадку для $G = 2,21$ (Н) і експериментальних даних у вигляді точок і апроксимованого верхнього графіку (скріншот автора).

Аналіз графіка свідчить, що теоретично встановлена залежність відповідає результатам експериментальних досліджень, що підтверджує правильність

обраної методики розрахунку сил затиску. Різниця у висотах графіків може бути обумовлена впливом сил тертя, які виникали під час роботи експериментальної установки.

На основі теоретичних і експериментальних даних було створено та виготовлено на 3D-принтері затискний пристрій (ЗП) з кутом призми $\alpha = 120^\circ$. 3D-модель ЗП наведено в додатку Г, а надрукований прототип встановлено на стенді для вимірювання сил затиску (рис. 3.2).

Графіки впливу кутів призми на сили затиску ЗП залежно від напрямку сили інерції (розробка автора)



Експериментальне дослідження силових характеристик затиску деталей за допомогою установки для вимірювання сил затиску ЗП



Рис.3.5 Експериментальне вимірювання сил затиску циліндричної деталі в ЗП з кутом призми 110° (фото автора)



Рис.3.6 Експериментальне вимірювання сил затиску циліндричної ЗП з кутом призми 120° (фото автора)

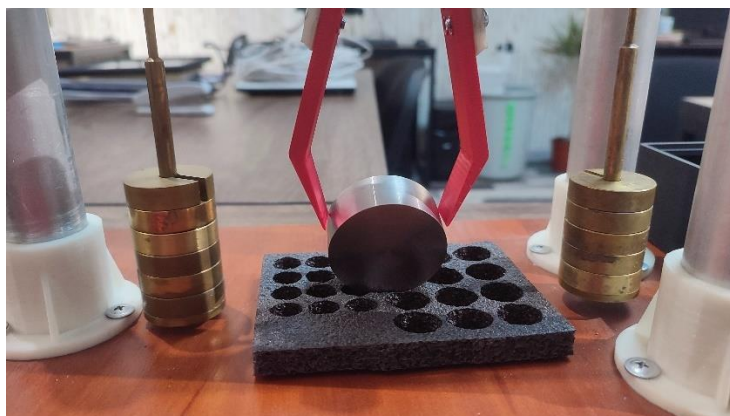


Рис.3.7 Експериментальне вимірювання сил затиску деталі типу «тіло обертання» ЗП з кутом призми 150° (фото автора)

3D-модель ЗП з кутом призми $\alpha = 120^\circ$

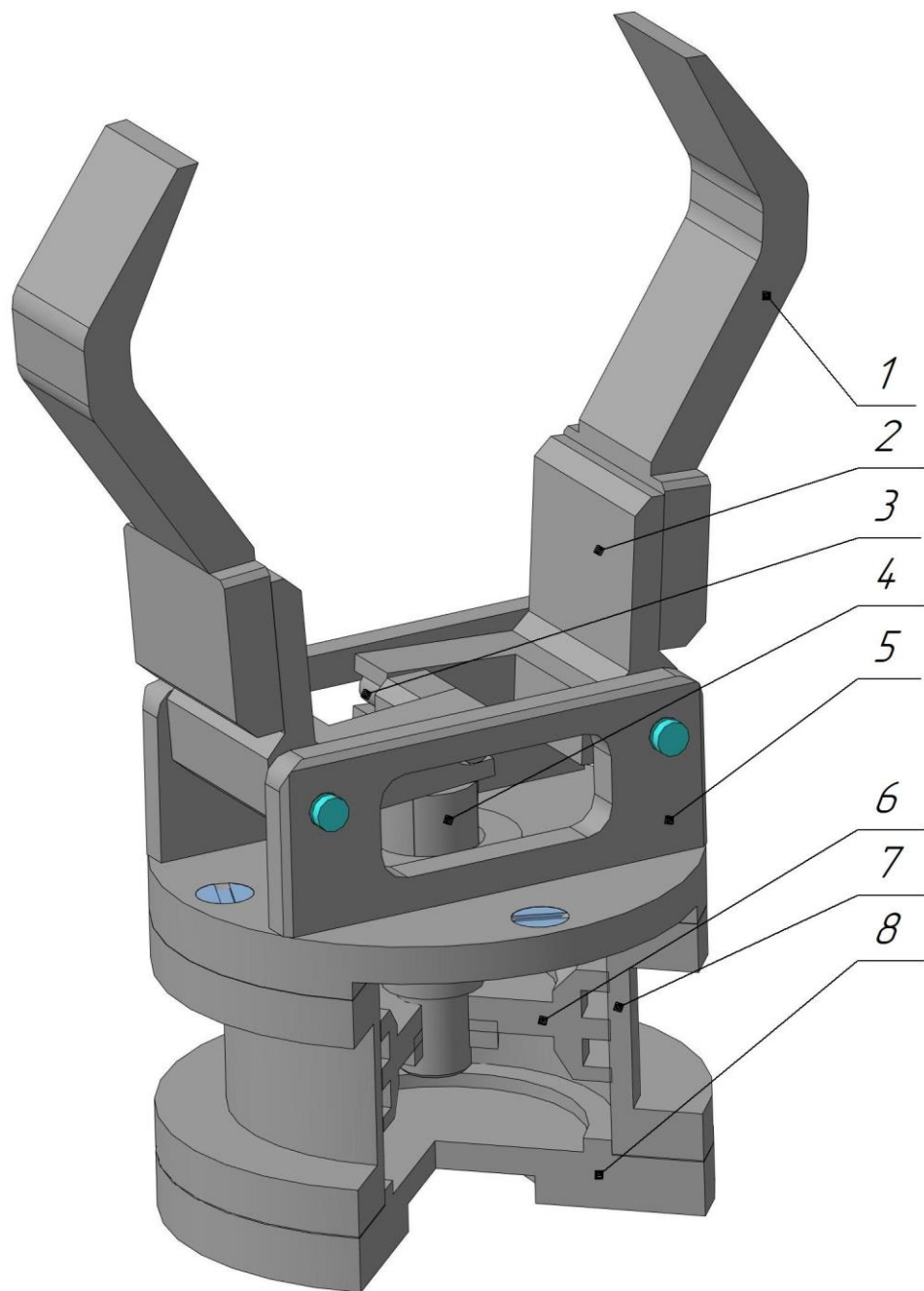


Рис.3.8. Основні елементи розробленої 3D-моделі ЗП:

1 – затискні елементи, 2 – затискні важелі, 3 – вісь, 4 – шток, 5 – кришка верхня, 6 – поршень, 7 – циліндр, 8 – кришка нижня.

ВИСНОВКИ

У ході проведеного дослідження були виконані поставлені завдання, що дало змогу отримати всебічне уявлення про особливості застосування захватних пристроїв у машинобудівній сфері та розглянута можливість використання їх у військовій сфері, також досліджено їх силові характеристики.

1) Аналіз сучасних тенденцій розвитку роботів-маніпуляторів підтвердив їхню зростаючу роль у машинобудівному виробництві. Паралельно зростає попит використання їх у військових операціях, таких як транспортування боєприпасів, розмінування та технічне обслуговування військової техніки. Використання роботизованих систем значно підвищує ефективність і безпеку виконання завдань, мінімізуючи ризики для військового персоналу.

2) Вивчення конструктивних особливостей захватних пристроїв дозволило класифікувати основні типи механізмів за принципом дії та конструкцією. Встановлено, що вибір захватного пристрою визначається специфікою виконуваних завдань та характеристиками об'єктів захоплення.

3) Розроблено теоретичні моделі силового розрахунку вертикально орієнтованих захватних пристроїв, які враховують особливості утримання циліндричних деталей за різних режимів навантаження.

4) Вивчено вплив конструктивних характеристик захватного пристрою на сили затиску, визначено залежності між параметрами механізму та силами утримання об'єкта.

5) Проведено експериментальне дослідження силових характеристик затиску для циліндричних деталей. Результати підтвердили правильність теоретичних розрахунків. Експерименти проводилися у статичних умовах, що дозволило оцінити вплив силових параметрів на стабільність утримання об'єкта без урахування інерційних сил.

Отримані результати сприяють удосконаленню конструкцій захватних пристроїв, які застосовуються в машинобудуванні, у військовій сфері, забезпечуючи підвищення їх ефективності, надійності та безпеки в умовах реальної експлуатації.

4. Технологічна частина

4.1. Аналіз точності та технологічності заданих деталей

Аналіз точності параметрів деталі проводиться для оцінки відповідності вимогам механічної обробки, чинним стандартам і функціональному призначенню. Точність механічної обробки визначається параметрами розмірної точності, геометричної форми, відносних поворотів поверхонь деталі та їх шорсткістю. Ці параметри визначаються відхиленням реальних розмірів поверхонь від заданих у робочому кресленні.

Надмірно завищені вимоги до точності призводять до зростання собівартості обробки, тоді як занижені можуть викликати появу дефектної продукції та погіршення експлуатаційних характеристик виробу. Важливо оцінити однозначність, достатність і відповідність заданих параметрів чинним стандартам.

Для аналізу точності деталей слід виконати ескіз із нумерацією всіх оброблюваних поверхонь, а висновки щодо точності параметрів занести до таблиці.

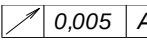
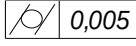
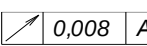
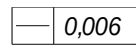
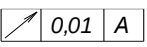
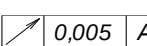
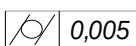
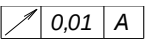
Аналіз креслення шестерні показує, що всі розміри поверхонь і їх відхилення задані коректно й у достатньому обсязі для забезпечення механічної обробки. Усі вимоги до поверхонь відповідають функціональному призначенню деталі, чинним стандартам і умовам експлуатації.

Проте для обробки деталі на верстатах із ЧПУ необхідно узгодити розташування розмірів поверхонь з координатною системою верстата. Це вимагає технологічної підготовки креслення з перенесенням і перерахунком розмірів поверхонь від спільного початку координат.

Розміри, їх відхилення та шорсткість наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Параметри точності деталі

№	Найменування поверхні	Розміри з відхиленням	Квалітет	Точність відносних поворотів	Точність форми	R _a
1	2	3	4	5	6	7
1, 14	Торці	113 ^{-0,4}	H12	-	-	6,3
2	Зовнішня циліндрична	Ø17 ^{-0,08} _{-0,095}	e6			0,16
3	Канавка	Ø16,85 ^{-0,43}	h9		-	3,2
4, 6	Торці	16 ^{-0,02}	h8	-		0,63
5	Зубці	Ø24,7 ^{-0,33}	h8		-	2,5
7	Зовнішня циліндрична	Ø38,1 ^{-0,04} _{-0,055}	e6	-	-	1,25
8	Канавка	Ø16,85 ^{-0,43}	h9	-	-	3,2
9	Зовнішня циліндрична	Ø17 ^{-0,08} _{-0,095}	e6			0,16
10	Шліці	3,5 ^{-0,1} _{-0,2}	-	-	-	3,2
11	Канавка	Ø15 ^{-0,27} 1,4 ^{+0,25}	h13 H14	-	-	3,2
12	Зовнішня циліндрична	Ø16 ^{-0,032} _{-0,075}	e6		-	1,25
13	Канавка	Ø15 ^{-0,27} 1,4 ^{+0,25}	h13 H14	-	-	3,2

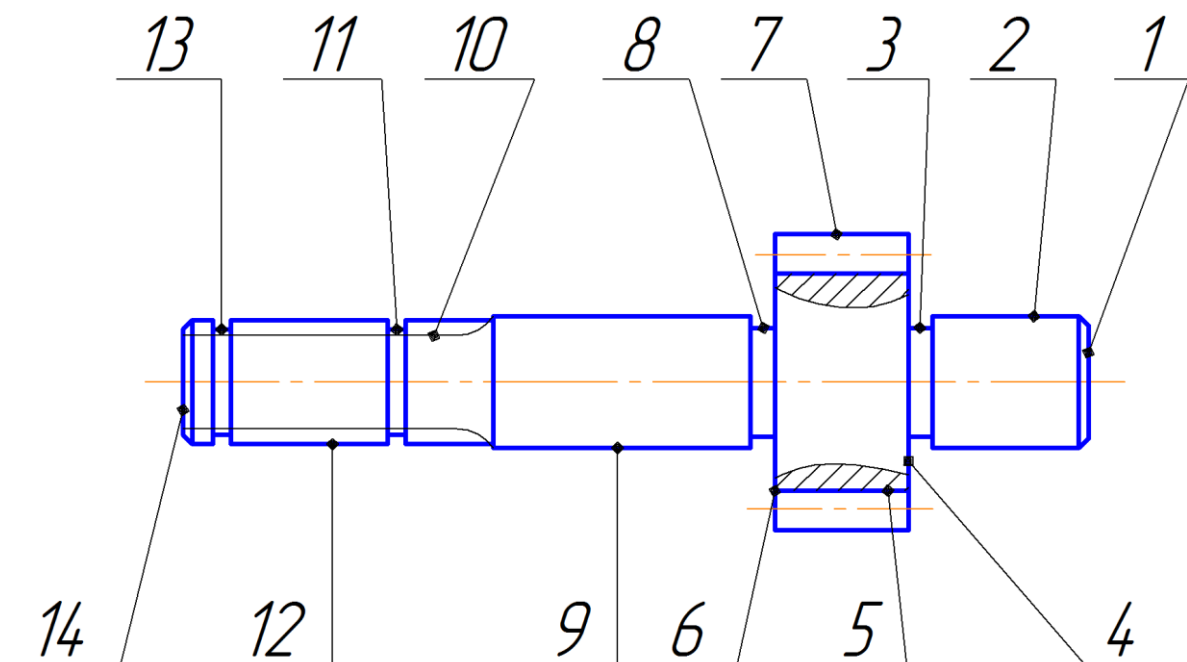
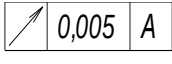
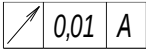
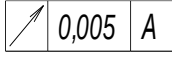
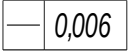


Рис. 4.1. Поверхні що обробляються в деталі

Аналіз параметрів точності (табл. 4.1) показує, що шестерня має підвищені вимоги до точності окремих поверхонь. Зокрема: радіальне биття шийок $\varnothing 17^{-0,08}_{-0,095}$  відносно осі деталі; циліндричність шліцьової поверхні $\varnothing 16^{-0,032}_{-0,075}$ також контролюється за вимогами радіального биття  ; торці зубчастого вінця є відповідальними поверхнями, які мають забезпечувати радіальне биття та прямолінійність із точністю $16_{-0,02}$,   . Шорсткість зазначених поверхонь досягає 0,16 мкм, що зумовлено службовим призначенням шестерні.

Таким чином, шестерня є однією з найбільш відповідальних деталей шестеренного насоса, через що до неї висуваються високі вимоги щодо точності та шорсткості поверхонь.

Аналіз технологічності деталі. Технологічність деталі визначається конструктивними особливостями, що впливають на працездатність обробки: технологічна конструкція деталі сприяє застосуванню стандартних інструментів і пристроїв, зменшує обсяг механічної обробки та кількість технологічних операцій. Серійність виробництва і тип обладнання також впливають на технологічність. Деталь належить до технологічного класу "вали". Вона має просту конструктивну форму і зручні бази, що забезпечують: легкий доступ різального інструменту до всіх оброблюваних поверхонь; можливість прямого контролю параметрів кожної поверхні.

Шестерня є технологічною для серійного виробництва. При обробці на верстатах із ЧПК необхідно підготувати креслення деталі для узгодження її координат із системою координат верстата й інструмента.

4.2. Аналіз діючого технологічного процесу

Аналіз діючого на підприємстві ПАТ НВП "Радій" технологічного процесу обробки шестерні ведучої проводиться для оцінки його відповідності сучасним стандартам машинобудування. Основні цілі аналізу:

Оцінка відповідності сучасним вимогам: вивчення відповідності технологічного процесу стандартам точності, шорсткості та геометрії оброблюваних поверхонь. Визначення рівня автоматизації та ефективності застосовуваного обладнання.

Виявлення відхилень та недоліків: аналіз можливих недоліків у процесі, таких як надмірна трудомісткість, перевитрати матеріалів або енергії. Визначення вузьких місць, які впливають на якість продукції або її собівартість.

Розробка рекомендацій щодо модернізації, пропозиції з удосконалення конструктивних елементів процесу: перехід на більш сучасне обладнання (наприклад, використання верстатів із ЧПК). Застосування нових матеріалів ріжучих інструментів для підвищення точності й продуктивності. Оптимізація послідовності технологічних операцій. Впровадження цифрових рішень для моніторингу та управління процесом.

Висновки та рекомендації за результатами аналізу можуть суттєво покращити ефективність процесу, підвищити якість продукції та зменшити її собівартість.

Таблиця 4.2

Базовий технологічний процес обробки деталі

№ операції	Найменування операції	Обладнання	T _{шт} , хв
005	Фрезерно-центрувальна	MP-76	0,58
010	Токарно-копіювальна	CA 022Л	0,48
015	Токарно-копіювальна	CA 022Л	0,96
020	Токарно-копіювальна	CA 023	0,95
025	Токарно-копіювальна	CA 023	0,69
030	Токарно-копіювальна	CA 023	0,70
035	Зубофрезерна	5B312	2,57
040	Зубодовбальна	5122	2,97
045	Зубошевінгувальна	5702В	2,76
050	Шліцефрезерна	5350А	1,43
055	Круглошліфувальна	3А151	0,59
060	Круглошліфувальна	3А151	0,70
065	Круглошліфувальна	3М151	0,99
070	Шліфувальна	АД15-700 ЕР45	1,63
075	Шліфувальна	АД15-700 ЕР45	1,63
080	Суперфінішна	3879	0,50
085	Доводочна	020-011	0,35

Аналіз діючого техпроцесу. Дослідження технологічного процесу механічної обробки шестерні ведучої на базовому підприємстві ПАТ НВП “Радій” показало, що: процес забезпечує високу точність, продуктивність і відповідає стандартам машинобудування та практикам передових підприємств. Для обробки застосовується сучасне технологічне обладнання: металообробні автомати, напівавтомати, затискні пристрої з гідро- та пневмоприводами. Використовуються стандартні та спеціальні різальні й вимірювальні інструменти, що відповідають сучасним вимогам.

Однак, основним недоліком є низька гнучкість процесу, пристосованого до багатосерійного й масового виробництва, тоді як обсяги випуску відповідають серійному типу. Це обмежує ефективність у сучасних умовах.

Пропозиції щодо модернізації. Для підвищення гнучкості виробництва рекомендовано:

1. Оптимізація токарної обробки: замість п’яти токарно-копіювальних операцій і однієї токарно-гвинторізної пропонується використовувати вертикальний двошпиндельний токарний центр моделі DVT 320 Hessapp GmbH (Німеччина). На одній операції (010) виконувати повну обробку довгої та короткої частин шестерні.

2. Раціоналізація шліфування торців зубчастого вінця: замість чотирьох послідовних торцешліфувальних операцій раціонально сумістити їх у дві: чорнову та чистову. Використовувати одночасне оброблення торців двома кругами.

3. Удосконалення шліфування довгої цапфи, зовнішнього діаметра зубчастого вінця та шліців: замість трьох операцій на окремих круглошліфувальних верстатах (3A151) запропоновано використовувати один універсальний верстат із ЧПК моделі 3M151Ф2, що має розширені технологічні можливості.

Очікувані результати модернізації. Впровадження запропонованих змін дозволить:

- Зменшити кількість технологічних операцій;

- Скоротити кількість необхідних працівників і зменшити виробничу площу;
- Знизити витрати на транспортні операції;
- Підвищити точність обробки;
- Забезпечити гнучкість у серійному виробництві завдяки використанню верстатів із ЧПК, які легко переналаштовуються.

Таким чином, запропонована модернізація відповідає сучасним вимогам до гнучкості, точності та ефективності виробництва.

4.3. Вибір заготовок та способу їх виготовлення

4.3.1. Аналіз матеріалу деталей

Спосіб виготовлення заготовок для деталей машин визначається їх призначенням, конструктивними особливостями, матеріалом, технічними вимогами, типом виробництва та економічною доцільністю. Для оптимального вибору заготовки необхідно враховувати всі зазначені фактори одночасно, оскільки між ними існує тісний взаємозв'язок. Аналіз функціонального призначення насоса, заданих деталей, умов їх експлуатації та конструктивної форми дозволяє визначити матеріал для виготовлення цих деталей. Відповідно до вимог базового підприємства, а також практичного досвіду проектування та експлуатації аналогічних шестеренних насосів, для виготовлення ведучої шестерні застосовують леговану сталь марки 18ХГТ згідно з ГОСТ 4543-71. Характеристики механічних властивостей сталі 18ХГТ наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Механічні властивості матеріалу деталі шестерня.

Марка матеріалу	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_s , %	Твердість НВ
1	2	3	4	6
18ХГТ	1700	1450	7	890

Хімічний склад матеріалу деталі наведений в таблиці 4.4.

Хімічний склад матеріалу деталі.

Марка матеріалу	C	Cr	Cu	Si	Mn	Ni	Ti	P
1	2	3	4	5	6	7	8	9
18ХГТ	1,5-1,8	1.2-1.6	-	0.1-0.12	1.1-1.5	0.2-0.25	1.3-1.6	до 0,02

У магістерській роботі прийнято, що обраний матеріал є найбільш оптимальним для даної деталі з урахуванням умов серійного виробництва та конструктивних особливостей, тому зміна матеріалу деталі вважається недоцільною. У базовому технологічному процесі використовується метод отримання заготовки – об'ємне штампування. Цей метод має значні переваги порівняно з іншими способами, такими як кування. Об'ємне штампування дозволяє отримувати заготовки складної форми з високою якістю поверхні (шорсткість Rz 80...20) та мінімальними припусками. До того ж, цей метод характеризується високою продуктивністю (десятки та сотні поковок за годину).

Після штампування заготовки проходять термічну обробку – відпал, метою якої є: усунення дефектів, що виникають внаслідок нагрівання та деформації, зниження твердості, усунення залишкових напружень, покращення оброблюваності різанням, підготовка структури матеріалу для кінцевої термічної обробки.

Для підвищення довговічності ріжучого інструменту при обробці поковок та полегшення контролю якості поверхні поковки їх очищають від окалини на дробоструйних апаратах.

Після обробки різанням деталь піддається кінцевій термічній обробці – дифузійному насиченню неметалами. Процес передбачає цементацію поверхні на глибину $h = 0,7...1,3$ мм з досягненням твердості 57...63 HRC на поверхні та 25...45 HRC у серцевині.

Окремо здійснюється розрахунок вартості виготовлення заготовки методом об'ємного штампування. Деталі щодо характеристик заготовки наведено у таблиці 4.5.

Характеристика заготовки деталі шестерня ведуча.

Метод	Маса деталі, кг	Маса заготовки, кг	Коефіцієнт використання матеріалу
Об'ємна штамповка	0,241	0,466	0,52

Вартість заготовок 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 $S_{\text{баз}} = 18055$ – 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;

$Q = 0,466$ – вага заготовки, кг;

$q = 0,241$ – вага деталі, кг;

$S_{\text{від}} = 6100$ – вартість 1 т відходів, грн.

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{18055}{1000} \cdot 0,466 \cdot 1,05 \cdot 0,83 \cdot 0,93 \cdot 1,93 \cdot 1 \right) - (0,466 - 0,241) \cdot \frac{6100}{1000} = 11,788 \text{ грн.}$$

Трудомісткість механічної обробки можна значно зменшити, якщо використовувати заготовку із зубчастим вінцем, отриманим методами пластичного деформування. Це дозволить знизити витрати на матеріал, однак вартість такої заготовки буде вищою, оскільки для її виготовлення потрібне спеціалізоване обладнання. Водночас, при великих обсягах виробництва додаткові витрати на обладнання можуть бути компенсовані за рахунок суттєвого зменшення витрат на механічну обробку.

4.4. Вибір методів та маршрутів обробки поверхонь деталі

Сучасна теорія технології машинобудування представляє побудову оптимального технологічного процесу виготовлення деталі як направлений пошук з використанням багатьох конструктивних, функціональних, економічних особливостей та обмежень, а також особливостей керування і організації виробництва. На більшості цих особливостей великий вплив має підмножина маршрутів обробки окремих поверхонь деталі. Таку підмножину маршрутів

можна визначити виходячи з необхідної точності та шорсткості поверхонь які оброблюються та точності заготовки на підставі закону копіювання похибок з урахуванням типових маршрутів обробки поверхонь і таблиць економічної точності різних методів обробки.

Вирішення поставленої задачі виконується в такій послідовності:

1) розраховують по кожній оброблюваній поверхні величину необхідного загального уточнення :

$$\varepsilon_3 = \frac{\delta_3}{\delta_0}$$

де: $\delta_3; \delta_0$ - відносний допуск на розмір заготовки та деталі по заданій поверхні;

2) вибирають маршрут обробки поверхні з визначенням уточнення по кожному переходу:

$$Ei = \delta i_{-1} / \delta i$$

де: $\delta i_{-1}, \delta i$ відповідно допуск на розмір поверхні для попереднього та послідуєчих переходів;

3) визначають загальне дійсне уточнення розміру поверхні:

$$E_d = E_1 \cdot E_2 \cdot E_3 \cdot E_4 \dots \cdot E_m;$$

де: M – число переходів обробки поверхні деталі.

4) виконується перевірка доцільності вибору того чи іншого маршруту обробки:

$$E_d \geq E_3;$$

Перевагу віддаємо тому варіанту, який при відповідності нерівності, ближче відповідає рівності: $E_d = E_3$. В якості прикладу наведемо вибір маршруту обробки найбільш точної поверхні деталі шестерня $\varnothing 17^{-0,08}_{-0,095}$. Попередньо обираємо два можливі маршрути обробки зовнішньої циліндричної поверхні.

Розраховуємо загальне уточнення:

$$\varepsilon_3 = \frac{\delta_3}{\delta_0};$$

$$\varepsilon_{3.} = \frac{2.2}{0,015} = 146.67$$

де: δ_3 – допуск на розмір заготовки; δ_d – допуск на розмір деталі.

Можливі два варіанти маршрутів обробки:

- обробка за 5 переходів:

1. Точіння чорнове.
2. Точіння чистове.
3. Шліфування чорнове.
4. Шліфування чистове.
5. Шліфування тонке.

- обробка за 4 переходи:

1. Точіння чорнове.
2. Точіння чистове.
3. Шліфування.
4. Суперфініш.

Проведемо порівняння по кожному проміжному методу обробки із таблиць економічної точності вибираючи допуски на обробку і розраховуючи частинні уточнення.

- Точіння чорнове:

$$\varepsilon_1 = \frac{2.2}{0.21} = 10.48;$$

- Точіння чистове:

$$\varepsilon_2 = \frac{0.21}{0.084} = 2.5;$$

- Шліфування чорнове:

$$\varepsilon_3 = \frac{0.084}{0.033} = 2.55;$$

- Шліфування чистове:

$$\varepsilon_4 = \frac{0.033}{0.021} = 1.571;$$

- Шліфування тонке:

$$\varepsilon_5 = \frac{0.021}{0.015} = 1.4.$$

Частинне уточнення для другого маршруту обробки:

- Точіння чорнове:

$$\varepsilon_1 = \frac{2.2}{0.21} = 10.48;$$

- Точіння чистове:

$$\varepsilon_2 = \frac{0,21}{0,084} = 2.5;$$

- Шліфування:

$$\varepsilon_3 = \frac{0,084}{0,033} = 2.55;$$

- Суперфініш:

$$\varepsilon_4 = \frac{0,033}{0,015} = 2.2.$$

Достатність і економічну доцільність вибору маршруту обробки перевіряємо за умовою фактичного уточнення:

$$\varepsilon_{заг} \leq \varepsilon_{\phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3;$$

1 маршрут

$$\varepsilon_{\phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 \cdot \varepsilon_5 = 10.48 \cdot 2.5 \cdot 2.55 \cdot 1.571 \cdot 1.4 = 146.94 > \varepsilon_{заг} = 146,67$$

умова виконується.

2 маршрут

$$\varepsilon_{\phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 = 10.48 \cdot 2.5 \cdot 2.55 \cdot 2.2 = 146.94 > \varepsilon_{заг} = 146,94$$

умова виконується.

Таким чином більш прийнятним є маршрут по другому варіанту, бо він містить меншу кількість переходів.

Вибір маршрутів обробки інших поверхонь наведені в таблиці 4.6. Номери поверхонь приведені на рис. 4.1.

Таблиця 4.6

Зведена таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь шестерні

№ пов	Допуск на поверхню $\delta_{\text{п}}$, мм	Допуск на заготовку $\delta_{\text{з}}$, мм	Загальне уточнення, $E_{\text{з}}$	Можливі варіанти маршрутів обробки		Допуск на методи обробки	Уточнення по кожному переходу
				№	Зміст маршруту		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,4	1,2	3,0	1	Фрезерування одноразове	0,4	3,0
2	0,015	0,8	53,3	1	Точіння чорнове	0,18	4,45
					Точіння чистове	0,07	2,57
					Шліфування чорнове	0,043	1,63
					Шліфування чистове	0,018	2,39
					Суперфініш	0,015	1,2
3	0,43	-	-	1	Точіння канавки	0,43	-
4	0,02	0,6	30	1	Точіння чорнове	0,18	3,33
					Точіння чистове	0,07	2,57
					Шліфування чорнове	0,043	1,63
					Шліфування чистове	0,027	1,59
					Доводка	0,02	1,35
5	0,33	-	-	1	Довбання зубців	0,33	-
					Шевінгування зубців	0,33	1
6	0,02	0,6	30	1	Точіння чорнове	0,18	3,33
					Точіння чистове	0,07	2,57
					Шліфування чорнове	0,043	1,63
					Шліфування чистове	0,027	1,59
					Доводка	0,02	1,35
7	0,015	0,8	53,3	1	Точіння чорнове	0,13	6,15
					Точіння чистове	0,052	2,5
					Шліфування	0,015	3,47
8	0,43	-	-	1	Точіння канавки	0,43	-
9	0,015	0,8	53,3	1	Точіння чорнове	0,18	4,45
					Точіння чистове	0,07	2,57
					Шліфування чорнове	0,043	1,63
10	0,1	-	-	1	Шліфування чистове	0,018	2,39
					Суперфініш	0,015	1,2
11	0,27	-	-	1	Фрезерування шліців	0,1	-
12	0,043	0,8	18,6	1	Точіння канавки	0,27	-
					Точіння чорнове	0,18	4,44
					Точіння чистове	0,11	1,64
					Шліфування чорнове	0,07	1,57
					Шліфування чистове	0,043	1,63
13	0,27	-	-	1	Точіння канавки	0,27	-
14	0,4	1,2	3,0	1	Фрезерування одноразове	0,4	3,0

2.5 Розробка маршрутів виготовлення деталі

При розробці маршруту обробки шестерні керуємося типовим та діючим технологічними процесами виготовлення даних деталей та спільними рекомендаціями по розробці технологічних процесів. При проектуванні маршруту обробки необхідно прагнути до скорочення кількості перестановок деталі з верстата на верстат, та скорочення відстані транспортування деталей. Технічний контроль в технологічному процесі передбачається в кінці технологічного процесу. На операціях технічний контроль здійснюється робітниками – верстатниками вибірково. Враховуючи зауваження, що були відмічені під час проведення аналізу базових технологічних процесів, складемо технологічний процес механічної обробки деталі шестерня ведуча.

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.

001 Заготівельна

1. Заготовку отримуємо поковкою на ГKM

002 Транспортна

1. Транспортувати заготовки на ділянку механічної обробки.

005 Фрезерно-центрувальна

Верстат фрезерно центрувальний MP-76AM

1. Фрезерувати два торці 1, 11 одночасно.
2. Сверлити центровочні отвори одночасно.

010 Токарна з ЧПУ

Токарний обробний центр Hesapp DVT-320

1. Встановити, зняти деталь.
2. Точити довгий кінець шестерні начорно.
3. Точити довгий кінець шестерні начисто.
4. Точити канавку 2,3 мм.
5. Точити дві канавки 1,4 мм.
6. Перевстановити, зняти деталь.
7. Точити короткий кінець шестерні начорно.

8. Точити короткий кінець шестерні начисто.

9. Точити канавку 2,3 мм.

015 Кругло шліфувальна

Верстат круглошліфувальний 3А151

1. Встановити, зняти деталь.

2. Шліфувати коротку шийку.

020 Кругло шліфувальна.

Верстат круглошліфувальний 3А151

1. Встановити, зняти деталь.

2. Шліфувати шийку.

025 Торцешліфувальна

Верстат торцешліфувальний 3Б153

1. Встановити, зняти деталь.

2. Шліфувати два торці одночасно.

030 Зубодовбальна

Верстат зубодовбальний 5122

1. Встановити, зняти деталь.

2. Довбати зубці

035 Зубошевінгувальна

Верстат зубошевінгувальний 5702В

1. Встановити, зняти деталь.

2. Шевінгувати зубці.

040 Шліцефрезерна

Верстат шліцефрезерний 5Б31ОП

1. Встановити, зняти деталь.

2. Фрезерувати шліці.

045 Слюсарна

Верстак слюсарний

1. Спиляти задирки.

050 Кругло шліфувальна з ЧПК

Верстат круглошліфувальний з ЧПК 3М151Ф2

1. Встановити, зняти деталь.
- 2. Шліфувати зубчатий вінець.**
3. Шліфувати зовнішню поверхню шліців.
4. Шліфувати довгу шийку.

055 Кругло шліфувальна

Верстат круглошліфувальний 3А151

1. Встановити, зняти деталь.
2. Шліфувати коротку шийку.

060 Торце-кругло шліфувальна

Верстат торцешліфувальний 3Б153

1. Встановити, зняти деталь.
2. Шліфувати два торці одночасно.

065 Суперфінішна

Верстат суперфінішний 3Д879

1. Встановити, зняти деталь.
2. Суперфінішувати одночасно дві шийки

070 Доводочна

Верстат доводочний 020087

1. Встановити, зняти деталь;
2. Довести два торці одночасно

075 Слюсарна

Верстак

1. Спиляти заусенці.

080 Промивка

1. Промити деталь.

081 Протирка

1. Протерти всі поверхні деталі.

085 Контрольна

1. Перевірити розміри.

090 Контрольна

1. Розділити деталі по групах селективності.

4.6. Вибір технологічних баз

Намітивши маршрут обробки, обираємо технологічні бази для кожної технологічної операції. Вибір технологічних баз починаємо з чорнової бази на першій операції технологічного процесу, яка використовується для підготовки чистових технологічних баз. При виборі технологічних баз на інших операціях керуємося принципом єдності та постійності баз. Так як шестерня ведуча є тілом обертання, то в якості технологічної бази використаємо вісь центрів. Чорновою базою слугуватиме зовнішня поверхня. Остаточний вибір схеми базування для кожної операції проводимо при розробці структури та змісту технологічних операцій керуючись ГОСТ21 496- 76 “Бази і базування в машинному будівництві”

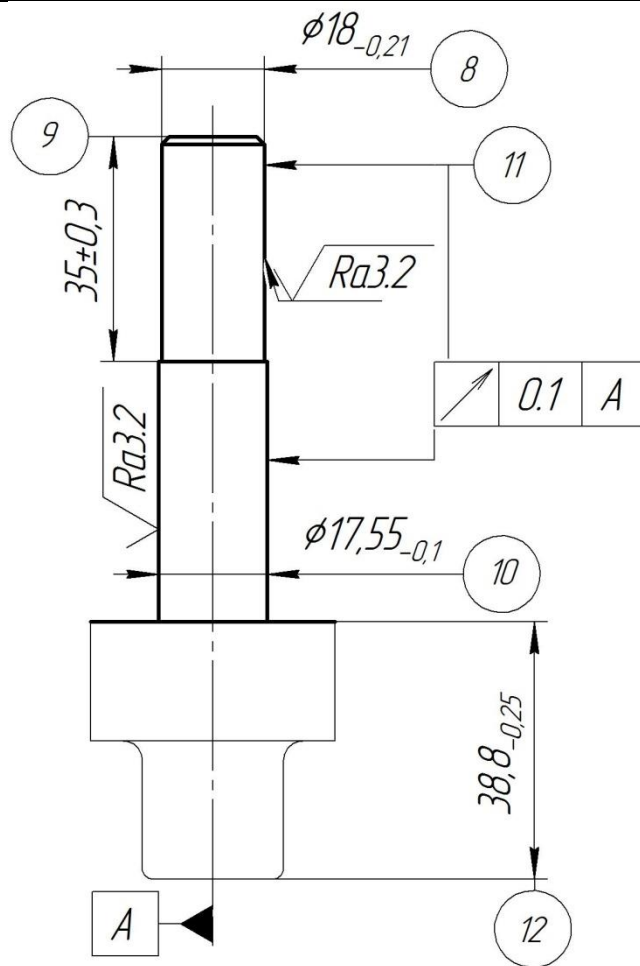
4.7. Розробка структури та змісту технологічних операцій

Встановивши кількість переходів по обробці поверхонь установлюємо їх остаточну структуру та зміст. При цьому підбираємо таку структуру операцій яка б забезпечила зменшення штучного часу. Тип виробництва, методи та точність обробки дозволяють визначати необхідні тип та модель верстату. Розробимо структуру та зміст операцій технологічного процесу для шестерні і занесемо дані до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

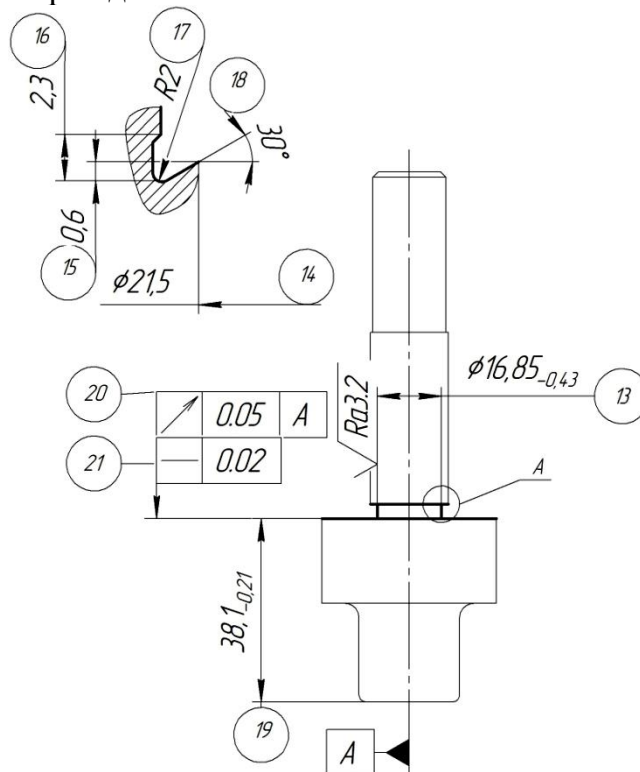
Структура технологічного процесу деталі

№ та найм. Опер.	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки та схема базування	Зміст операції
005 Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний МР-76АМ		1. Встановити, зняти деталь 2. Фрезерувати торці, витримавши розміри 1, 2 3. Свердлувати центрові отвори, витримавши розміри 3, 4, 5, 6
010 Токарна з ЧПУ	Вертикальний токарний обробний центр Hessapp DVT-320	Перехід 2 Перехід 3	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Точити довгий кінець валу, витримавши розміри 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. 3. Точити довгий кінець валу, витримавши розміри 8, 9, 10, 11, 12.



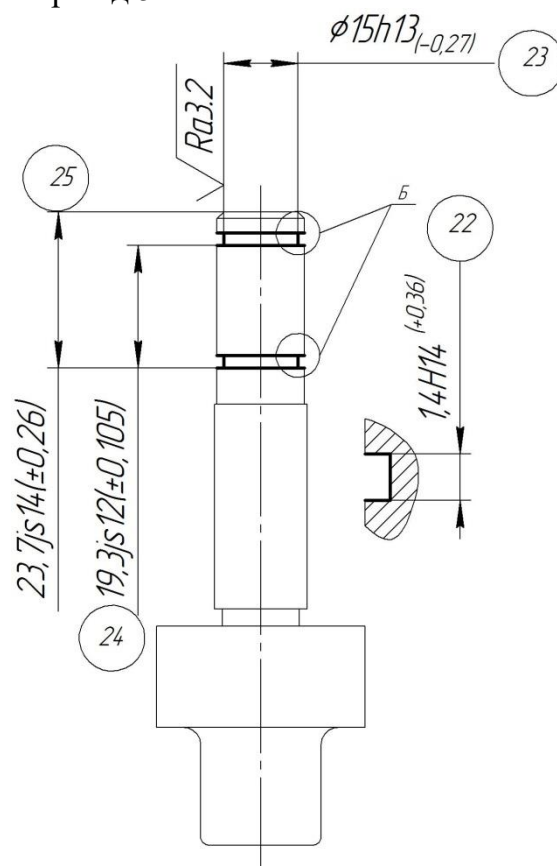
4. Точити канавку, витримавши розміри 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21.

Перехід 4

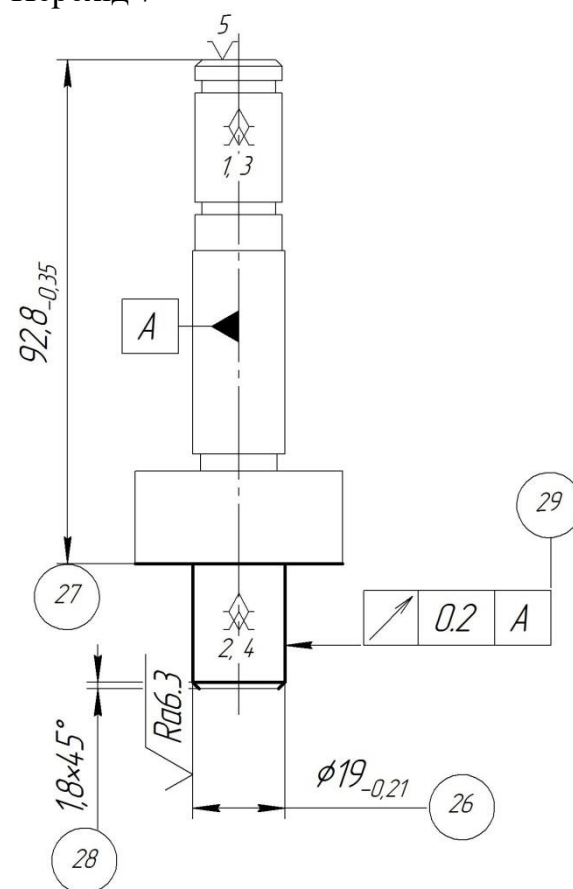


5. Точити дві канавки, витримавши розміри 22, 23, 24, 25.

Перехід 5



Перехід 7

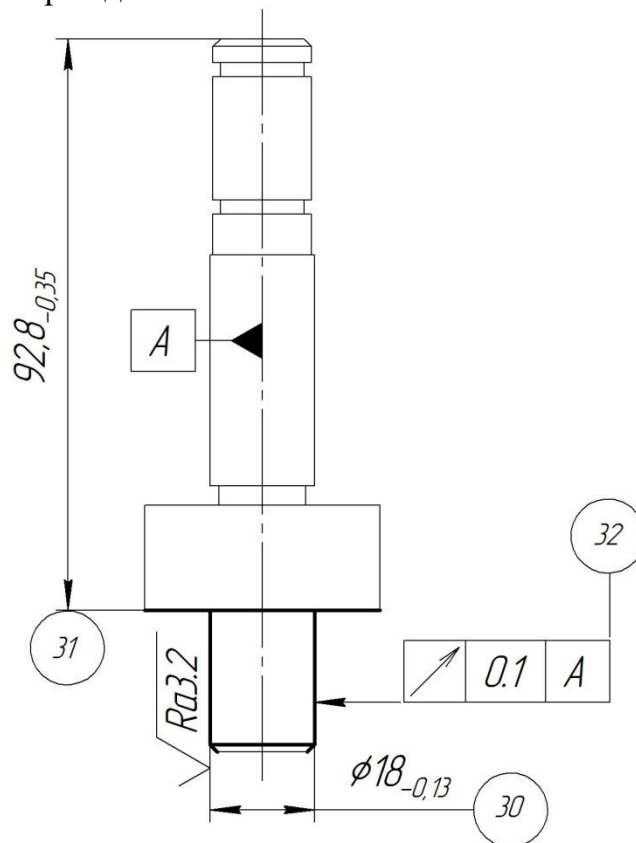


6. Перевстановити деталь у верхній контршпіндель

7. Точити короткий кінець валу, витримавши розміри 26, 27, 28, 29.

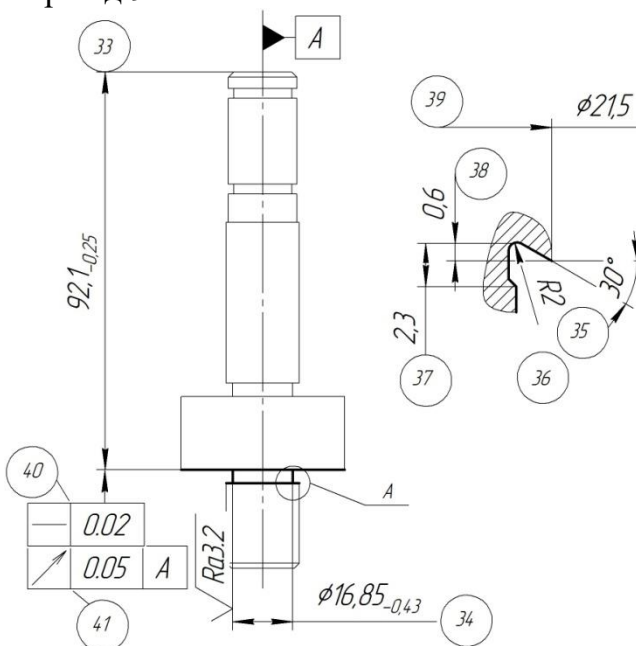
8. Точити короткий кінець валу, витримавши розміри 30, 31, 32.

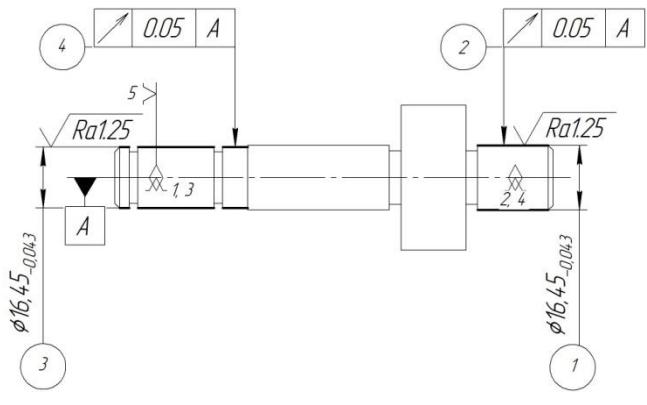
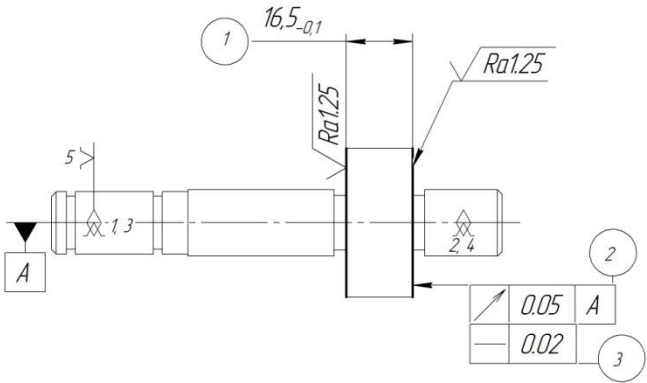
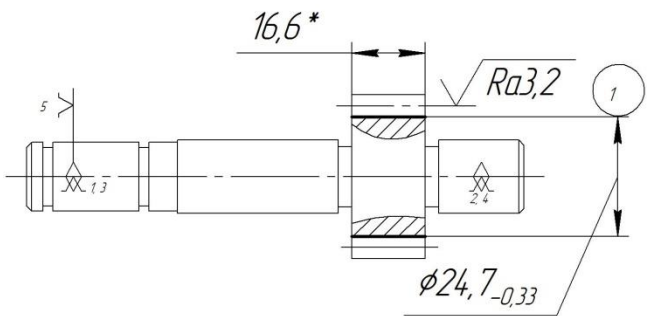
Перехід 8

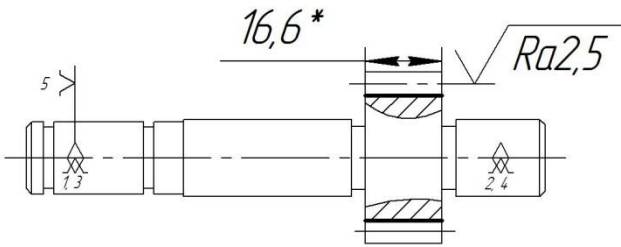
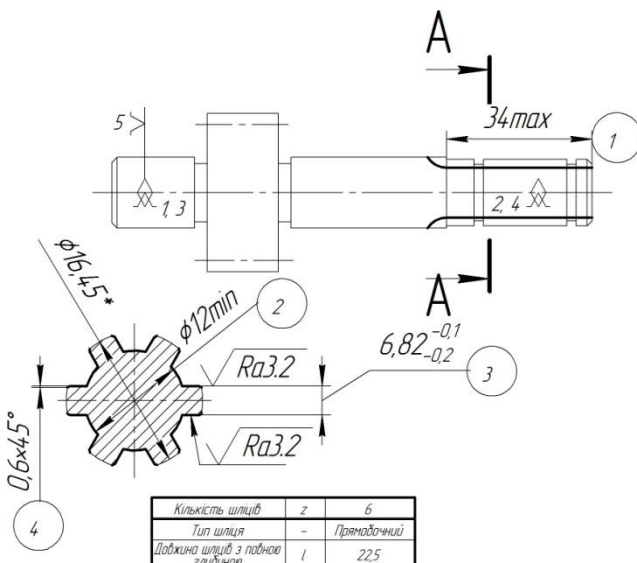
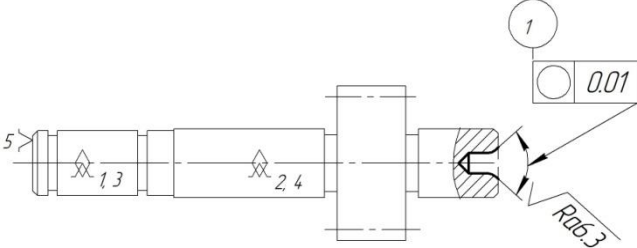


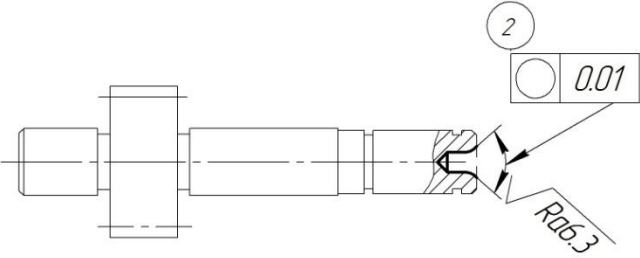
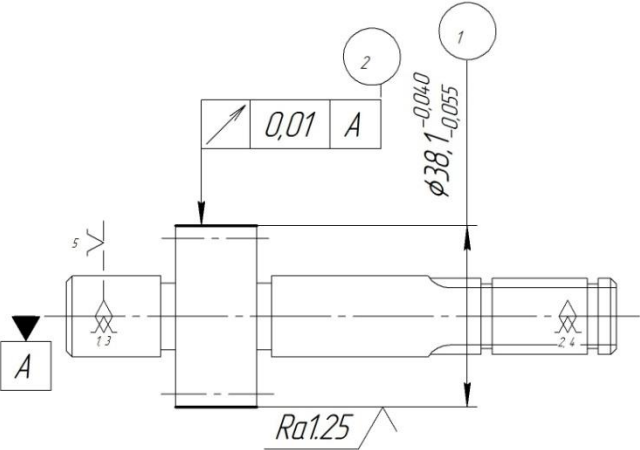
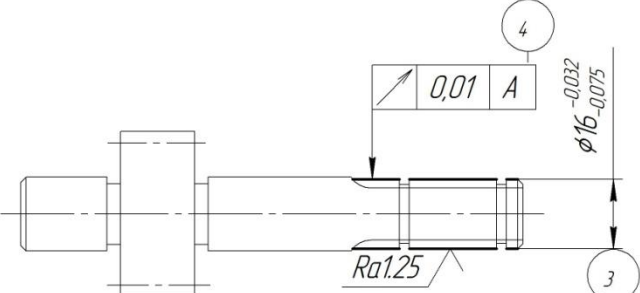
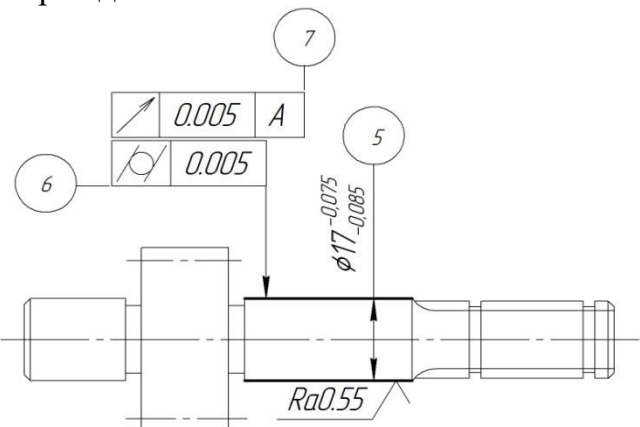
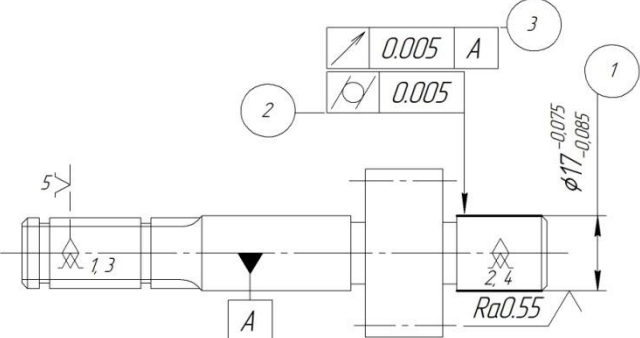
9. Точити канавку, витримавши розміри 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41.

Перехід 9



015 Круглошліфувальна з ЧПУ	Круглошліфувальний з ЧПУ 3М151Ф2	Перехід 2 	1. Встановити , зняти деталь. 2. Шліфувати шийку, витримавши розміри 1, 2.																																						
020. Торцешліфувальна	Торцешліфувальний 3Б153		1. Встановити, зняти деталь. 2. Шліфувати два торці одночасно, витримавши розміри 1, 2, 3.																																						
025 Зубодовбальна	Зубодовбальний 5122	 <table border="1" data-bbox="643 1417 1077 1877"> <thead> <tr> <th colspan="2">Модуль</th><th>m</th><th>3</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Кількість зубців</td><td>z</td><td>10</td></tr> <tr> <td colspan="2">Вихідний контур</td><td>-</td><td>ГОСТ 13755-81</td></tr> <tr> <td colspan="2">Коеф. зміщення вихідного контура</td><td>x</td><td>+0,3458</td></tr> <tr> <td rowspan="2">Граничне відхилення міжцентрової відстані</td><td>Верхнє</td><td>E''_{as}</td><td>+0,11</td></tr> <tr> <td>Нижнє</td><td>E''_{ai}</td><td>+0,02</td></tr> <tr> <td rowspan="2">Допуск на вимірювання міжцентрової відстані</td><td>За оберта</td><td>F''_i</td><td>0,070</td></tr> <tr> <td>На зуб</td><td>f''</td><td>0,040</td></tr> <tr> <td colspan="2">Допуск на похибку напрямлення зуба</td><td>F_β</td><td>0,02</td></tr> <tr> <td colspan="2">Довжина нормалі</td><td>W</td><td>14,52^{-0,21}_{-0,26}</td></tr> </tbody> </table>	Модуль		m	3	Кількість зубців		z	10	Вихідний контур		-	ГОСТ 13755-81	Коеф. зміщення вихідного контура		x	+0,3458	Граничне відхилення міжцентрової відстані	Верхнє	E'' _{as}	+0,11	Нижнє	E'' _{ai}	+0,02	Допуск на вимірювання міжцентрової відстані	За оберта	F'' _i	0,070	На зуб	f''	0,040	Допуск на похибку напрямлення зуба		F _β	0,02	Довжина нормалі		W	14,52 ^{-0,21} _{-0,26}	1. Встановити, зняти деталь. 2. Довбати зубці, витримавши розмір 1
Модуль		m	3																																						
Кількість зубців		z	10																																						
Вихідний контур		-	ГОСТ 13755-81																																						
Коеф. зміщення вихідного контура		x	+0,3458																																						
Граничне відхилення міжцентрової відстані	Верхнє	E'' _{as}	+0,11																																						
	Нижнє	E'' _{ai}	+0,02																																						
Допуск на вимірювання міжцентрової відстані	За оберта	F'' _i	0,070																																						
	На зуб	f''	0,040																																						
Допуск на похибку напрямлення зуба		F _β	0,02																																						
Довжина нормалі		W	14,52 ^{-0,21} _{-0,26}																																						

030. Зубошеві нгувальн а	Зубошевінг увальний 5702В	 <table><tr><th colspan="2">Модуль</th><th>m</th><th>3</th></tr><tr><td colspan="2">Кількість зубців</td><td>z</td><td>10</td></tr><tr><td colspan="2">Вихідний контур</td><td>-</td><td>ГОСТ 13755-81</td></tr><tr><td colspan="2">Коеф. зміщення вихідного контура</td><td>x</td><td>+0,3458</td></tr><tr><td rowspan="2">Граничне відхилення міжцентрової відстані</td><td>Верхнє</td><td>E''_{as}</td><td>+0,01</td></tr><tr><td>Нижнє</td><td>E''_{ai}</td><td>-0,08</td></tr><tr><td rowspan="2">Допуск на вимірювання міжцентрової відстані</td><td>За одерт</td><td>F''_i</td><td>0,045</td></tr><tr><td>На зуб</td><td>f''</td><td>0,022</td></tr><tr><td colspan="2">Допуск на похибку напрямлення зуба</td><td>F_β</td><td>0,015</td></tr><tr><td colspan="2">Довжина нормалі</td><td>W</td><td>14,415^{-0,21}_{-0,26}</td></tr></table>	Модуль		m	3	Кількість зубців		z	10	Вихідний контур		-	ГОСТ 13755-81	Коеф. зміщення вихідного контура		x	+0,3458	Граничне відхилення міжцентрової відстані	Верхнє	E'' _{as}	+0,01	Нижнє	E'' _{ai}	-0,08	Допуск на вимірювання міжцентрової відстані	За одерт	F'' _i	0,045	На зуб	f''	0,022	Допуск на похибку напрямлення зуба		F _β	0,015	Довжина нормалі		W	14,415 ^{-0,21} _{-0,26}	1. Встановити, зняти деталь 2. Шевінгувати зубці.
Модуль		m	3																																						
Кількість зубців		z	10																																						
Вихідний контур		-	ГОСТ 13755-81																																						
Коеф. зміщення вихідного контура		x	+0,3458																																						
Граничне відхилення міжцентрової відстані	Верхнє	E'' _{as}	+0,01																																						
	Нижнє	E'' _{ai}	-0,08																																						
Допуск на вимірювання міжцентрової відстані	За одерт	F'' _i	0,045																																						
	На зуб	f''	0,022																																						
Допуск на похибку напрямлення зуба		F _β	0,015																																						
Довжина нормалі		W	14,415 ^{-0,21} _{-0,26}																																						
035 Шліцефр езерна	Шліцефрези рний 5В310П	 <table><tr><td>Кількість шліців</td><td>z</td><td>6</td></tr><tr><td>Тип шліця</td><td>-</td><td>Прямочинний</td></tr><tr><td>Довжина шліців з повною глибиною</td><td>l</td><td>225</td></tr><tr><td>Діаметр фрези</td><td>D</td><td>70</td></tr></table>	Кількість шліців	z	6	Тип шліця	-	Прямочинний	Довжина шліців з повною глибиною	l	225	Діаметр фрези	D	70	1. Встановити, зняти деталь 2. Фрезерувати шліці, витримавши розміри 1, 2, 3, 4																										
Кількість шліців	z	6																																							
Тип шліця	-	Прямочинний																																							
Довжина шліців з повною глибиною	l	225																																							
Діаметр фрези	D	70																																							
040. Круглош ліфуваль на	Круглошліфувальний 3А151		1. Встановити, зняти деталь 2.Розкатати центровий отвір, витримавши розмір 1. 3.Перевстановити деталь 4. Розкатати центровий отвір,																																						

			витримавши розмір 2.
045 Круглошліфувальна з ЧПК	Круглошліфувальний з ЧПК 3М151Ф2	Перехід 2  Перехід 3  Перехід 4 	1. Встановити, зняти деталь 2. Шліфувати зубчатий вінець, витримавши розміри 1, 2. 3. Шліфувати зовнішню поверхню шліців, витримавши розміри 3, 4 4. Шліфувати довгу цапфу, витримавши розміри 5, 6, 7
050 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3А151		1. Встановити, зняти деталь 2. Шліфувати коротку цапфу, витримавши розміри 1, 2, 3

055 Торцешліфувальна	Торцешліфувальний 3Б153		1. Встановити, зняти деталь 2. Шліфувати торці зубчатого вінця одночасно, витримавши розміри 1, 2, 3
060 Суперфінішна	Суперфінішний 3Д879		1. Встановити, зняти деталь 2. Суперфінішувати дві шийки одночасно, витримавши розміри 1, 2
065 Доводочна	Доводочний 020087		1. Встановити, зняти деталь 2. Довести два торця одночасно, витримавши розміри 1, 2, 3, 4, 5.

Для реалізації запропонованого технологічного процесу механічної обробки заданої деталі відобразимо використовувані металорізальні верстати та їх технічні характеристики. Вибір металорізальних верстатів здійснюється з врахуванням структури та змісту операцій, методів обробки, конструктивних форм деталі та її розмірів, а також з врахуванням типу виробництва.

Стисла технічна характеристика вибраного обладнання наведена в таблиці 4.8.

Металорізальні верстати для обробки деталей шестерня

№ опер	Верстат (найменування, модель)	Діапазон частот обертання	Діапазон подач мм/хв	Габаритні розміри, мм довжина х ширина х висота	Маса верстату, т	Потужність N, кВт	УРЕ
005	Фрезерно-центрувальний	270-1254	20-400	3300x1575	7	6,6	7
010	н/автомат МР-76М		30-75	4400x2400x3	5	36	10
015	Вертик.ток.ОЦ Hessapp DVT -320	0 - 5000		100			
020	Круглошліфувальний з ЧПУ 3М151Ф2	50-500	0.01-	3400x1800x2	4,5	5,2	-
025	Торцешліфувальний	100-	1.5	170	5.6	4	15
030	3Б153	1500	0,16-	3540x2010x1	4,4	3	18
035	Зубодовбальний 5122	-	1,6	900	5,3	3	14
040	Зубошевенгувальний	63-500	18-300	2000x1450x1	4,7	7,5	15
045	5702В	80-250	0,63-5	965	4,5	5,2	-
	Шліцефрезерний	50-500	0,02-	1820x1500x2	6,5	15,2	14
050	5Б31ОП	50-500	1,2	120			
055	Круглошліфувальний		0,05-5	2335x1550	4,5	5,2	-
060	3А151	50-500	0,02-	3400x1800x2	5,6	4	15
065	Круглошліфувальний з ЧПК 3М151Ф2	100-1500	1,2	170	9,0	17	12
	Круглошліфувальний 3А151	1450	0.01-	5400x2400x2	3.8	2.2	-
	Торцешліфувальний 3Б153	125-	1.5	170			
	Суперфінішний 3Д879	2500	3-45	3400x1800x2			
	Доводочний 020087		0.01-	170			
			1.1	3540x2010x1			
				900			
				4600x2170x2			
				130			
				2300x2200x1			
				750			

4.8 Вибір затискних пристроїв

Для забезпечення заданої точності обробки шестерні ведучої її необхідно надійно встановити та закріпити. З цією метою визначаються верстатні затискні пристрої в залежності від теоретичної схеми базування, конструктивної форми деталі, методу обробки та типу виробництва. Пристрої для верстатів з ЧПК не мають елементів для орієнтації та направлення різального інструменту, крім того

вони повинні мати можливість швидкого переналагодження на обробку іншої деталі аналогічної або наближеної форми до конструкції деталі.

Стисла технічна характеристика вибраних затискних пристроїв приведена в таблиці 4.9.

ТАБЛИЦЯ 4.9

Затискні пристрої для деталі шестерня

№ операції	Найменування пристосування	Стандарт (код)	Вид приводу
1	2	3	4
005	Пристрій фрезерний	6490-6107	Пневматичний
010	Патрон 3-и кулачковий	2675-80	Пневматичний
	самоцентруючий		
	Центр обертовий	8742-82	
015	Центр обертовий	2675-80	Механічний
	Центр	7032-0032	
	Поводок	1309-86	
020	Центр обертовий	8742-82	Механічний
	Центр	7032-0032	
	Поводок	1309-86	
025	Пристрій для зубодовбання	8742-82	Механічний
	Хомут	7032-0032	
030	Центр обертовий	1309-86	Механічний
	Центр	7520-6001	
	Поводок	7520-4110	Механічний
035	Центр обертовий	8742-82	
	Центр	7032-0032	
	Хомут	1309-86	Пневматичний
040	Патрон 3-и кулачковий	8742-82	
045	Центр обертовий	8742-82	Механічний
	Центр	7032-0032	
	Поводок	1309-86	
050	Центр обертовий	8742-82	Механічний
	Центр	7032-0032	
	Поводок	1309-86	
055	Центр обертовий	8742-82	Механічний
	Центр	7032-0032	
	Поводок	1309-86	
060	Центр обертовий	8742-82	Механічний
	Центр	7032-0032	
	Поводок	1309-86	
065	Центр обертовий	8742-82	Механічний
	Центр	7032-0032	
	Поводок	1309-86	

2.9. Вибір ріжучих інструментів

Вибір ріжучих інструментів, для механічної обробки заданої деталі, здійснюється з врахуванням методу обробки, матеріалу деталі, різальних властивостей інструментального матеріалу і типу виробництва. Умови експлуатації інструментів на верстатах з ЧПК відрізняється від умов їх роботи на універсальних верстатах, тому в основному застосовуються інструмент з механічним закріпленням різальних пластин. Вибір ріжучих інструментів здійснюється за довідниковими таблицями, а їх характеристика наведена в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10

Ріжучий інструмент для механічної обробки деталі					
№ опер	№ пер.	Назва інструменту	Стандарт (код)	Ріжуча частина	
				Матеріал	ГОСТ
1	2	3	4	5	6
005	2	Фреза торцева Ø 100	19064-80	T15K6	3882-74
	3	Свердло центровочне Ø 3,15	14952-75	P6M5	19265-73
010	2	Різець прохідний	20872-80	T5K10	3882-74
	3	Різець прохідний	20872-80	T5K10	3882-74
	4	Різець канавочний	2126-4011	T5K10	3882-74
	5	Різець канавочний	2126-4054	T5K10	3882-74
	6	Різець прохідний	20872-80	T5K10	3882-74
	7	Різець прохідний	20872-80	T5K10	3882-74
	8	Різець канавочний	2126-4011	T5K10	3882-74
015	2	Круг шліфувальний ПП60х50х305	2424-83	24A25PC2 CT16K8	-
020	2	Круг шліфувальний ПП60х50х305	2424-83	24A25PC2 CT16K8	-
025	2	Довбач дисковий m=3	9323-79	P6M5	19265-73
030	2	Шевер дисковий m=3	8570-80	P6M5	19265-73
035	2	Фреза шліцева	2520-4015	P6M5	19265-73
040	2	Розкатка	1417-6002	BK3M	3882-74
	4	Розкатка	1417-6002	BK3M	3882-74
045	2	Круг шліфувальний ПП60х50х305	2424-83	24A25PC2 CT16K8	-
050	2	Круг шліфувальний ПП60х50х305	2424-83	24A25PC2 CT16K8	-
055	2	Круг шліфувальний ЧК175х63х32	2424-83	24A25CM1 M3K8	-
060	2	АБС 125х80х5х20	106-87	СК-8-1-K	-

4.10. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Засоби технічного контролю технічних операцій обирають з урахуванням точності вимірювання, розміру, якості вимірювальної поверхні та типу виробництва. Відомості про засоби технічного контролю приводимо в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11

Вимірювальний інструмент для контролю деталі

№ опер	№ пер.	Параметр деталі, що контролюється	Найменування інструменту	Стандарт (код)
1	2	3	4	5
005	2	Лінійний розмір 113 _{-0,4}	Калібр 113 _{-0,4}	8150-4806
010	3	Лінійний розмір 94 _{-0,35}	Калібр 94 _{-0,35}	8102-4455
		Діаметральні розміри	Калібр-пробка	8572-75
		Ø17,55 _{-0,1}	Ø17,55 _{-0,1}	
	4	Ø16 _{-0,21}	Ø16 _{-0,21}	
		Ø39,2 _{-0,2}	Ø39,2 _{-0,2}	
		Лінійні розміри	Шаблони	
		35±0,3	35±0,3	8384-4067
		38,8 _{-0,25}	38,8 _{-0,25}	8384-4253
		Діаметральний розмір	Скоба 16,85 _{-0,43}	8551-75
		Ø16,85 _{-0,43}		
	5	Діаметральний розмір	Скоба 15 _{-0,27}	8551-75
	Ø15 _{-0,27}			
	6	Лінійний розмір 92,8 _{-0,35}	Шаблон 92,8 _{-0,35}	8384-4449
	7	Діаметральний розмір	Скоба 18 _{-0,13}	8551-75
		Ø18 _{-0,13}		
		Діаметральний розмір	Скоба 16,85 _{-0,43}	8551-75
		Ø16,85 _{-0,43}		
015	2	Діаметральний розмір	Скоба 16,45 _{-0,043}	8551-75
Ø16,45 _{-0,043}				
020	2	Лінійний розмір 16,5 _{-0,1}	Скоба 16,5 _{-0,1}	8551-75
025	2	Допуск направлення зубців 0,02	Прибор для контролю	8532-4054
030	2	Допуск направлення зубців 0,015	Прибор для контролю	8532-4054
035	2	Ширина шліцу 3,5 ^{-0,1} _{-0,2}	Скоба 3,5 ^{-0,1} _{-0,2}	8551-75
040	2	Діаметральні розміри		
		Ø38,1 ^{-0,04} _{-0,055}	Скоба 38,1 ^{-0,04} _{-0,055}	8551-75
		Ø16 ^{-0,032} _{-0,075}	Скоба 16 ^{-0,032} _{-0,075}	8551-75
		Ø17 ^{-0,075} _{-0,085}	Скоба 17 ^{-0,075} _{-0,085}	8551-75
045	2	Діаметральний розмір	Скоба 17 ^{-0,075} _{-0,085}	8551-75
Ø17 ^{-0,075} _{-0,085}				
050	2	Лінійний розмір 16,016 _{-0,02}	Скоба 16,016 _{-0,02}	8551-75
055	2	Діаметральний розмір	Скоба 17 ^{-0,08} _{-0,095}	8551-75
		Ø17 ^{-0,08} _{-0,095}		
060	2	Лінійний розмір 16 _{-0,02}	Скоба 16 _{-0,02}	8551-75

4.11. Визначення припусків та операційних розмірів деталі

Після вибору плану обробки поверхонь, розробки маршрутної технології, розраховуємо припуски на механічну обробку. Для поверхні $\varnothing 17^{-0,08}_{-0,095}$ (зовнішня циліндрична) деталі шестерня розрахунок припусків виконуємо за методикою професора Кована.

Маршрут обробки поверхні:

- 1.Точіння чорнове.
- 2.Точіння чистове.
3. Шліфування чорнове.
4. Шліфування чистове.
5. Суперфінішна.

Заготовка: поковка, допуск $\delta_3=0,8\text{мм}$ (верхнє відхилення $+0,5$, нижнє $-0,3$).

Значення елементів припуску заготовки вибираємо з табл. 4.3 [4], для механічної обробки – з табл. 4.5 [4].

Таблиця 4.12

Розрахунок припусків і граничних розмірів за технологічними переходами на обробку зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 17^{-0,08}_{-0,095}$.

Технологічн і переходи обробки отвору	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск	Розрахунковий розмір, d_p , мм	Допуск δ , мм	Граничний розмір, мм		Граничні відхилення, мкм	
	R_z	T	ρ				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	700		1440		22,668	800	22,668	23,468		
Точіння чорн.	100	100	250	2x2140	18,388	180	18,388	18,568	4280	4900
Точіння чист.	50	50	58	2x450	17,488	70	17,488	17,558	900	1010
Шліф. чорн.	30	30	29	2x158	17,172	43	17,172	17,215	316	343
Шліф. чист.	10	20	14,4	2x89	16,994	18	16,994	17,012	178	203
Суперфініш	5	15	-	2x44,4	16,905	15	16,905	16,92	89	92

Для всіх переходів базою є вісь зовнішньої циліндричної поверхні і торець деталі, деталь встановлюється в центрах; тому похибка встановлення в радіальному напрямку дорівнює 0, що має значення для розміру, що розраховується. Сумарне значення просторових відхилень ρ для деталі типу тіла обертання при встановленні в центрі з притисканням до торцевої поверхні за табл. 4.7 [4] визначається за формулою: $\rho_0 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}$;

де $\rho_{зм}$ – величина зміщення форми (табл.4.8 [4]); $\rho_{кор}$ – величина короблення торцю шестерні.

$$\rho_0 = \sqrt{0.8^2 + 1.2^2} = 1.44 \text{ мм} = 1440 \text{ мкм};$$

Залишкові просторові відхилення по переходах визначаємо за формулою:

$$\rho_{зал} = k_y \times \rho_{кор};$$

$$\text{точіння чорнове } \rho_1 = 0,15 \times 1440 = 250 \text{ мкм};$$

$$\text{точіння чистове } \rho_2 = 0,04 \times 1440 = 58 \text{ мкм};$$

$$\text{шліфування чорнове } \rho_3 = 0,02 \times 1440 = 29 \text{ мкм};$$

$$\text{шліфування чистове } \rho_4 = 0,01 \times 1440 = 14,4 \text{ мкм};$$

Визначаємо мінімальні припуски по переходах за формулою:

$$2Z_{\min} = 2(R_{z-c-1} + T_{i-1} + \rho_{кор});$$

Мінімальні припуски:

$$\text{- під точіння чорнове: } 2Z_{\min 1} = 2(700 + 1440) = 2 \cdot 2140 \text{ мкм}$$

$$\text{- під точіння чистове: } 2Z_{\min 2} = 2(100 + 100 + 250) = 2 \cdot 450 \text{ мкм}$$

$$\text{- під шліфування чорнове: } 2Z_{\min 3} = 2(50 + 50 + 58) = 2 \cdot 158 \text{ мкм}$$

$$\text{- під шліфування чистове: } 2Z_{\min 4} = 2(30 + 30 + 29) = 2 \cdot 89 \text{ мкм}$$

$$\text{- під суперфініш: } 2Z_{\min 5} = 2(10 + 20 + 14.4) = 2 \cdot 44.4 \text{ мкм}$$

Визначаємо розрахункові розміри по переходах починаючи з кінцевого (з креслення) шляхом послідовного додавання розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу. Таким чином, маючи розрахунковий розмір після останнього переходу, (в даному випадку суперфінішу 16,905 мм), для інших переходів отримуємо:

$$\text{- для шліфування чистового: } d_{p4} = 16,905 + 0,089 = 16,994 \text{ мм};$$

- для шліфування чорнового: $d_{p3} = 16,994 + 0,178 = 17,172$ мм;
- для точіння чистового: $d_{p2} = 17,172 + 0,316 = 17,488$ мм;
- для точіння чорнового: $d_{p1} = 17,488 + 0,9 = 18,388$ мм;
- для заготовки: $d_{p3} = 18,388 + 4,28 = 22,668$ мм.

Визначення граничних розмірів виконуємо, починаючи з кінцевого розміру (з креслення). Результати наведені в табл.2.12. Граничні значення припусків визначаємо, як різницю найбільших або найменших граничних розмірів за формулами:

$$Z_{\min}^{\text{пр}} = d_{\min i} - d_{\min i-1};$$

$$Z_{\max}^{\text{пр}} = d_{\max i} - d_{\max i-1};$$

- для шевінгування:

$$2Z_{\min 5}^{\text{пр}} = 16,994 - 16,905 = 89 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 5}^{\text{пр}} = 17,012 - 16,92 = 92 \text{ мкм};$$

- для шліфування чистового:

$$2Z_{\min 4}^{\text{пр}} = 17,172 - 16,994 = 178 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 4}^{\text{пр}} = 17,215 - 17,012 = 203 \text{ мкм};$$

- для шліфування чорнового:

$$2Z_{\min 3}^{\text{пр}} = 17,488 - 17,172 = 316 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 3}^{\text{пр}} = 17,558 - 17,215 = 343 \text{ мкм};$$

- для точіння чистового:

$$2Z_{\min 2}^{\text{пр}} = 18,388 - 17,488 = 900 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 2}^{\text{пр}} = 18,568 - 17,558 = 1010 \text{ мкм};$$

- для точіння чорнового:

$$2Z_{\min 1}^{\text{пр}} = 22,668 - 18,388 = 4280 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 1}^{\text{пр}} = 23,468 - 18,568 = 4900 \text{ мкм};$$

Загальні припуски:

$$Z_{0 \min} = 5763 \text{ мкм};$$

$$Z_{0 \max} = 6548 \text{ мкм};$$

Загальний номінальний припуск:

$$Z_{0 \text{ ном}} = Z_{0 \min} + H_z - H_d = 5763 + 300 - 15 = 6048 \text{ мкм};$$

$$D_{3 \text{ ном}} = D_{3 \text{ ном}} + Z_{0 \text{ ном}} = 16,905 + 6,048 = 22,953 \text{ мкм};$$

де H_3 – нижнє відхилення заготовки; H_d – допуск деталі.

На інші поверхні припуски визначаємо по нормативним даним, і заносимо їх до таблиці 2.13. Будуємо схему графічного розташування припусків і допусків на обробку поверхні $\varnothing 17^{-0,08}_{-0,095}$ деталі шестерня

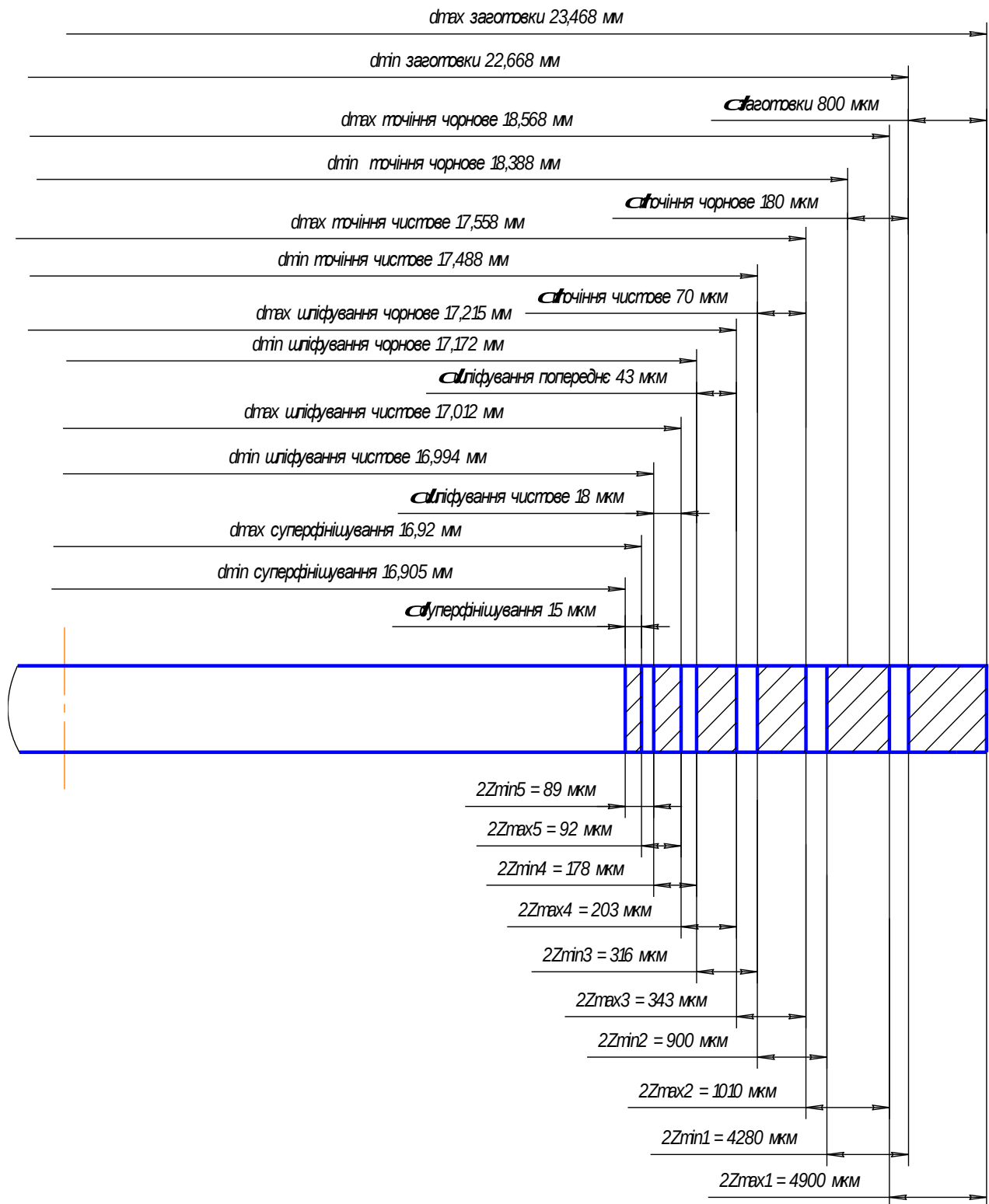


Рис. 4.3. Схема графічного розміщення припусків і допусків на обробку поверхні $\varnothing 17^{-0,08}_{-0,095}$ деталі

Зведена таблиця припусків на обробку шестерні

№ поверхні	Найменування поверхні та розмір	Припуск		Допуск
		Табличний	Визначений	
1	2	3	4	5
1, 14	Торці 113 _{-0,4}	2x2,5	-	+1,2 _{-0,5}
2	Зовнішня циліндрична Ø 17 ^{-0,08} _{-0,095}	-	3,03	+0,5 _{-0,3}
4, 6	Торці 16 _{-0,02}	2x3,0	-	+0,5 _{-0,3}
7	Зовнішня циліндрична Ø 38,1 ^{-0,04} _{-0,055}	2,5	-	+0,5 _{-0,3}
9	Зовнішня циліндрична Ø 17 ^{-0,08} _{-0,095}	2x3,0	-	+0,5 _{-0,3}
10	Зовнішня циліндрична Ø 16 ^{-0,032} _{-0,075}	2x3,0	-	+0,5 _{-0,3}

4.12. Визначення режимів різання

Розрахуємо режими різання для деталі шестерня ведуча на 010 операцію токарну з ЧПК.

Заготовка:

- метод отримання: поковка;
- стан поверхні: з коркою.

Верстат: токарний ОЦ з ЧПК Hesser DVT-320

Операція:

Базування – в трикулачковому патроні з піджиманням заднім центром.

Вибір інструмента. Для обробки використовуємо різці з твердосплавними пластинами з перерізом державки 20x20 мм. Товщина пластини - 4,8 мм. Виходячи з умов обробки приймаємо трьохгранну форму пластини з кутом при вершині 60° із твердого сплаву Т5К10. Спосіб кріплення пластини – клин прихватом.

Вибираємо кути в плані:

$$\varphi = 90^\circ; \varphi_1 = 30^\circ;$$

$$\varphi = 90^\circ; \varphi_1 = 1^\circ - \text{для обробки канавок.}$$

Інші геометричні параметри різальної частини:

- задній кут $\alpha = 5^\circ$;
- передній кут $\gamma = -6^\circ$;

- форма передньої поверхні - плоска від'ємна;
- радіус заокруглення різальної кромки $\rho = 0,03$ мм;
- радіус вершини різця $r_B = 1,0$ мм.

для обробки канавки:

- задній кут $\alpha = 6^\circ$;
- передній кут $\gamma = 15^\circ$;
- форма передньої поверхні - плоска з фаскою $f = 0,4$ мм;
- радіус заокруглення різальної кромки $\rho = 0,03$ мм;
- радіус вершини різця $r_B = 0,6$ мм.

Нормативний період стійкості: $T=60$ хв.

4.13.1. Визначення режимів різання на другий перехід – чорнове точіння по контуру.

Глибина різання – 2.5мм;

Кількість проходів – $i = 1$;

Визначення подачі.

Подачу для обробки поверхонь визначаємо за формулою:

$$s_0 = s_T \cdot K_S \cdot K_{Sp} \cdot K_{SD} \cdot K_{Sh} \cdot K_{SM} \cdot K_{Sy} \cdot K_{Sn} \cdot K_{S\phi} \cdot K_{S\gamma},$$

де: s_T - табличне значення подачі;

$K_{Si}, \dots, K_{S\gamma}$ - коефіцієнти, що враховують:

K_{Si} - інструментальний матеріал;

K_{Sp} - спосіб кріплення пластини;

K_{SD} - переріз державки різця;

K_{Sh} - міцність різальної частини;

K_{SM} - механічні властивості оброблюваного матеріалу;

K_{Sy} - схему установки заготовки;

K_{Sn} - стан поверхні заготовки;

$K_{S\phi}$ - геометрію в плані;

$K_{S\gamma}$ - жорсткість верстату.

Таким чином подача для обробки поверхонь:

$$s_0 = 0,21 \cdot 1,1 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \cdot 1,3 \cdot 0,75 = 0,2 \text{ мм/об.}$$

Визначення швидкості різання.

Швидкість різання для обробки поверхонь визначаємо за формулою:

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

де: C_v - постійна у формулі швидкості різання;

X_v, Y_v, m - показники ступеню;

K_v - поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_v = K_{vT} \cdot K_{vj} \cdot K_{vM} \cdot K_{v\phi},$$

де: K_{vT} - коефіцієнт, що враховує період стійкості різального інструменту та інструментального матеріалу,

$$K_{vT} = C_{vT} T_{VT}^{m_{VT}} = 3,64560^{-0,398} = 0,6;$$

K_{vj} - коефіцієнт, що враховує жорсткість верстату,

$$K_{vj} = C_{vj} D_c^{m_{vj}} = 0,201400^{0,242} = 0,86;$$

K_{vM} - коефіцієнт, що враховує властивості оброблюємого матеріалу,

$$K_{vM} = C_{vM} (HB)^{m_{vM}} = 18107720^{-1,288} = 0,9;$$

$K_{v\phi}$ - коефіцієнт, що враховує геометрію в плані,

$$K_{v\phi} = C_{v\phi} \epsilon^{X_v} \epsilon^{Y_v} = 3,6290^{0,004} 60^{-0,29} = 1,15;$$

де: $C_{vT}, C_{vj}, C_{vM}, C_{v\phi}$ - постійні;

$m_{vT}, m_{vj}, m_{vM}, X_v, Y_v$ - показники ступеню;

D_c - найбільший діаметр обробки на верстаті.

$$K_v = 0,6 \cdot 0,9 \cdot 0,86 \cdot 1,15 = 0,53;$$

Таким чином швидкість різання складає:

$$V = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 0,2^{0,2}} \cdot 0,53 = 117 \text{ м/хв.};$$

Частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

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

де: D - діаметр обробки.

$$n_p = \frac{1000 \cdot 117}{3,14 \cdot 39,2} = 950 \text{ об/хв.},$$

корегуємо за паспортом верстата і приймаємо $n_{пр} = 800 \text{ об/хв.}$

Фактичну швидкість різання визначаємо за формулою:

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

$$V = \frac{3,14 \cdot 39,2 \cdot 800}{1000} = 98,5 \text{ м/хв.};$$

Перевірка вибраних режимів різання по потужності привода головного руху.

Перевірку здійснюємо за формулою:

$$N = (C_N \cdot t^{X_N} \cdot s^{Y_N}) \cdot K_N,$$

де: C_N - постійна у формулі потужності різання;

X_N, Y_N - показники ступеню;

K_N - поправковий коефіцієнт:

$$K_N = C_N \cdot (HB)^{X_N} = 0,0019 \cdot 720^{0,813} = 0,4,$$

де: C_N та X_N - постійна та показник ступеню відповідно у формулі поплавкового коефіцієнта потужності різання.

$$N = 3,943 \cdot 2,5^{0,688} \cdot 0,2^{0,436} \cdot 0,4 = 1,31 \text{ кВт},$$

що не перевищує потужності привода головного привода верстата.

Основний час визначаємо за формулою:

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

де: i - кількість проходів;

L - довжина робочого ходу:

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

де: l - довжина оброблюємої поверхні;

l_1 - довжина врізання;

l_2 - довжина перебігу (при обробці в упор $l_3=0$).

Основний час на обробку:

$$T_{o1} = \frac{2,5 + 104,2 + 2,5}{0,2 \cdot 800} \cdot 1 = 0,68 \text{ хв.},$$

4.13.2 Визначення режимів різання на третій перехід – чистове точіння по контуру.

Глибина різання – 1.0 мм; кількість проходів – $i = 1$; виходячи з умов обробки приймаємо трихгранну форму пластини з кутом при вершині 60° із твердого сплаву Т15К6. Подачу для обробки поверхонь визначаємо за формулою:

$$s_o = s_T K_{Si} K_{Sp} K_{SD} K_{Sh} K_{SM} K_{Sy} K_{Sn} K_{S\phi} K_{Sy},$$

де: s_T - табличне значення подачі;

$K_{Si}, \dots, K_{Sy}$ - коефіцієнти, що враховують:

K_{Si} - інструментальний матеріал;

K_{Sp} - спосіб кріплення пластини;

K_{SD} - переріз державки різця;

K_{Sh} - міцність різальної частини;

K_{SM} - механічні властивості оброблюваного матеріалу;

K_{Sy} - схему установки заготовки;

K_{Sn} - стан поверхні заготовки;

$K_{S\phi}$ - геометрію в плані;

K_{Sy} - жорсткість верстату.

Таким чином подача для обробки поверхонь:

$$s_o = 0,251,110,95110,90,851,150,75 = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання для обробки поверхонь визначаємо за формулою:

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

де: C_v - постійна у формулі швидкості різання;

X_v, Y_v, m - показники ступеню;

K_v - поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_v = K_{vT} \cdot K_{vj} \cdot K_{vM} \cdot K_{v\phi},$$

$$K_v = 0,9 \cdot 1,1 \cdot 0,95 \cdot 1 = 0,94$$

Таким чином швидкість різання складає:

$$V = \frac{292}{60^{0,18} \cdot 1^{0,15} \cdot 0,1^{0,3}} \cdot 0,94 = 262 \text{ м/хв};$$

Частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

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

де: D - діаметр обробки.

$$n_p = \frac{1000 \cdot 262}{3,14 \cdot 39,2} = 2087 \text{ об/хв},$$

корегуємо за паспортом верстата і приймаємо $n_{\text{пр}} = 1200$ об/хв.

Фактичну швидкість різання визначаємо за формулою:

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

$$V = \frac{3,14 \cdot 39,2 \cdot 1200}{1000} = 148 \text{ м/хв}.$$

Основний час визначаємо за формулою:

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

де: i - кількість проходів;

L - довжина робочого ходу:

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

де: l - довжина оброблюємої поверхні;

l_1 - довжина врізання;

l_2 - довжина перебігу (при обробці в упор $l_3=0$).

Основний час на обробку:

$$T_{o2} = \frac{2,5 + 97,2 + 2,5}{0,1 \cdot 1200} \cdot 1 = 0,85 \text{ хв}.$$

4.13.3 Визначення режимів різання на четвертий перехід – точіння канавки.

Різець канавочний, матеріал ріжучої частини – Т5К10. Глибина різання – 2,3 мм; кількість проходів – $i = 1$; визначення подачі. Подачу для обробки поверхонь визначаємо за формулою:

$$s_o = s_T K_{Si} K_{Sp} K_{SM} K_{Sy},$$

де: s_T - табличне значення подачі;

$K_{Si}, \dots, K_{Sy}$ - коефіцієнти, що враховують:

K_{Si} - інструментальний матеріал;

K_{Sp} - спосіб кріплення пластини;

K_{SM} - механічні властивості оброблюваного матеріалу;

K_{Sy} - схему установки заготовки;

Таким чином подача для обробки поверхонь:

$$s_0 = 0,110,95 \cdot 11,1 = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання для обробки поверхонь визначаємо за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot S^{Y_v}} \cdot K_v,$$

де: C_v - постійна у формулі швидкості різання;

Y_v , m - показники ступеню;

K_v - поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_v = 0,6$$

Таким чином швидкість різання складає:

$$V = \frac{47}{45^{0,2} \cdot 0,1^{0,8}} \cdot 0,6 = 83 \text{ м/хв};$$

Частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

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

де: D - діаметр обробки.

$$n_p = \frac{1000 \cdot 83}{3,14 \cdot 16,85} = 1568 \text{ об/хв},$$

використавши практичні знання за паспортом верстату приймаємо $n_{пр} = 800$ об/хв.

Фактичну швидкість різання визначаємо за формулою:

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

$$V = \frac{3,14 \cdot 16,85 \cdot 800}{1000} = 42,3 \text{ м/хв.}$$

Основний час визначаємо за формулою:

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

де: i - кількість проходів;

L - довжина робочого ходу:

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

де: l - довжина оброблюємої поверхні;

l_1 - довжина врізання;

l_2 - довжина перебігу (при обробці в упор $l_3=0$).

Основний час на обробку:

$$T_{03} = \frac{2.5 + 12}{0.1 \cdot 800} \cdot 1 = 0.38 \text{ хв},$$

4.13.4 Визначення режимів різання на п'ятий перехід – точіння двох канавок.

Різець канавочний, матеріал ріжучої частини – Т5К10. Глибина різання – 1,4 мм; кількість проходів – $i = 2$.

Визначення подачі. Подачу для обробки поверхонь визначаємо за формулою:

$$s_0 = s_T K_{Si} K_{Sp} K_{SM} K_{Sy},$$

де: s_T - табличне значення подачі;

$K_{Si}, \dots, K_{Sy}$ - коефіцієнти, що враховують:

K_{Si} - інструментальний матеріал;

K_{Sp} - спосіб кріплення пластини;

K_{SM} - механічні властивості оброблюваного матеріалу;

K_{Sy} - схему установки заготовки;

Таким чином подача для обробки поверхонь:

$$s_0 = 0.11095 \cdot 11.1 = 0.1 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання для обробки поверхонь визначаємо за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot S^{Y_v}} \cdot K_v,$$

де: C_v - постійна у формулі швидкості різання;

Y_v , m - показники ступеню;

K_v - поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_v = 0.6$$

Таким чином швидкість різання складає:

$$V = \frac{47}{45^{0.2} \cdot 0.1^{0.8}} \cdot 0.6 = 83 \text{ м/хв};$$

Частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

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

де: D - діаметр обробки.

$$n_p = \frac{1000 \cdot 83}{3,14 \cdot 15} = 1762 \text{ об/хв},$$

використавши практичні значення за паспортом верстату приймаємо $n_{\text{пр}} = 800 \text{ об/хв}$.

Фактичну швидкість різання визначаємо за формулою:

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

$$V = \frac{3,14 \cdot 15 \cdot 800}{1000} = 37.68 \text{ м/хв}.$$

Основний час визначаємо за формулою:

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

де: i - кількість проходів;

L - довжина робочого ходу:

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

де: l - довжина оброблюємої поверхні;

l_1 - довжина врізання;

l_2 - довжина перебігу (при обробці в упор $l_3=0$).

Основний час на обробку:

$$T_{o4} = \frac{2.5 + 2}{0,1 \cdot 800} \cdot 2 = 0.11 \text{ хв}.$$

4.13.7. Визначення режимів різання на сьомий перехід – чорнове точіння по контуру.

Глибина різання – 2.5мм;

Кількість проходів – $i = 1$;

Визначення подачі.

Подачу для обробки поверхонь визначаємо за формулою:

$$s_o = s_T \cdot K_S \cdot K_{Sp} \cdot K_{SD} \cdot K_{Sh} \cdot K_{SM} \cdot K_{Sy} \cdot K_{Sn} \cdot K_{S\phi} \cdot K_{S\gamma},$$

де: s_T - табличне значення подачі;

$K_{Si}, \dots, K_{S\gamma}$ - коефіцієнти, що враховують:

K_{Si} - інструментальний матеріал;

K_{Sp} - спосіб кріплення пластини;

K_{SD} - переріз державки різця;

K_{Sh} - міцність різальної частини;

K_{SM} - механічні властивості оброблюваного матеріалу;

K_{Sy} - схему установки заготовки;

K_{Sp} - стан поверхні заготовки;

$K_{S\phi}$ - геометрію в плані;

K_{Sy} - жорсткість верстату.

Таким чином подача для обробки поверхонь:

$$s_0 = 0,21 \cdot 1,1 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \cdot 1,3 \cdot 0,75 = 0,2 \text{ мм/об.}$$

Визначення швидкості різання.

Швидкість різання для обробки поверхонь визначаємо за формулою:

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

де: C_v - постійна у формулі швидкості різання;

X_v, Y_v, m - показники ступеню;

K_v - поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_v = K_{VT} \cdot K_{Vj} \cdot K_{VM} \cdot K_{V\phi},$$

де: K_{VT} - коефіцієнт, що враховує період стійкості різального інструменту та інструментального матеріалу,

$$K_{VT} = C_{VT} T_{VT}^m = 3,64560^{-0,398} = 0,6;$$

K_{Vj} - коефіцієнт, що враховує жорсткість верстату,

$$K_{Vj} = C_{Vj} D_c^{m_{Vj}} = 0,201400^{0,242} = 0,86;$$

K_{VM} - коефіцієнт, що враховує властивості оброблюємого матеріалу,

$$K_{VM} = C_{VM} (HB)^{m_{VM}} = 18107720^{-1,288} = 0,9;$$

$K_{V\phi}$ - коефіцієнт, що враховує геометрію в плані,

$$K_{V\phi} = C_{V\phi} \epsilon^{X_v} \epsilon^{Y_v} = 3,6290^{0,004} 60^{-0,29} = 1,15;$$

де: $C_{VT}, C_{Vj}, C_{VM}, C_{V\phi}$ - постійні;

$m_{VT}, m_{Vj}, m_{VM}, X_v, Y_v$ - показники ступеню;

D_c - найбільший діаметр обробки на верстаті.

$$K_v = 0,6 \cdot 0,9 \cdot 0,86 \cdot 1,15 = 0,53;$$

Таким чином швидкість різання складає:

$$V = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 0,2^{0,2}} \cdot 0,53 = 117 \text{ м/хв.};$$

Частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

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

де: D - діаметр обробки.

$$n_p = \frac{1000 \cdot 117}{3,14 \cdot 19} = 1659 \text{ об/хв.},$$

корегуємо за паспортом верстата і приймаємо $n_{пр} = 1500 \text{ об/хв.}$

Фактичну швидкість різання визначаємо за формулою:

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

$$V = \frac{3,14 \cdot 19 \cdot 1500}{1000} = 89,5 \text{ м/хв.}$$

Перевірка вибраних режимів різання по потужності привода головного руху.

Перевірку здійснюємо за формулою:

$$N = (C_N \cdot t^{X_N} \cdot s^{Y_N}) \cdot K_N,$$

де: C_N - постійна у формулі потужності різання;

X_N, Y_N - показники ступеню;

K_N - поплашковий коефіцієнт:

$$K_N = C_N \cdot (HB)^{X_N} = 0,0019 \cdot 720^{0,813} = 0,4,$$

де: C_N та X_N - постійна та показник ступеню відповідно у формулі поплашкового коефіцієнта потужності різання.

$$N = 3,943 \cdot 2,5^{0,688} \cdot 0,2^{0,436} \cdot 0,4 = 1,31 \text{ кВт},$$

що не перевищує потужності привода головного привода верстата.

Основний час визначаємо за формулою:

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

де: i - кількість проходів;

L - довжина робочого ходу:

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

де: l - довжина оброблюємої поверхні;

l_1 - довжина врізання;

l_2 - довжина перебігу (при обробці в упор $l_3=0$).

Основний час на обробку:

$$T_{o1} = \frac{2.5 + 21.5 + 2.5}{0.2 \cdot 1500} \cdot 1 = 0.08 \text{ хв.}$$

4.13.8 Визначення режимів різання на восьмий перехід – чистове точіння по контуру.

Глибина різання – 1.0 мм; кількість проходів – $i = 1$; виходячи з умов обробки приймаємо триохгранну форму пластини з кутом при вершині 60° із твердого сплаву Т15К6. Подачу для обробки поверхонь визначаємо за формулою:

$$s_o = s_T K_{Si} K_{Sp} K_{SD} K_{Sh} K_{SM} K_{Sy} K_{Sn} K_{S\phi} K_{Sy},$$

де: s_T - табличне значення подачі;

$K_{Si}, \dots, K_{Sy}$ - коефіцієнти, що враховують:

K_{Si} - інструментальний матеріал;

K_{Sp} - спосіб кріплення пластини;

K_{SD} - переріз державки різця;

K_{Sh} - міцність різальної частини;

K_{SM} - механічні властивості оброблюваного матеріалу;

K_{Sy} - схему установки заготовки;

K_{Sn} - стан поверхні заготовки;

$K_{S\phi}$ - геометрію в плані;

K_{Sy} - жорсткість верстату.

Таким чином подача для обробки поверхонь:

$$s_o = 0.251, 110, 951, 10, 90, 851, 150, 75 = 0.1 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання для обробки поверхонь визначаємо за формулою:

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

де: C_v - постійна у формулі швидкості різання;

X_v, Y_v, m - показники ступеню;

K_v - поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_V = K_{VT} \cdot K_{Vj} \cdot K_{VM} \cdot K_{V\phi},$$

$$K_V = 0,9 \cdot 1,1 \cdot 0,95 \cdot 1 = 0,94$$

Таким чином швидкість різання складає:

$$V = \frac{292}{60^{0,18} \cdot 1^{0,15} \cdot 0,1^{0,3}} \cdot 0,94 = 262 \text{ м/хв};$$

Частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

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

де: D - діаметр обробки.

$$n_p = \frac{1000 \cdot 262}{3,14 \cdot 18} = 2087 \text{ об/хв},$$

корегуємо за паспортом верстата і приймаємо $n_{пр} = 1200 \text{ об/хв}$.

Фактичну швидкість різання визначаємо за формулою:

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

$$V = \frac{3,14 \cdot 39,2 \cdot 1200}{1000} = 148 \text{ м/хв}.$$

Основний час визначаємо за формулою:

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

де: i - кількість проходів;

L - довжина робочого ходу:

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

де: l - довжина оброблюємої поверхні;

l_1 - довжина врізання;

l_2 - довжина перебігу (при обробці в упор $l_3=0$).

Основний час на обробку:

$$T_{o2} = \frac{2,5 + 21,5 + 2,5}{0,1 \cdot 1200} \cdot 1 = 0,22 \text{ хв}.$$

4.13.9 Визначення режимів різання на дев'ятий перехід – точіння канавки.

Різець канавочний, матеріал ріжучої частини – Т5К10. Глибина різання – 2,3 мм;

кількість проходів – $i = 1$; визначення подачі. Подачу для обробки поверхонь

визначаємо за формулою:

$$s_o = s_T K_{Si} K_{Sp} K_{SM} K_{Sy},$$

де: s_T - табличне значення подачі;

$K_{Si}, \dots, K_{Sy}$ - коефіцієнти, що враховують:

K_{Si} - інструментальний матеріал;

K_{Sp} - спосіб кріплення пластини;

K_{SM} - механічні властивості оброблюваного матеріалу;

K_{Sy} - схему установки заготовки;

Таким чином подача для обробки поверхонь:

$$s_o = 0,110,95 \cdot 11,1 = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання для обробки поверхонь визначаємо за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot S^{Y_v}} \cdot K_v,$$

де: C_v - постійна у формулі швидкості різання;

Y_v , m - показники ступеню;

K_v - поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_v = 0,6$$

Таким чином швидкість різання складає:

$$V = \frac{47}{45^{0,2} \cdot 0,1^{0,8}} \cdot 0,6 = 83 \text{ м/хв};$$

Частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

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

де: D - діаметр обробки.

$$n_p = \frac{1000 \cdot 83}{3,14 \cdot 16,85} = 1568 \text{ об/хв},$$

використавши практичні знання за паспортом верстату приймаємо $n_{пр} = 800$ об/хв.

Фактичну швидкість різання визначаємо за формулою:

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

$$V = \frac{3,14 \cdot 16,85 \cdot 800}{1000} = 42,3 \text{ м/хв.}$$

Основний час визначаємо за формулою:

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

де: i - кількість проходів;

L - довжина робочого ходу:

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

де: l - довжина оброблюємої поверхні;

l_1 - довжина врізання;

l_2 - довжина перебігу (при обробці в упор $l_3=0$).

Основний час на обробку:

$$T_{o3} = \frac{2,5 + 12}{0,1 \cdot 800} \cdot 1 = 0,38 \text{ хв}$$

Основний час на усю операцію:

$$T_{o\Sigma} = 0,68 + 0,85 + 0,38 + 0,11 + 0,08 + 0,22 + 0,38 = 2,7 \text{ хв.}$$

На решту операцій елементи режимів різання визначаємо за нормативними документами. Визначені величини елементів режимів різання заносимо до таблиці 4.14.

Таблиця 4.14

Зведена таблиця режимів різання на операції механічної обробки

Номер		t,	S _o ,	V,	n,	t _o ,
Операції	Переходу	мм	мм/об; мм/хв	м/хв	об/хв	хв
1	2	3	4	5	6	7
005	2	3,5	280	117	300	0,18
	3	1,575	0,05	14	1125	0,18
010	2	2,5	0,2	98,5	800	0,68
	3	1	0,1	148	1200	0,85
	4	2,3	0,1	42,3	800	0,63
	5	1,4	0,1	37,68	800	0,06
	6	2,5	0,2	47,7	1500	0,08
	7	1	0,1	67,8	1200	0,22
	8	2,3	0,1	42,3	800	0,38
015	2	0,25	0,64	35	300	0,11
020	2	0,3	0,3	50	180	0,28
025	2	0,8	0,45	15,5	205	5,45
030	2	0,12	56	20	50	2,55
035	2	2,9	1,2	56	224	1,96
040	2	0,1	0,1	35	1320	0,06
	4	0,1	0,1	35	1320	0,06
045	2	0,03	0,02	35	150	0,73
	3	0,02	0,02	50	150	0,425
	4	0,02	0,02	50	150	0,31
050	2	0,03	0,03	50	180	0,38
055	2	0,02	0,02	35	180	0,4
060	2	0,005	-	17	300	0,14
065	2	0,005	0,0015	70	300	0,78

4.13. Технічне нормування операцій

Норми часу на виконання операцій визначаємо розрахунковим методом.

Виконаємо розрахунок штучно-калькуляційного часу для 010 операції токарної з ЧПК, обробки шестерні ведучої. Основний технологічний час операції:

$$t_0 = 2,7 \text{ хв};$$

Визначаємо допоміжний час, який складається з:

- час на встановлення та закріплення деталі:

$$t_{д1} = 0,08 \text{ хв}; \quad [4, \text{ст.197}]$$

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

$$t_{д2} = 0,15 + 0,03 = 0,18 \text{ хв}; \quad [5, \text{к.14}]$$

- час на контрольні вимірювання:

$$t_{д3} = 0,74 \text{ хв}; \quad [5, \text{к.15}]$$

Визначаємо допоміжний час на операцію:

$$T_{д} = t_{д1} + t_{д2} + t_{д3} = 0,08 + 0,18 + 0,74 = 1,0 \text{ хв};$$

Визначаємо час автоматичної роботи верстату:

$$T_{ц.а.} = T_0 + T_{мв};$$

де: $T_{мв}$ – машинно-додатковий час;

$$T_{мв} = 0,862 \text{ хв}; \quad [6, \text{ст.454}]$$

$$T_{ц.а.} = 2,7 + 0,862 = 2,882 \text{ хв};$$

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

$$\alpha_{\text{тех}} + \alpha_{\text{орг}} + \alpha_{\text{осп}} = 8\%; \quad [5, \text{к.16}]$$

Визначаємо норму штучного часу:

$$T_{шт} = (T_{ца} + T_0) \cdot \left(1 + \frac{\alpha_{\text{тех}} + \alpha_{\text{орг}} + \alpha_{\text{осп}}}{100}\right);$$

$$T_{шт} = (2,882 + 1,0) \cdot \left(1 + \frac{8}{100}\right) = 4,193 \text{ хв};$$

Визначаємо норму штучно-калькуляційного часу:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + T_{пз}/n;$$

де: $T_{пз}$ – підготовчо-заключний час;

$n=6000$ шт – річна програма випуску деталей;

Визначаємо підготовчо-заключний час:

$$T_{пз} = 8+8=16\text{хв};$$

Визначаємо норму штучно-калькуляційного часу:

$$T_{шт-к} = 4,193 + 16/6000 = 4,197\text{хв};$$

Результати розрахунку норм часу на інші операції заносимо до таблиці 4.20.

Таблиця 4.20

Результати технічного нормування

№ опер.	t_o , хв	t_d , хв	$t_{тех}$, В % від $t_{оп}$	$t_{орг}$, В % від $t_{оп}$	$t_{осп}$, В % від $t_{оп}$	$t_{шт}$, хв	$t_{п-з}$, хв	$t_{шт-к}$, хв
005	0,36	0,72	6,5%			1,15	18	1,154
010	2,7	1,0	8%			4,193	16	4,197
015	0,11	0,45	7%			0,599	14	0,603
025	0,28	0,45	7%			0,781	14	0,785
030	5,45	0,76	6,5%			6,71	18	6,714
035	2,55	0,76	6,5%			3,525	18	3,529
040	1,96	0,68	6,5%			2,812	18	2,816
045	0,12	0,34	7%			0,492	14	0,495
050	1,465	0,45	7%			1,79	14	1,793
055	0,38	0,45	7%			0,888	14	0,891
060	0,4	0,45	7%			0,91	14	0,913
065	0,14	0,58	7%			0,77	14	0,773
090	0,78	0,44	7%			1,305	14	1,308

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1. Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження

Середній коефіцієнт завантаження робочих місць, зайнятих у виготовленні даної деталі, розраховують у такій послідовності.

Потрібну кількість робочих місць на операціях проектного технологічного процесу визначаємо за формулою:

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

де $t_{шт(i)}$ - 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_ϵ - нормативний коефіцієнт виконання норм часу (приймається у розмірі 1,01-1,1 згідно [1, с. 4]).

На операції 005 техпроцесу:

$$q_{p(1)} = \frac{6000 \cdot 1,15}{3680 \cdot 60 \cdot 1,0} = 0,031$$

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

Коефіцієнт завантаження обладнання по кожній деталі-операції:

$$\eta_{з(i)} = \frac{q_{p(i)}}{q_{нр(i)}} \quad (5.3)$$

$$\eta_{з(1)} = \frac{0,031}{1} = 0,031$$

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

$$\bar{\eta}_з = \frac{\sum_{i=1}^m q_{p(i)}}{\sum_{i=1}^m q_{np(i)}} = \frac{0,74}{13} = 0,06 \quad (5.4)$$

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

m - кількість операцій технологічного процесу.

Таблиця 5.1

Розрахунок завантаження обладнання

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}, \text{хв.}$	Кількість обладнання		$\eta_з$	$\bar{\eta}_з$
			q_p	q_{np}		
005	Фрезерно-центрувальна	1,15	0,031	1	0,031	0,06
010	Токарна з ЧП	4,193	0,114	1	0,114	
015	Кругло шліфувальна	0,599	0,016	1	0,016	
020	Кругло шліфувальна	0,781	0,021	1	0,021	
025	Торцешліфувальна	6,71	0,182	1	0,182	
030	Зубодовбальна	3,525	0,096	1	0,096	
035	Зубошевінгувальна	2,812	0,076	1	0,076	
040	Шліцефрезерна	0,492	0,013	1	0,013	
050	Круглошліфувальна з ЧПК	1,79	0,049	1	0,049	
055	Кругло шліфувальна	0,888	0,024	1	0,024	
060	Торце-кругло шліфувальна	0,91	0,025	1	0,025	
065	Суперфінішна	0,77	0,021	1	0,021	
070	Доводочна	1,305	0,035	1	0,035	
	Всього	25,925	0,704	13	0,704	

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 трудомісткі 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:

$$n_p = \frac{0,5 \cdot 440}{0,492} \approx 447 \text{ шт.};$$

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:

$$A_p = \frac{N_z}{n_p} = \frac{6000}{447} = 13, \quad (5.6)$$

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 $A_{пр}$, розмір партії деталей:

$$A_{np} = 12;$$

$$n_{np} = \frac{N_z}{A_\phi} = \frac{6000}{36} = 500 \text{ шт.} \quad (5.7)$$

Періодичність (ритм) запуску-випуску партій деталей:

$$R_z = \frac{T_p}{A_\phi} = \frac{252}{12} = 21 \text{ роб. днів}, \quad (5.8)$$

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 межопераційних перерв.

Тривалість операційного циклу:

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

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

$t_{k-d(i)}$ - калькуляційно-дійсний час на даній деталі-операції, хв.

$$t_{k-d(i)} = \frac{t_{um(i)}}{k_b \cdot p_{m(i)} \cdot q_{np(i)}} + \frac{t_{n-з(i)}}{n_{np}}, \quad (5.10)$$

де k_b - 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:

$$t_{k-d(1)} = \frac{1,15}{1,0 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{15}{500} = 1,180 \text{ хв.}$$

$$T_{o(1)} = \frac{500 \cdot 1,180}{2 \cdot 440} = 0,67 \text{ дн.}$$

Результати розрахунків $t_{k-d(i)}$ і $T_{o(i)}$ зведемо до табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Розрахунок тривалості циклу

№ операції	Найменування операції	$t_{шт}$, хв.	$t_{п-з}$, хв.	$t_{к-д}$, хв.	T_o , днів	$t_{мо}$, днів
005	Фрезерно-центрувальна	1,15	15	1,180	0,67	0,35
010	Токарна з ЧП	4,193	20	4,233	2,40	0,35
015	Кругло шліфувальна	0,599	18	0,635	0,36	0,35
020	Кругло шліфувальна	0,781	18	0,817	0,46	0,35
025	Торцешліфувальна	6,71	18	6,746	3,83	0,35
030	Зубодовбальна	3,525	24	3,573	2,03	0,35
035	Зубошевінгувальна	2,812	24	2,860	1,63	0,35

040	Шліцефрезерна	0,492	18	0,528	0,30	0,35
050	Круглошліфувальна з ЧПК	1,79	18	1,826	1,04	0,35
055	Кругло шліфувальна	0,888	18	0,924	0,53	0,35
060	Торце-кругло шліфувальна	0,91	18	0,946	0,54	0,35
065	Суперфінішна	0,77	16	0,802	0,46	0,35
070	Доводочна	1,305	16	1,337	0,76	0,35
	Всього	28,52	20	26,407	15,00	4,55

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:

$$T_n = \sum_{i=1}^m T_{o_i} + \sum_{i=1}^m t_{mo} = 15,00 + 4,55 = 19,55 \text{ днів}, \quad (5.11)$$

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

$$t_{mo} = \frac{(0,25 \dots 0,8) \cdot \sum_{i=1}^m T_{o_i}}{m} = \frac{0,3 \cdot 15,00}{13} = 0,35 \text{ дні}, \quad (5.12)$$

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

Середній розмір циклового запасу деталей визначається за формулою:

$$Z_u = \frac{n_{np} \cdot T_u}{R_z} = \frac{500 \cdot 19,55}{21,0} = 466 \text{ шт.}, \quad (5.13)$$

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

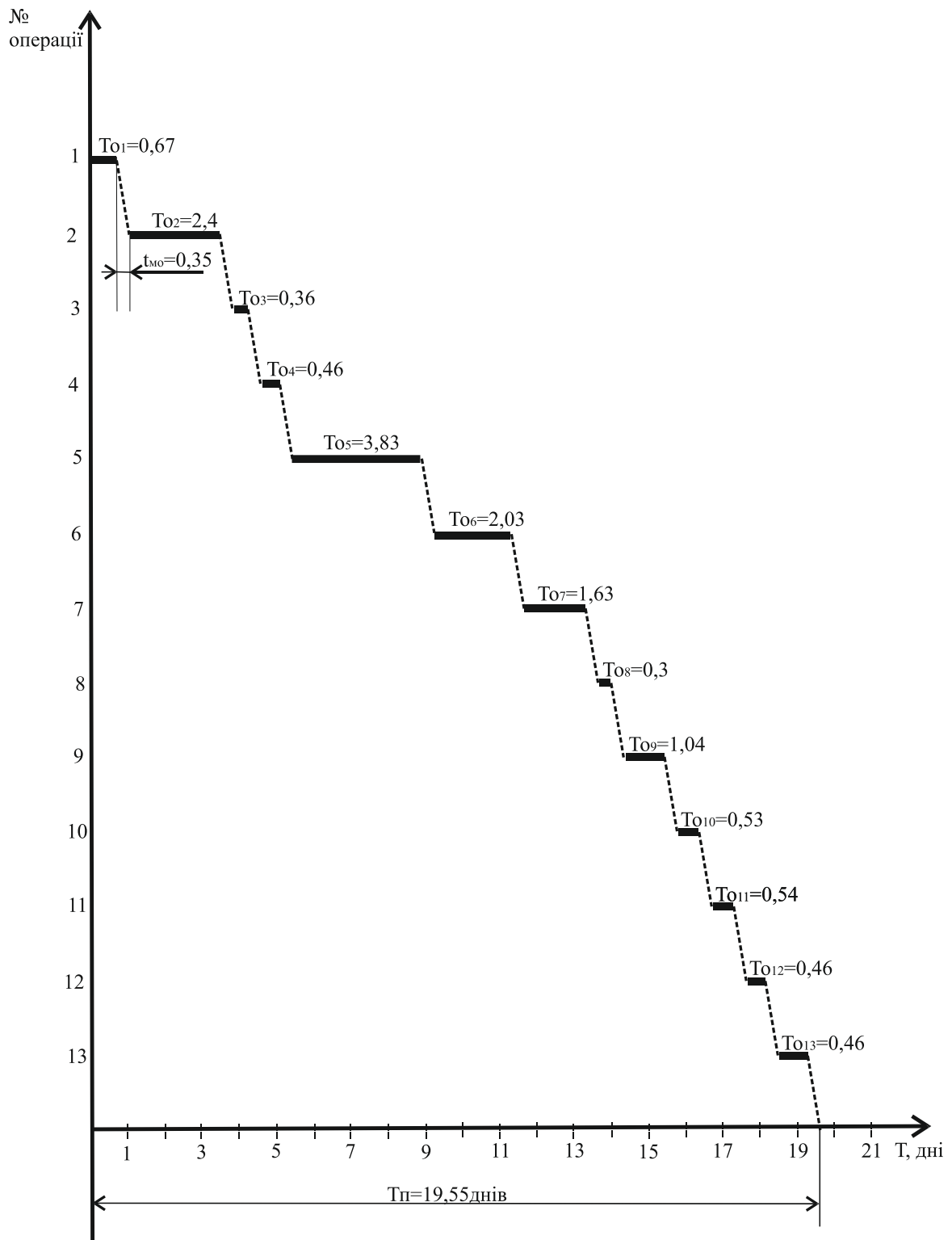


Рис. 5.1. Графік послідовного виду руху партії деталей «шестерня ведуча» 500 шт.

5.3. Визначення чисельності основних робітників цеху

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

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

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]:

$$K_{дов} = \frac{\eta_{zn}}{\bar{\eta}} = \frac{0,85}{0,06} = 14,2 \quad (5.16)$$

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

F_{dp} - 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%)):

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

$$T_p = 6000 \cdot \frac{28,52}{60} \cdot 14,2 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) = 48598 \text{ нормо-год.}$$

$$R_o = \frac{48598}{1840} = 27 \text{ особи.}$$

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):

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

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

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

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

5.4.1. Розрахунок змінних витрат

За поелементним методом розрахунку змінні витрати визначаються за формулою:

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

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

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

E_c – витрати на електроенергію силову, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

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

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

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

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

$$Z_{одв} = C_{г(i)} \frac{t_{шт(i)}}{60} (1 + K_d) \cdot (1 + K_c), \quad (5.3)$$

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

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

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

В базовому варіанті:

$$Z_{одв.баз} = \frac{92,303 \cdot 8,78}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 18,1263 \text{ грн.}$$

В проектному варіанті:

$$Z_{одв.пр} = \frac{92,303 \cdot 4,193}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 8,6566 \text{ грн.}$$

Наступні статті витрат пов'язано з утриманням та експлуатацією обладнання. Тому, перед їх розрахунком, на основі [1, дод. Д2 та 2, с. 91] складемо таблицю характеристики обладнання, яке використовується у порівнюваних операціях базового та проектного техпроцесів (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Характеристика обладнання

Модель обладнання	Габаритні розміри: довжина × ширина, м	Потужність електро-двигунів верстата, кВт	Ма-са, т	Група ремонтної складності механічної/електричної частини, УРО	Пло-ща в плані S _{од} , м ²	Ціна, тис. грн.
Базовий техпроцес						
Спеціальний токарно-копіювальний СА 022Л	1,90×1,40	10	3,1	15/11,5	2,66	230,0
Спеціальний токарно-копіювальний СА 023	1,76×1,38	15	4,2	10/12	2,43	217,5
Проектний техпроцес						
Токарний обробний центр Hesapp DVT-320	4,03×1,90	25,0	5,9	25/18	7,66	2750

Витрати на електроенергію силову:

$$E_c = \frac{N_v \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_d}{\eta_v \cdot \eta_m} \cdot \frac{t_{ум}}{60} \cdot C_{ел}, \quad (5.4)$$

де N_v – встановлена потужність електродвигунів обладнання, кВт;

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

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

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

η_v – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі, $\eta_v=0,92\dots0,96$;

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

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

$$E_{с.баз} = \frac{(10 \cdot 3,44 + 15 \cdot 5,34) \cdot 0,6 \cdot 0,4 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88 \cdot 60} \cdot 8,235 = 2,2559 \text{ грн.}$$

$$E_{c.нр} = \frac{25 \cdot 0,5 \cdot 0,4 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88} \cdot \frac{4,193}{60} \cdot 8,235 = 1,7209 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_p = \frac{W_m \cdot R_m + W_e \cdot R_e}{F_{дрм}} \cdot \frac{t_{ум}}{60}, \quad (5.5)$$

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

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

$$B_{p.баз} = \frac{(980 \cdot 15 + 760 \cdot 11,5) \cdot 3,44 + (980 \cdot 10 + 760 \cdot 12) \cdot 5,34}{3680 \cdot 60} = 0,8228 \text{ грн.}$$

$$B_{p.нр} = \frac{(980 \cdot 25 + 760 \cdot 18) \cdot 4,193}{3680 \cdot 60} = 0,7250 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{мд} = \frac{M_{гв} \cdot R_m \cdot t_{ум}}{100 \cdot 60} \cdot K_v, \quad (5.6)$$

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

K_v – коефіцієнт, який враховує тип виробництва.

$$B_{мд.баз} = \frac{40,0 \cdot (15 \cdot 3,44 + 10 \cdot 5,34)}{100 \cdot 60} \cdot 1,1 = 0,7680 \text{ грн.}$$

$$B_{мд.нр} = \frac{40,0 \cdot 25 \cdot 4,193}{100 \cdot 60} \cdot 1,1 = 0,7668 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію універсального обладнання:

$$B_{ам} = \frac{\Phi_{бал} \cdot H_a \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot 100 \cdot \eta_{зн}}, \quad (5.7)$$

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

$$\Phi_{бал} = \Pi_{опт} \cdot K_{тмф}, \quad (5.8)$$

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, %.

$$B_{ам.баз} = \frac{(230000 \cdot 3,44 + 217500 \cdot 5,34) \cdot 1,19 \cdot 15}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,85} = 1,8573 \text{ грн.}$$

$$B_{ам.пр} = \frac{2750000 \cdot 1,19 \cdot 15 \cdot 4,193}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,85} = 5,9668 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію приміщення:

$$B_{en} = \frac{S_{од} \cdot k_f \cdot C}{F_{орм} \cdot \eta_{зн}} \cdot \frac{t_{um}}{60}, \quad (5.9)$$

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

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

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

$$B_{en.баз} = \frac{(2,66 \cdot 3,44 + 2,43 \cdot 5,34) \cdot 3,5 \cdot 768}{3680 \cdot 60 \cdot 0,85} = 0,3168 \text{ грн.}$$

$$B_{en.пр} = \frac{7,66 \cdot 2,5 \cdot 4,193 \cdot 768}{3680 \cdot 60 \cdot 0,85} = 0,3286 \text{ грн.}$$

5.4.2. Розрахунок постійних витрат

За поелементним методом розрахунку постійні витрати включають:

$$P = B_{нал} + B_{сп.осн} + B_{ам.сп} + B_{пр}, \quad (5.10)$$

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

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

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

$B_{пр}$ – витрати на створення програмного забезпечення верстатів з ЧПК (вартість програмного забезпечення для токарного обробного центру Hesapp DVT-320 в проектному варіанті входить до його вартості).

Витрати на налагодження обладнання:

$$B_{нал} = C_{зн} \cdot \frac{t_{n-3}}{60} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_c) \cdot A, \quad (5.11)$$

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

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

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

$$B_{\text{нал.баз}} = 104,609 \cdot \frac{24 \cdot 5}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 12 = 3369,24 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{нал.пр}} = 123,069 \cdot \frac{20}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 12 = 660,63 \text{ грн.}$$

5.4.3. Розрахунок технологічної собівартості

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

Таблиця 5.2

Розрахунок технологічної собівартості

№ з/п	Статті витрат	Витрати, грн.	
		Базовий	Проект
1.	<u>Змінні витрати V</u>		
1.1	Заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з єдиним соціальним внеском	18,1263	8,6566
1.2	Електроенергія силова	2,2559	1,7209
1.3	Ремонт обладнання	0,8228	0,7250
1.4	Матеріали допоміжні	0,7680	0,7668
1.5	Амортизація універсального обладнання	1,8573	5,9668
1.6	Експлуатація приміщень	0,3168	0,3286
	Всього змінних витрат	24,1471	18,1647
2.	<u>Постійні витрати Р</u>		
2.1	Налагодження обладнання	3369,24	660,63
	Технологічна собівартість річного випуску деталей $C_{\text{тех}}$	148252	109649

Технологічна собівартість:

$$C_{\text{тех.баз}} = 24,1471 \cdot 6000 + 3369,24 = 148252 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{тех.пр}} = 18,1647 \cdot 6000 + 660,63 = 109649 \text{ грн.}$$

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей «шестерня ведуча» $N_3=6000$ 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 $C_{тех.баз} = C_{тех.пр}$:

$$N_{кр} = \frac{P_{пр} - P_{баз}}{V_{баз} - V_{пр}} = \frac{660,63 - 3369,24}{24,1471 - 18,1647} = -453_{шт.}, \quad (5.12)$$

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

5.4.4. Розрахунок показників економічної ефективності проектного варіанту технологічного процесу

Річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу:

$$E_p = (C_{тех.баз} + E_n \cdot K_{баз}) - (C_{тех.пр} + E_n \cdot K_{пр}), \quad (5.13)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень;

$K_{баз}$, $K_{пр}$ – відповідно капітальні вкладення базового і проектного варіантів техпроцесу, грн.

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

$$K = (\Phi_{бал} + B_{осн} + K_{буд}) \cdot \eta_{з_i}, \quad (5.14)$$

Капітальні вкладення в будівлі розраховуємо за формулою:

$$K_{буд} = S_{од} \cdot K_f \cdot q_{пр} \cdot h \cdot Ц_{буд}, \quad (5.15)$$

де h - висота приміщення цеху, м;

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

$$K_{буд.баз} = (2,66 \cdot 2 + 2,43 \cdot 3) \cdot 3,5 \cdot 8 \cdot 8000 = 2824640 \text{ грн.}$$

$$K_{буд.пр} = 7,66 \cdot 2,5 \cdot 8 \cdot 8000 = 1225600 \text{ грн.}$$

Балансова вартість обладнання:

$$\Phi_{\text{бал.баз}} = (230000 \cdot 2 + 217500 \cdot 3) \cdot 1,19 = 1323875 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{\text{бал.пр}} = 2750000 \cdot 1,19 = 3272500 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{баз}} = (2824640 + 1323875) \cdot 0,05 = 207426 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{пр}} = (1225600 + 3272500) \cdot 0,114 = 512784 \text{ грн.}$$

$$E_p = (148252 + 0,16 \cdot 207426) - (109649 + 0,16 \cdot 512784) = -10254 \text{ грн.}$$

Впровадження запропонованого технологічного процесу впливає на зниження технологічної собівартості виготовлення деталі, проте потребує істотних додаткових капітальних вкладень на придбання нового обладнання. Цей факт, а також більший, ніж у базовому варіанті коефіцієнт завантаження цього обладнання, викликало від'ємне значення економічного ефекту. Проте сама його величина, тобто різниця між приведеними витратами порівнюваних варіантів не є істотною. До того ж в базовому варіанті для розрахунку було узяті середні ціни верстатів, які були у використанні, оскільки їхні нові зразки наразі не випускаються. Придбання підприємством на вторинному ринку такого фізично та морально зношеного обладнання мало б свої негативні наслідки, а саме: збільшення витрат на його утримання і ремонт, зростання браку виготовлюваної продукції, необхідність їх скорішої заміни через неможливість подальшої експлуатації таке інше. Таким чином, впровадження проектного варіанту техпроцесу було б правильним рішенням для підприємства.

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

$$\Delta T_p = \frac{\sum_{i=1}^m t_{\text{ум}(i)}^{\text{баз}}}{\sum_{i=1}^m t_{\text{ум}(i)}^{\text{пр}}} \cdot 100 - 100 = \frac{8,78}{4,193} \cdot 100 - 100 = 109,4\%, \quad (5.16)$$

5.5. Розрахунок планової цехової собівартості деталі

Цехова собівартість виготовлення деталі визначається як сума калькуляційних статей витрат:

$$C_{цех} = M_o + Z_{од} + B_c + B_{ин} + B_o + B_{ц}, \quad (5.17)$$

де M_o - вартість основних матеріалів, грн.:

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

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

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

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

$B_{ц}$ - цехові витрати, грн.

Вартість основних матеріалів:

$$M_o = a_p \cdot Ц_m \cdot K_{тр} - a_{\epsilon} \cdot Ц_{\epsilon}, \quad (5.18)$$

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

$Ц_m$ - ціна матеріалу, грн./кг.;

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

a_{ϵ} - маса відходів, кг.;

$Ц_{\epsilon}$ - ціна відходів, грн./кг.

$$M_o = 0,90 \cdot 39,0 \cdot 1,05 - (0,9 - 0,241) \cdot 5,85 = 32,999 \text{ грн.}$$

Заробітна плата основна й додаткова виробничих робітників:

$$Z_{од} = P_{\epsilon} (1 + K_{\phi}), \quad (5.19)$$

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

$$P_{\epsilon} = \sum_1^m P_{оп_i} = \sum_1^m \frac{e_{зод_i}^{\epsilon} \cdot t_{ум-\kappa_i}}{60}, \quad (5.20)$$

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

$t_{шт-кi}$ - штучно-калькуляційний час і-ої операції технологічного процесу, хв.:

$$t_{ум-\kappa_i} = t_{ум_i} + \frac{t_{n-3_i}}{n_{np}}, \quad (5.21)$$

$n_{пр}$ - розмір партії деталей, шт.

На першій операції техпроцесу:

$$t_{um-\kappa_1} = 1,15 + \frac{15}{500} = 1,180 \text{ хв.}$$

$$P_{on_1} = 83,072 \cdot \frac{1,18}{60} = 1,6337 \text{ грн./шт.}$$

Розрахунок відрядної розцінки на деталь зведемо до табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Розрахунок відрядної розцінки на деталь

№ оп.	Найменування операції	$t_{шт-к}$, хв.	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Розцінка на деталь, грн.
005	Фрезерно-центрувальна	1,180	3	83,072	1,6337
010	Токарна з ЧП	4,233	4	92,303	6,5120
015	Круглошліфувальна	0,635	4	92,303	0,9769
020	Круглошліфувальна	0,817	4	92,303	1,2569
025	Торцешліфувальна	6,746	3	83,072	9,3401
030	Зубодовбальна	3,573	2	67,688	4,0308
035	Зубошевінгувальна	2,860	2	67,688	3,2265
040	Шліцефрезерна	0,528	3	83,072	0,7310
050	Круглошліфувальна	1,826	4	92,303	2,8091
055	Кругло шліфувальна	0,924	4	92,303	1,4215
060	Торце-круглошліфувальна	0,946	3	83,072	1,3098
065	Суперфінішна	0,802	3	83,072	1,1104
070	Доводочна	1,337	3	83,072	1,8511
	Всього	26,407	—	—	36,210

$$Z_{od} = 36,210 \cdot (1 + 0,1) = 39,831 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби виробничих робітників:

$$B_c = 39,831 \cdot \frac{22}{100} = 8,763 \text{ грн.}, \quad (5.22)$$

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).

$$B_{осн} = 22 \cdot \frac{28,52}{60} = 10,457 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

$$B_o = Z_o \cdot \frac{P_{\text{во}}}{100} = 36,210 \cdot \frac{320}{100} = 115,872 \text{ грн.}, \quad (5.23)$$

де $P_{\text{во}}$ - процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання;

Z_o - основна заробітна плата за виготовлення деталі, грн.

Загальноцехові витрати в собівартості деталі:

$$B_{\text{ц}} = Z_o \cdot \frac{P_{\text{ц}}}{100} = 36,210 \cdot \frac{240}{100} = 86,904 \text{ грн.}, \quad (5.24)$$

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

Калькуляцію цехової собівартості деталі слід звести до табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Калькуляція цехової собівартості виготовлення деталі

№ з/п	Найменування статей	Витрати, грн.
1.	Матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів	32,999
2.	Основна заробітна плата виробничих робітників	36,210
3.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	3,621
4.	Відрахування у соціальні фонди	8,763
5.	Експлуатація спеціального оснащення	10,457
6.	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	115,872
7.	Цехові витрати	86,904
8.	Всього цехова собівартість $C_{\text{ц}}$	294,826

5.6. Планування підсумкових техніко-економічних показників

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

- виробіток продукції на одного робітника:

$$B_n = \frac{T_p}{R_o} = \frac{48598}{27} = 1800 \text{ нормо-год./ос.}, \quad (5.25)$$

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

R_o – чисельність основних робітників цеху, осіб;

- зарплатомісткість продукції:

$$Z_{zn} = \frac{Z_{od}}{C_{ц}} \cdot 100 = \frac{39,831}{294,826} \cdot 100 = 13,5\%, \quad (5.26)$$

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

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

- матеріаломісткість продукції:

$$Z_{mn} = \frac{M_o}{C_{ц}} \cdot 100 = \frac{32,999}{294,826} \cdot 100 = 11,2\%, \quad (6.27)$$

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

- собівартість товарної продукції цеху:

$$C_{mn} = C_{ц} \cdot N_z \cdot K_{дов} \quad (5.28)$$

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

$$C_{mn} = 294,826 \cdot 6000 \cdot 14,2 = 25119175 \text{ грн.}$$

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

Таблиця 5.5

Техніко-економічні показники цеху

№ з/п	Показник	Одиниця виміру	Величина
1.	Програма запуску деталі (N_z)	шт./рік	6000
2.	Трудомісткість виробничої програми (T_p)	нормо-год.	48598
3.	Цехова собівартість деталі	грн.	294,83
4.	Собівартість товарної продукції цеху (C_{mn})	тис. грн./рік	25119,2
5.	Чисельність основних робітників	осіб	27
6.	Виробіток продукції на одного робітника	нормо-год.	1800
7.	Матеріаломісткість продукції	%	11,2
8.	Зарплатомісткість продукції	%	13,5
9.	Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу ΔT_p	%	109,4
10.	Річний економічний ефект від застосування проектного варіанту техпроцесу E_p	грн.	-10254

Загальні висновки:

1. Основні показники ефективності впровадження промислових роботів на виробництві: підвищення продуктивності, покращення якості, зниження витрат та підвищення безпеки.

2. У розробленому технологічному процесі використано промислового робота KUKA KR16 сумісно з верстатом Hessapp DVT-320 на токарній операції.

3. Проведено економічні розрахунки та наведено показники економічної ефективності використання промислового робота. Отримано економічний ефект 12410 грн.

4. Розглянуто методику силового розрахунку як одного з ключових моментів ефективного впровадження робота у технологічний процес. Досліджено можливість збільшення продуктивності, якості роботи промислового робота та зниження енергетичних витрат за рахунок зменшення масо-габаритних характеристик привода захватного пристрою та покращення його конструктивних характеристик.

5. Створено дослідний стенд перевірки силових характеристик захватного пристрою та підтвердження адекватності отриманих результатів по запропонованій методиці.

6. Надано відповідні висновки та рекомендації по кожному розділу.

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.