

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:

**«Дослідження точності положення утримуваної
деталі в захватному пристрої промислового
робота»**

**«Research on the accuracy of the position of a part
held in the gripping device of an industrial robot»**

Виконав здобувач вищої освіти ІІ-го
курсу групи ПМ-24М-З
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Олег Крижановський

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

Рецензент:

Кропивницький 2025

Центральноукраїнський національний технічний університет	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

«_____» _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА
Олега КРИЖАНОВСЬКОГО**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження точності положення утримуваної деталі в захватному пристрої промислового робота
2. Керівник роботи: к.т.н., доц., Максим ГОДУНКО
3. Строк подання роботи до захисту «_____» _____ 2025 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є:

аналіз ефективності впровадження промислових роботів у виробничий процес на прикладі виготовлення деталі типу *втулка шліцева*. Особливий акцент зроблено на обґрунтуванні доцільності застосування промислового робота на одній з технологічних операцій та підтвердженні цього рішення економічними розрахунками. Додатковим завданням є дослідження точності захватних пристроїв, що значно впливає на працездатність та ефективність роботів.

Завдання:

- визначити ключові фактори ефективності інтеграції промислових роботів.
- дослідити особливості функціонування захватних пристроїв роботів.
- провести економічну оцінку доцільності використання промислового робота.
- виконати розрахунки на точність захватного пристрою.
- розробити методику покращення точності положення деталі в захватному пристрої
- побудувати залежності похибки позиціонування від конструктивних параметрів пристрою.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Максим ГОДУНКО		
РОЗДІЛ 2	Максим ГОДУНКО		
РОЗДІЛ 3	Максим ГОДУНКО		
РОЗДІЛ 4	Ірина ЖУРИЛО		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п / п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1	Загальна частина	01.10.2025	вик.
2	Дослідна частина	15.10.2025	вик.
3	Технологічна частина	02.11.2025	вик.
4	Економічна частина	18.11.2025	вик.
5	Розробка презентації	01.12.2025	вик.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи _____ Максим ГОДУНКО
(підпис)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 2025 р.

Здобувач _____ Олег КРИЖАНОВСЬКИЙ
(підпис)

АНОТАЦІЯ

на випускню кваліфікаційну роботу здобувача гр. ПМ-24М-3

Крижановського Олега В'ячеславовича

Кваліфікаційну роботу виконано відповідно до теми «Дослідження точності положення утримуваної деталі в захватному пристрої промислового робота». Робота містить пояснювальну записку обсягом ____ сторінок і графічну частину, що включає 8 аркушів формату А4.

У процесі виконання проведено детальний аналіз базового технологічного процесу механічної обробки. На основі отриманих результатів обґрунтовано необхідність переходу від використання традиційних верстатів до сучасного обладнання з числовим програмним керуванням, що забезпечує підвищення точності виготовлення та зростання продуктивності обробки.

У межах дослідження виконано оцінку точності положення деталі в захватних пристроях промислових роботів під час виконання операцій над деталями типу тіл обертання. Побудовано розрахункові моделі, виведено аналітичні залежності, виконано графічне відображення отриманих закономірностей і сформульовано практичні рекомендації щодо підвищення точності утримання.

Графічна частина містить схеми механічної обробки, структурно-технологічні схеми базового й модернізованого процесів, а також ілюстрації, що розкривають основні наукові положення дослідження.

Запропоновані удосконалення технологічного процесу підтверджено інженерними розрахунками та забезпечено відповідним техніко-економічним обґрунтуванням.

Ключові слова: промислові роботи, захватні пристрої, точність положення деталі, технологічний процес.

ANNOTATION

for the final qualification work of the student of group PM-24M-3

Kryzhanovskyi Oleh Vyacheslavovych

The qualification work has been completed in accordance with the topic *“Investigation of the accuracy of the position of a held workpiece in the gripper device of an industrial robot.”* The work includes an explanatory report consisting of ____ pages and a graphic section comprising 8 sheets of A4 format.

During the research, a detailed analysis of the basic technological process of mechanical machining was carried out. Based on the obtained results, the necessity of transitioning from traditional equipment to modern CNC machines has been substantiated, as their application ensures improved machining accuracy and increased productivity.

Within the scope of the study, an assessment of the positional accuracy of a workpiece held in industrial robot grippers during operations with rotational-type parts was performed. Computational models were developed, analytical dependencies were derived, graphical representations of obtained relationships were constructed, and practical recommendations aimed at improving holding accuracy were formulated.

The graphic section includes machining schemes, structural and technological diagrams of both the basic and modernized processes, as well as illustrations reflecting the main scientific aspects of the research.

The proposed improvements to the technological process are supported by engineering calculations and justified through corresponding technical and economic analysis.

Keywords: industrial robots, gripper devices, workpiece positional accuracy, technological process.

Вступ	7
1. Загальна частина	
1.1. Постановка задачі та методи її вирішення	8
1.2. Роботизовані верстатні комплекси, особливості їх роботи	10
1.3. Захватні пристрої: призначення, будова та вимоги	13
2. Дослідна частина	
2.1. Оцінка точності положення утримуваної деталі	22
2.2. Геометрична модель оцінки зміщення центрів деталей	27
2.3. Силовий аналіз утримання деталі	31
2.4. Вплив конструктивних параметрів на точність	32
3. Технологічна частина	
3.1. Аналіз точності та технологічності заданої деталі	39
3.2. Аналіз діючого технологічного процесу	41
3.3. Вибір заготовок та способу їх виготовлення	42
3.4. Вибір методів та маршрутів обробки поверхонь деталі	43
3.5. Розробка маршрутів виготовлення деталі	45
3.6. Вибір технологічних баз	46
3.7. Розробка структури та змісту технологічних операцій	48
3.8. Вибір затискних пристроїв	61
3.9. Вибір ріжучих інструментів	62
3.10. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів	65
3.11. Визначення припусків та операційних розмірів деталі	68
3.12. Визначення режимів різання	71
3.13. Технічне нормування операцій	74
4. Економічна частина	
4.1. Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження	78
4.2. Розрахунок календарно-планових нормативів	79
4.3. Визначення чисельності основних робітників цеху	83
4.4. Аналіз варіантів технологічного процесу	84
4.5. Розрахунок планової цехової собівартості деталі	93
4.6. Планування підсумкових техніко-економічних показників	96
Література	98

Вступ

Динамічний розвиток науково-технічного прогресу сьогодні безпосередньо визначається станом і можливостями сучасного машинобудування. Галузь активно рухається у напрямі комплексної механізації, розширеної автоматизації та глибокої цифровізації виробничих процесів. Основна мета цих трансформацій — підвищення продуктивності, стабільне покращення якості продукції, зниження собівартості та скорочення часу на проектування і технологічну підготовку виробництва.

Сучасне машинобудівне виробництво характеризується широкою номенклатурою деталей і переважно серійним випуском, що вимагає від обладнання високої адаптивності. У таких умовах ключовим стає швидке та точне переналагодження устаткування під нові типи продукції. Саме тому дедалі важливішу роль відіграють гнучкі автоматизовані системи та технологічні комплекси на основі верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Одним із стратегічних завдань сучасного виробництва є досягнення оптимального балансу між продуктивністю та гнучкістю. Практичний досвід свідчить, що саме технологія має визначати конфігурацію виробничого процесу, а не навпаки. Технологічний процес повинен бути побудований таким чином, щоб повною мірою реалізувати можливості ЧПК-устаткування, забезпечити високу повторюваність, стабільну точність і мінімізувати втрати часу.

Випускна кваліфікаційна робота присвячена розробленню сучасного технологічного процесу механічної обробки шліцьової втулки із застосуванням обладнання з числовим програмним керуванням та обґрунтуванню точності виготовлення її робочих поверхонь.

1. Загальна частина

1.1. Постановка задачі та методи її вирішення

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз ефективності впровадження промислових роботів у виробничий процес на прикладі виготовлення деталі типу втулка шліцева. Особливий акцент зроблено на обґрунтуванні доцільності застосування промислового робота на одній з технологічних операцій та підтвердженні цього рішення економічними розрахунками. Додатковим завданням є дослідження точності захватних пристроїв, що значно впливає на працездатність та ефективність роботів.

Актуальність теми. Промислові роботи посідають ключове місце у структурі сучасного автоматизованого виробництва, суттєво впливаючи на продуктивність, точність і конкурентоспроможність підприємств. Основні напрями застосування промислових роботів включають:

Автоматизацію технологічних процесів: складання механічних та електромеханічних вузлів; зварювання з високою повторюваністю якості; нанесення лакофарбових покриттів з мінімізацією відходів.

Підвищення продуктивності та ефективності: робота в безперервному режимі; зниження браку за рахунок високої точності позиціонування.

Оптимізацію виробничих витрат: довгострокове скорочення витрат на персонал; раціональне використання матеріалів.

Поліпшення умов праці: виконання роботом небезпечних, токсичних або важкодоступних операцій.

Підвищення гнучкості виробництва: швидке переналагодження під нові типи продукції; адаптація до змін номенклатури та попиту.

Моніторинг і контроль якості: автоматизований контроль параметрів обробки; застосування систем збору та аналізу даних для оптимізації процесів.

Інтеграція роботів у машинобудівне виробництво підвищує техніко-економічні показники, скорочує простой, покращує стійкість технологічних процесів та підсилює конкурентні переваги підприємства.

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

Предмет дослідження: технічна та економічна ефективність застосування промислових роботів, а також раціональність використання захватних пристроїв у виробничих процесах.

Завдання роботи:

1. Визначити ключові фактори ефективності інтеграції промислових роботів.
2. Дослідити особливості функціонування захватних пристроїв роботів.
3. Провести економічну оцінку доцільності використання промислового робота.
4. Виконати розрахунки на точність захватного пристрою.
5. Розробити методику покращення точності положення деталі в захватному пристрої
6. Побудувати залежності похибки позиціонування від конструктивних параметрів пристрою.

Методи дослідження. У роботі застосовано методи обчислювальної математики, теорії автоматичного керування, робототехнічних систем, а також положення теоретичної та прикладної механіки. Додатково використано аналітичні, графоаналітичні й експериментальні методи дослідження.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в комплексній оцінці технічних та економічних аспектів інтеграції промислового робота у виробничий процес, а також у поглибленому дослідженні точності захватних пристроїв. Результати роботи дозволяють підвищити технологічну надійність, продуктивність та адаптивність автоматизованих систем.

Практична цінність. Розроблена методика забезпечує можливість визначення похибки зміщення деталі в захватному пристрої для надійного її утримування, що сприяє покращенню економічних показників виробництва та підвищенню технічної ефективності технологічних операцій.

Апробація результатів. Основні положення та результати кваліфікаційної роботи були представлені на студентсько-викладацькій науковій конференції Центральноукраїнського національного технічного університету (ЦНТУ).

2.1. Роботизовані верстатні комплекси, особливості їх роботи

Інтенсифікація виробництва, підвищення вимог до точності механічної обробки та скорочення часу виготовлення продукції зумовлюють широке впровадження автоматизованих систем у машинобудівних підприємствах. На зміну локальній автоматизації приходять інтегровані технологічні комплекси, що включають верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) та промислові роботи. Таке поєднання формує **роботизовані верстатні комплекси (РВК)**, які забезпечують повний або частковий автоматизований цикл виготовлення деталей. РВК дозволяють автоматизувати операції завантаження та розвантаження заготовок, їх точне позиціонування, подачу в робочу зону верстата, контроль виконання технологічних операцій та транспортування готових виробів. Використання роботів у поєднанні з CNC-технологіями значно зменшує залежність виробництва від людського фактора, підвищує продуктивність та повторюваність, а також забезпечує можливість роботи у багатозмінному або безперервному режимі.

Верстат з ЧПК (CNC-верстат) — це автоматизований верстат, у якому траєкторія руху робочих органів задається програмою (G-кодом або іншим форматом), що дозволяє досягати високої точності й повторюваності.

Промисловий робот — автоматично керована багатоосьова механічна система, призначена для виконання транспортних та допоміжних технологічних операцій: захоплення, переміщення, установлення, орієнтування та обслуговування верстатів.

Роботизований верстатний комплекс (РВК) - інтегрована система, яка містить щонайменше один верстат з ЧПК, один промисловий робот, а також засоби транспортування, фіксації, подачі заготовок та систему керування. Комплекс функціонує як єдина автоматизована одиниця.

Гнучка виробнича система (ГВС) — розширена форма РВК, що містить декілька роботизованих клітин, транспортно-складське обладнання та централізоване керування.

Класифікація роботизованих верстатних комплексів.

За структурною побудовою.

1. Однопозиційні РВК. Склад: один CNC-верстат + один робот + палетна станція або магазин заготовок. Застосування: дрібносерійне та серійне виробництво.



Рис.1.1. Однопозиційна роботизована комірка: робот + верстат

2. Багатопозиційні РВК. Робот здійснює обслуговування кількох верстатів, між якими переміщує заготовки.

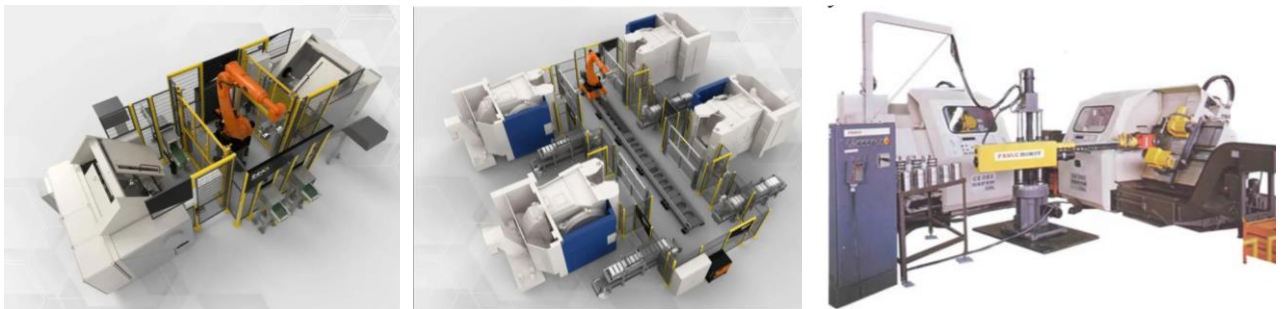


Рис.2.1. Робот, що обслуговує 2–3 CNC-верстати

3. Групові (багатоверстатні) комплекси. Використовують кілька роботів, систему палетів, автоматичні стелажі та конвеєри.



Рис.3.1. Групова роботизована технологічна лінія

За типом виконуваних операцій

- Токарні РВК: автоматизоване обслуговування токарних центрів.

- Фрезерні / обробні центри: для 3-, 4-, 5-осьових центрів.
- Шліфувальні комплекси: точна фіксація та контроль.
- Роботизоване фрезерування: коли робот сам виконує обробку (інтегрований шпиндель).
- Комбіновані комплекси: об'єднують кілька типів операцій (токарна + фрезерна).

За ступенем гнучкості

- Жорсткі РВК: для серійного виробництва однотипних деталей.
- Переналагоджувані: допускають зміну типорозміру заготовок.
- Гнучкі виробничі системи (ГВС): автоматично адаптуються до різних деталей.

Будова роботизованого верстатного комплексу. Типовий РВК включає такі компоненти:

CNC-верстат або обробний центр: токарний, фрезерний, багатівісний; оснащений автоматичним магазином інструментів; забезпечує точну обробку заготовки

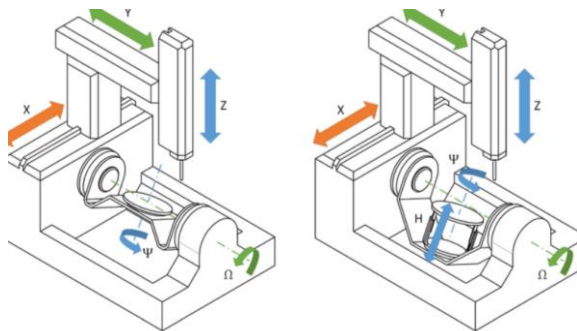


Рис.4.1. Структура 5-осьового обробного центру

Промисловий робот. Робот виконує: захоплення та подачу заготовки; фіксацію у позиціонері або безпосередньо у патроні; зняття готової деталі; переміщення між технологічними зонами.

Роботи можуть бути шестиосьові, на лінійній осі, з подвійним захватом тощо.



Рис.5.1. Будова промислового робота-маніпулятора

- Захватні пристрої (гріпери). Типи: механічні двопальцеві; трипальцеві; пневматичні; вакуумні; комбіновані (з датчиками сили/моменту).

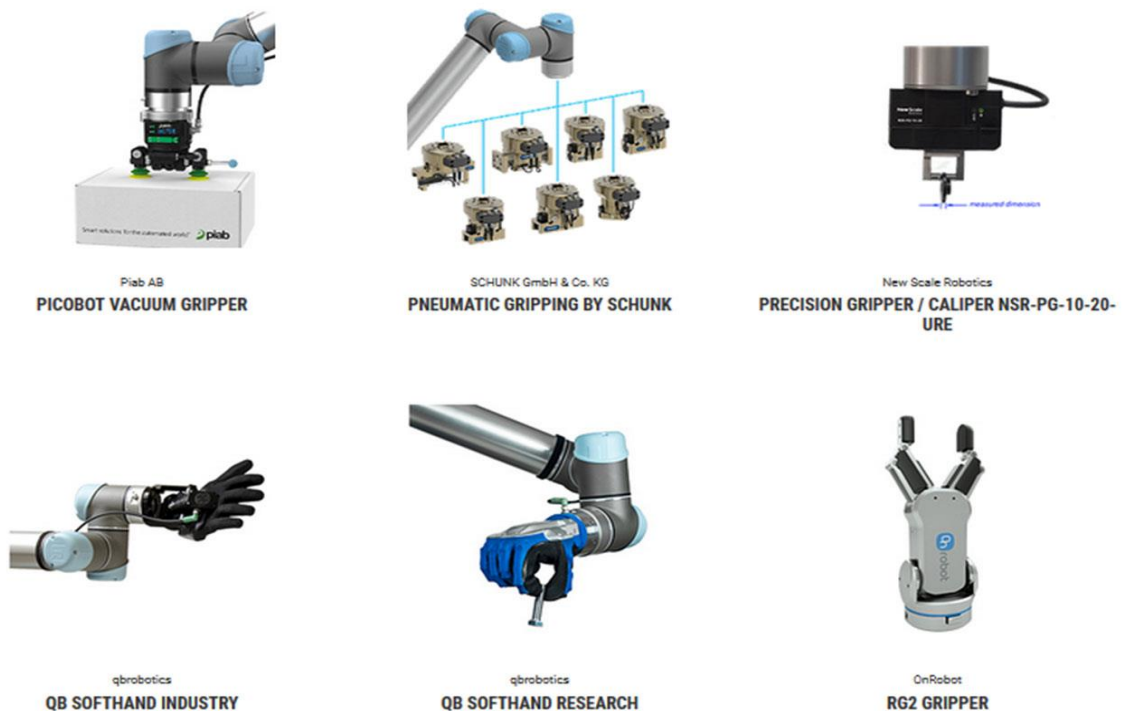


Рис.6.1. Види промислових гріперів (захватних пристроїв)

- Позиціонери та пристрої фіксації. Забезпечують правильне розташування деталі перед подачею у верстат або після обробки.



Рис.7.1. Приклад позиціонера заготовки

- Транспортно-складські системи: палетні стелажі; автоматичні магазини заготовок; конвеєри; маніпулятори подачі палет.

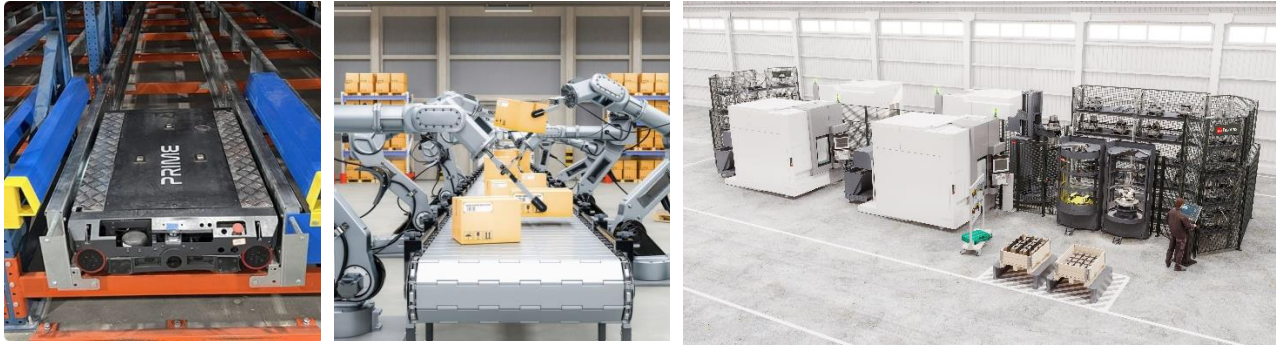


Рис.8.1. Автоматизований палетний склад

Приклади застосування РВК у сучасному машинобудуванні:

1. Автомобілебудування — серійне виробництво валів, корпусів, шестерень.
2. Авіабудування — фрезерування великогабаритних панелей.
3. Енергетичне машинобудування — обробка деталей турбін.
4. Серійне виготовлення корпусних деталей — роботизоване завантаження в токарні центри.
5. Інструментальне виробництво — робото-фрезерування складних форм.



Рис.9.1. РВК у машинобудуванні

Переваги та обмеження роботизованих верстатних комплексів. Переваги:

- збільшення продуктивності на 30–60 %;

- зменшення ручної праці;
- висока повторюваність операцій;
- цілодобова робота;
- можливість роботи з важкими або небезпечними деталями;
- низька собівартість при серійному виробництві.

Недоліки:

- висока початкова вартість;
- складність інтеграції;
- потреба в ретельному плануванні траєкторій;
- точність робота зазвичай нижча, ніж у жорстких верстатів.

Отже, роботизовані верстатні комплекси є ключовим елементом сучасного автоматизованого виробництва. Їх застосування забезпечує підвищення продуктивності, стабільну якість обробки, зменшення трудомісткості та підвищення безпеки. Завдяки гнучкій конфігурації РВК можуть бути адаптовані до умов дрібносерійного, серійного або масового виробництва. Інтеграція робототехніки з верстатами ЧПК формує основу для створення високоефективних гнучких виробничих систем наступного покоління.

1.3. Захватні пристрої: призначення, будова та вимоги

Захватні пристрої (гріпери, роботизовані захвати) є кінцевими виконавчими органами промислових роботів, які забезпечують захоплення, утримання, маніпулювання та транспортування заготовок або виробів у процесі автоматизованого виробництва. Вони виконують функцію «руки» робота, перетворюючи переміщення ланок маніпулятора на контактну взаємодію з об'єктом обробки (рис.10.1).

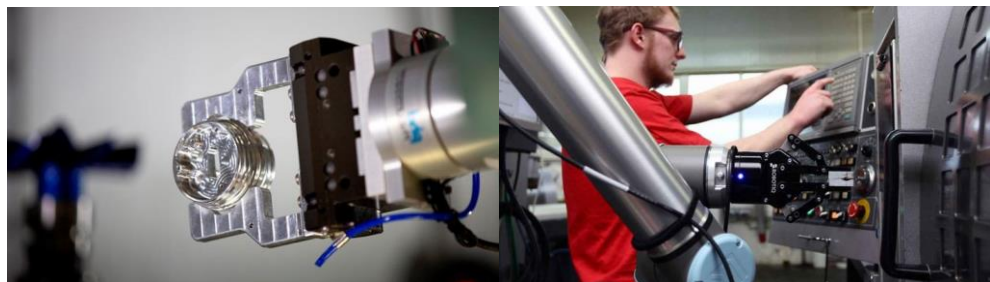


Рис.10.1. Механічні захватні пристрої

У складі роботизованих верстатних комплексів захватні пристрої виконують такі основні задачі:

- завантаження та розвантаження деталей у зону обробки верстатів з ЧПК;
- орієнтація та позиціонування заготовки відносно установчих баз;
- утримання деталі під час допоміжних операцій (очищення, маркування, контролю);
- передавання деталей між окремими постами, конвеєрами, позиціонерами тощо.

Таким чином, ефективність роботи всього роботизованого комплексу значною мірою визначається конструкцією, надійністю та правильним вибором захватних пристроїв.

Загальна будова механічних захватних пристроїв. Незважаючи на різноманіття конструкцій, більшість механічних захватів має схожу структурну побудову. Для типового двопальцевого гріпера можна виділити такі основні елементи (рис.11.1):

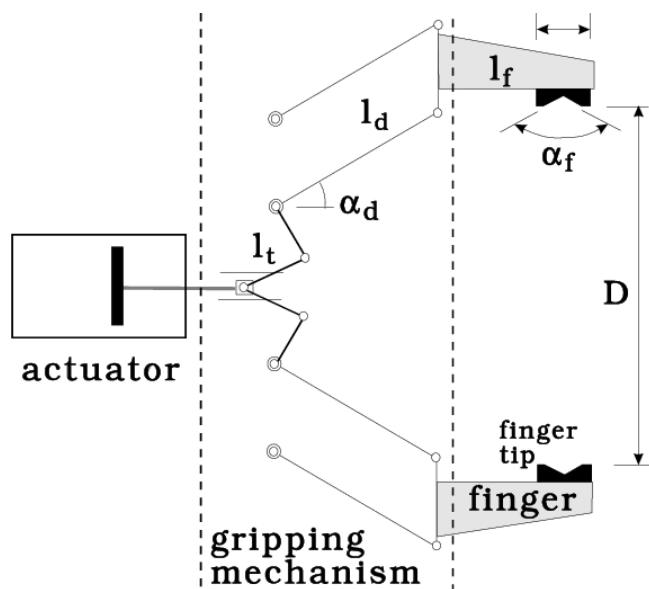


Рис.11.1. двопальцевий механічний захватний пристрій

- пальці (щокі) захвата – елементи, які безпосередньо контактують із деталлю й формують поверхні затиску;
- захватний (кінематичний) механізм – система важелів, повзунів або шарнірів, що перетворює рух приводу на відносне зближення/розходження пальців;

- зв'язуючі трансмісії – шестерні, кривошипно-повзунні або кулісні механізми, що забезпечують синхронність руху пальців;
- привод – пневматичний, гідравлічний або електромеханічний виконавчий орган, який створює зусилля затиску;
- корпус – силова основа гріпера, яка забезпечує кріплення до фланця робота та сприйняття зовнішніх навантажень;
- додаткові елементи – пружини самозатиску, датчики положення та зусилля, змінні накладки пальців тощо.

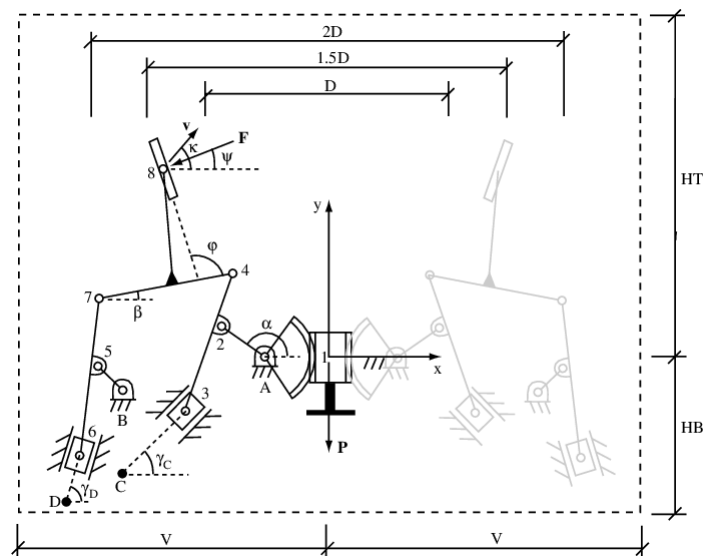


Рис.12.1. Структурна схема двопальцевого захватного пристрою

Як приклад доцільно використати схему двопальцевого механічного гріпера, де виділені пальці, захватний механізм, привід і зона контакту з об'єктом. Типова така схема наведена в роботах Ceccarelli та співавт.

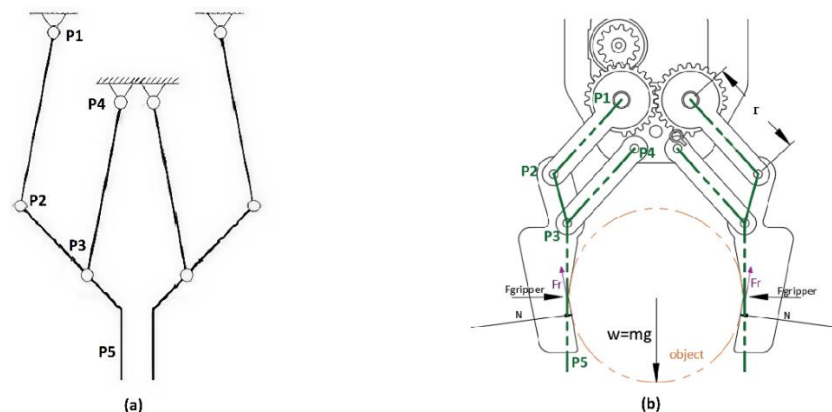


Рис.13.1. Кінематична схема та конструкція двопальцевого захватного пристрою

Для ілюстрації реальної конструкції можна застосувати CAD-модель сучасного двопальцевого захвата (вид зверху та збоку), наприклад, з публікацій MDPI, де детально показані всі елементи механізм.

Види механічних захватних пристроїв. Механічні гріпери класифікують за кількома ознаками: за характером руху пальців, за кількістю пальців, за схемою охоплення деталі та за типом приводу.

За характером руху пальців виділяють такі:

1. Паралельні (прямолінійні) гріпери (рис.14.1). Пальці переміщуються поступально, зберігаючи взаємний паралелізм. Такі гріпери забезпечують високу точність позиціонування і широко застосовуються для захвату деталей правильної форми (циліндричних, призматичних).

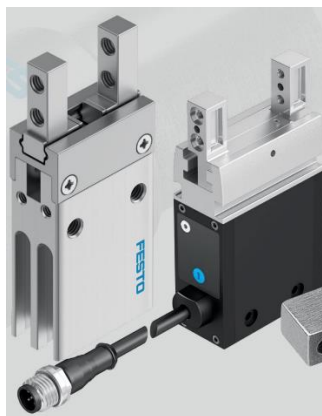


Рис.14.1. Паралельні захватні пристрої

2. Кутові (angular) гріпери (рис.15.1). Пальці обертаються навколо шарнірів, здійснюючи поворотне зближення. Перевага – компактність і великий хід при відносно простій конструкції; недолік – зміна напрямку сил затиску та менша точність, ніж у паралельних гріперів.



Рис.15.1 Кутові захватні пристрої

3. Радіальні (радіально-поворотні) гріпери (рис.16.1). Пальці відкриваються на великий кут (до 180°), що зручно для підведення до деталі із зашкодженими зонами, однак обмежує точність і навантажувальну здатність.

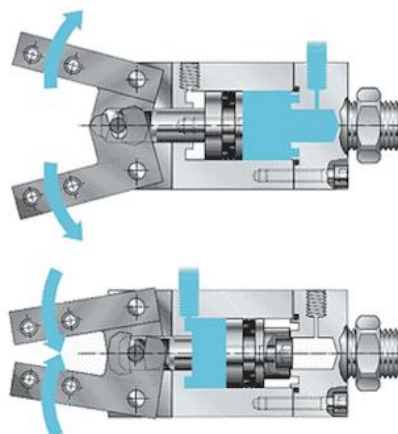


Рис.16.1 Радіальні захватні пристрої

За кількістю пальців можна виділити такі захватні пристрої:

- Двопальцеві гріпери – найпоширеніший тип, прості в конструкції й розрахунку, добре підходять для захвату тіл обертання та призм.
- Трипальцеві й багатопальцеві – забезпечують краще охоплення, підвищену стійкість і можливість роботи з деталями складної форми, але мають складнішу кінематику та вищу вартість.

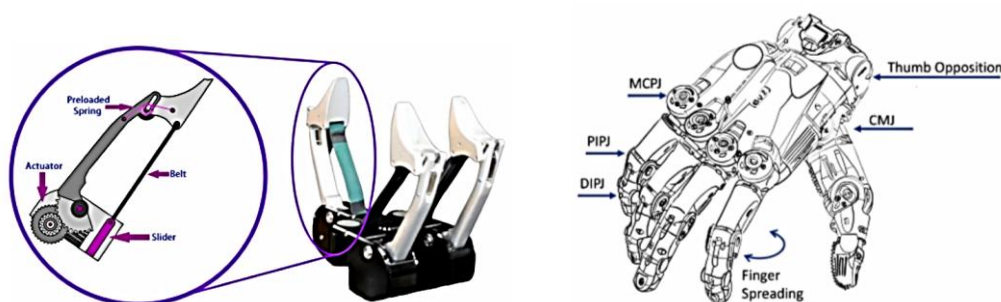


Рис.17.1. Трипальцевий та багатопальцевий захватний пристрій

Як приклад можна використати схему трипальцевого гріпера зі змінною орієнтацією пальців для адаптивного захвату (рисунок структур таких гріперів часто публікуються в статтях з роботизованих збірників та аграрної робототехніки).

За способом утримання деталі у межах механічних захватів виділяють:

- фрикційні гріпери – утримання забезпечується силами тертя між пальцями та деталлю;
- охоплюючі (обхоплюючі) гріпери – пальці охоплюють деталь по контуру або в гнізді, що підвищує стійкість при менших силах затиску;
- комбіновані схеми, де частина навантаження сприймається тертям, а частина – опорою на геометричні елементи деталі.

За типом приводу. Хоча з точки зору механіки захвату конструкція пальців може бути схожою, тип приводу суттєво впливає на масу, габарити та динаміку:

- пневматичні приводи – найпоширеніші завдяки простоті й великому питомому зусиллю;
- гідравлічні – застосовуються для важких деталей, де потрібні високі зусилля;
- електромеханічні – забезпечують хорошу керованість зусилля, компактність і можливість інтеграції датчиків.

Основні вимоги до механічних захватних пристроїв. До конструкції захватів висувають комплекс технічних вимог, від виконання яких залежить працездатність у складі роботизованого верстатного комплексу.

Забезпечення необхідного зусилля затиску без пошкодження деталі. Зусилля захвата повинно бути достатнім для надійного утримання деталі при всіх можливих положеннях маніпулятора, прискореннях переміщення, вібраціях від обробки, але не має викликати пластичні деформації або перевищення допустимого контактного тиску в зоні затиску, особливо для тонкостінних елементів.

У практичних рекомендаціях часто задають запас по зусиллю: розрахункове зусилля затиску повинно у кілька разів (5–10 і більше) перевищувати вагу деталі з урахуванням коефіцієнта тертя і динамічних навантажень.

Жорсткість і точність. Конструкція гріпера має забезпечувати достатню жорсткість пальців і кінематичного механізму, щоб деформації під

навантаженням не призводили до помітних зміщень деталі (особливо в операціях високоточної обробки або вимірювань).

Точність позиціонування залежить від люфтів у шарнірах, точності виготовлення деталей механізму, а також від повторюваності ходу приводу.

Маса, габарити та інерційні властивості. Оскільки захват закріплюється на останній ланці маніпулятора, його маса й моменти інерції безпосередньо впливають на динаміку руху робота та допустимі прискорення. Тому конструкція гріпера має бути максимально компактною й легкою (використання алюмінієвих чи полімерних елементів, оптимізація форми пальців).

Універсальність та переналагоджуваність. Для гнучких виробничих систем важливо забезпечити швидку зміну пальців або можливість захвату різних деталей без заміни всього механізму. Для цього використовують змінні накладки, регульовані упори, модульні пальці, а також адаптивні (піддатливі) конструкції.

Надійність, безпека та технологічність. Захватні пристрої повинні бути здатними до тривалої роботи без відмов, мати захист від випадкового розтискання (пружини самозатиску, фіксатори) при падінні тиску або відключенні живлення, а також бути зручними у виготовленні й обслуговуванні.

Короткі висновки. Захватні пристрої є ключовим елементом роботизованих верстатних комплексів, оскільки саме вони забезпечують контакт робота з об'єктом маніпулювання. Від правильного вибору типу гріпера, його кінематичної схеми та параметрів зусилля затиску залежить не лише надійність утримання деталі, а й можливість уникнути пошкоджень поверхні, забезпечити потрібну точність обробки й високу продуктивність комплексу.

2. Дослідна частина

2.1. Оцінка точності положення утримуваної деталі

Промислові роботи є складними мехатронними системами, основним завданням яких є забезпечення керованих та відтворюваних рухів виконавчих механізмів для виконання технологічних операцій та допоміжних переходів. Ефективність роботи роботизованого комплексу значною мірою визначається конструкцією його захватного пристрою та точністю утримання деталей.

Захоплювальні механізми з обертовими затискними важелями та призматичними опорними елементами мають низку переваг: вони прості за будовою, надійні в експлуатації та здатні утримувати деталі різних діаметрів без переналагодження. Однак така універсальність супроводжується суттєвим конструктивним недоліком — зміщенням центра встановлюваної деталі залежно від її діаметра.

У виробничих умовах це може викликати проблеми, наприклад, при роботизованому завантаженні та розвантаженні металорізальних верстатів. Робот встановлює в патрон заготовку певного діаметра, а після обробки повинен знімати вже деталь іншого розміру. Зміна діаметра призводить до того, що деталь у захваті розташовується з іншим зміщенням відносно робочої траєкторії.

Аналогічна ситуація виникає під час виконання роботами складальних операцій. Наприклад, коли на одну і ту саму позицію необхідно по черзі подавати втулку одного діаметра, а потім — вал іншого. Утримання цих деталей у захваті відбувається у різних положеннях, оскільки кожен діаметр контактує з призматичними поверхнями затиску у своїх характерних точках. Це зумовлено обертальним переміщенням затискних важелів, що змінює положення призм у просторі при роботі із деталями різних габаритів.

Проблема точності позиціонування деталей у захватних пристроях розглядається у численних роботах вітчизняних та зарубіжних дослідників. У класичних працях Mason, Schilling, Paul висвітлено загальні принципи механіки маніпуляції та залежність точності утримання від конструкції контактних елементів. Дослідження адаптивних захватів показують, що найбільші похибки

виникають саме у важільно-призматичних конструкціях через нелінійний характер зміщення центрів деталей.

У роботах Павленка І.І. та Годунка М.О. було вперше запропоновано враховувати геометрію призматичних елементів для оцінки точності положення деталі. Проте подальші автори відзначають необхідність розширення моделей шляхом урахування силових факторів, жорсткості важелів, а також впливу інерційних навантажень у динамічних режимах роботи.

Класичні геометричні та контактні моделі механічних захватів. Класичні роботи Mason, Paul, Schilling, Bicchi та інших формують основу для аналізу точності утримання та стійкості grasp'у. У цих роботах деталь розглядається як жорстке тіло, а щелепи - як контактні елементи з певною геометрією та коефіцієнтом тертя.

В основі таких моделей лежать (рис.2.1):

- геометрія контактних поверхонь,
- кінематичні положення важелів або щелеп,
- вектори сил і конуси тертя,
- положення центра деталі як функція кута повороту щелеп.

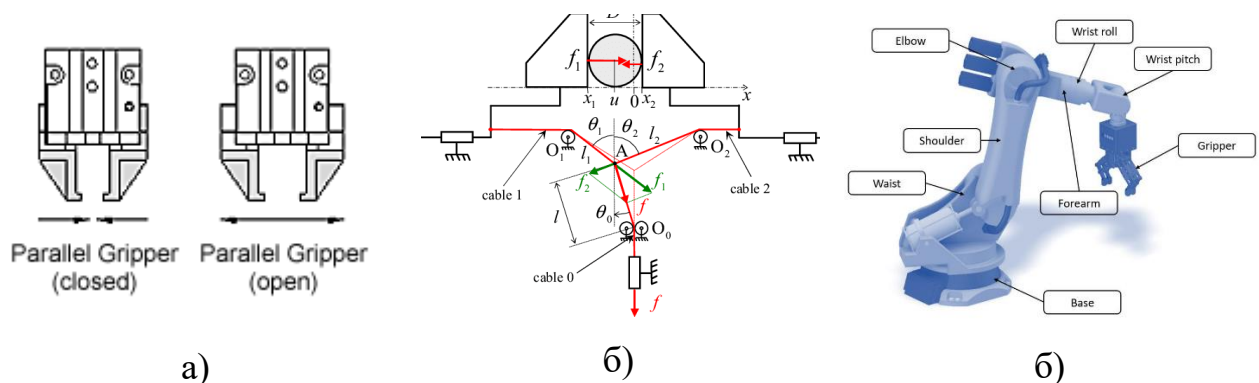


Рис.2.1. Механічні захватні пристрої

У таких пристроях геометрія пальців - один із ключових факторів, які визначають зміщення центра деталі. Призматичні важільні захвати особливо чутливі до зміни діаметра, оскільки точки контакту постійно “ковзають” по гранях призми.

ВІМІРЮВАННЯ ЗМІЩЕННЯ ЦЕНТРА ДЕТАЛІ ПРИ РІЗНЬОМУ ДІАМЕТРІ:

- ПРИНЦИПОВЕ СТРУКТУРНО-СИСТЕМНОГО ПОДХОДА (рис. 2.2):**

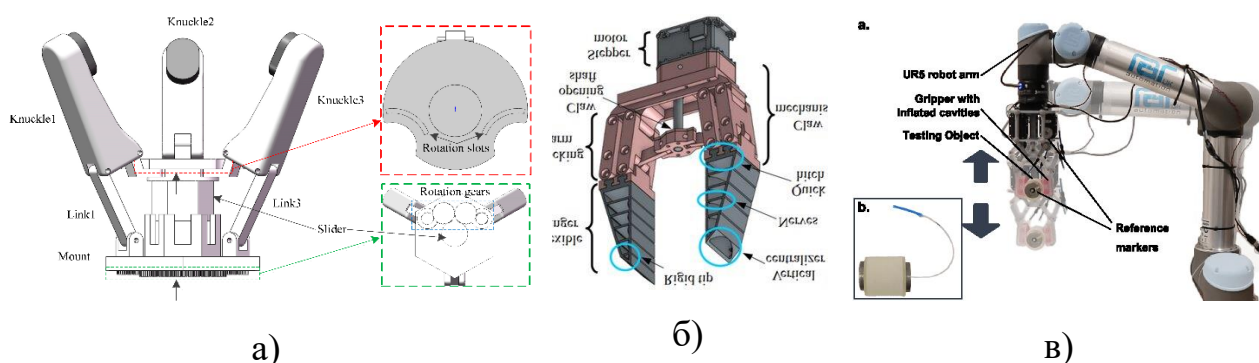


Рис.2.2 Експериментальні стенди

Основні результати експериментальних робіт:

- зміна діаметра захоплюваної деталі на $\pm 1-3$ мм викликає зміщення центра на $0,3-1,5$ мм, навіть у паралельних щелепних захватах;
- призматичні щелепи дають найбільшу похибку через відхилення важелів;
- при прискореннях маніпулятора похибка збільшується в $1,5-3$ рази через інерційні сили.

Числове моделювання та метод скінченних елементів (МСЕ). Дослідження Dmytriv (2024), Katyal (2022), Li (2023) використовують МСЕ для оцінки:

- пружних деформацій важелів,
- прогину пальців,
- напружень у точках контакту,
- зміщення центра деталі внаслідок деформацій.

Типові моделі МСЕ (рис.2.3):

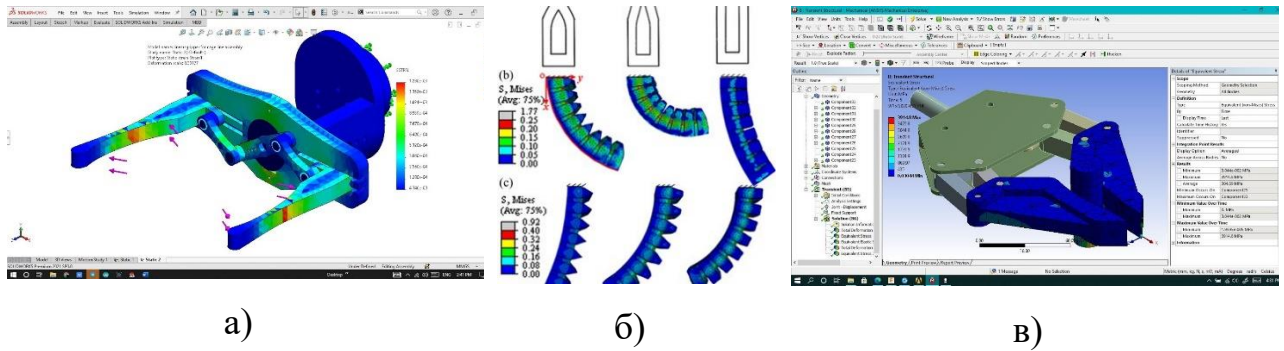


Рис.2.3. Моделювання захватних пристроїв

Такі моделі дозволяють виявити:

- навіть при сталених пальцях прогин 0,05–0,2 мм може змістити центр деталі на 0,1–0,4 мм;
- чим менше площа контакту призми — тим більша локальна деформація;
- при великих кутах відкриття важелів геометричні зміщення переважають над силовими.

Дослідження невизначеності grasp'у (grasp uncertainty). Сучасні роботи (Fan, 2018; Garg, 2019) розглядають проблему не як “жорстку геометричну похибку”, а як ймовірнісну модель невизначеності (рис.2.4):

- похибка сенсорів,
- неточність пози об'єкта,
- неточність положення щелеп,
- деформації та люфти.

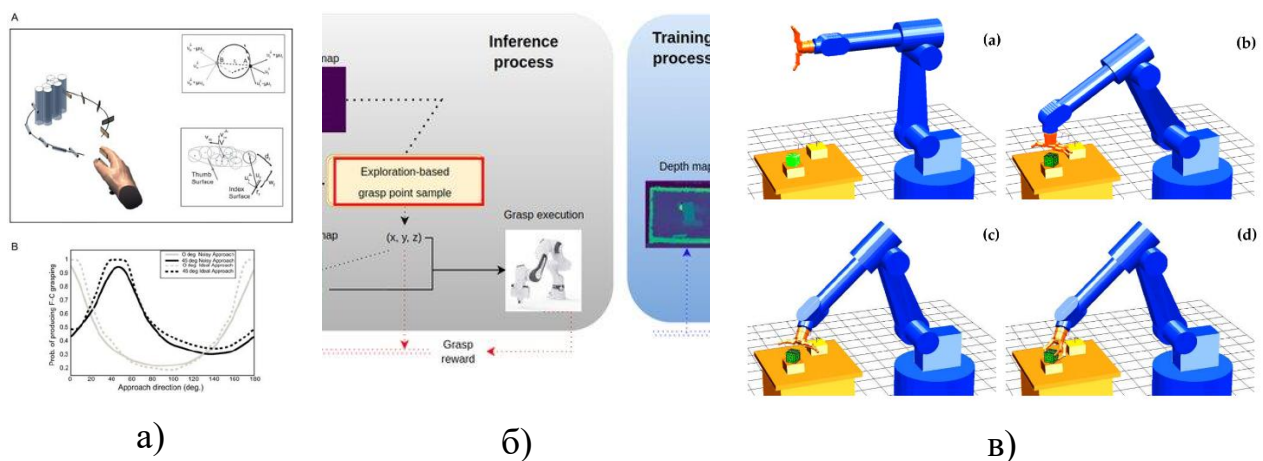


Рис.2.4. Дослідження ймовірнісних моделей

У цих моделях зміщення центра деталі - одна з базових випадкових змінних.

Вплив форми пальців і матеріалів (soft-rigid, hybrid grippers). Дослідження Białek (2023–2024), Li (2025), Tarhan (2025) демонструють (рис.2.5):

- м'які або комбіновані (soft-rigid) пальці зменшують пікові контактні напруження;
- при цьому похибка центрування може зменшитись у 1,5–2 рази завдяки самоустановленню;
- однак soft-пальці мають повзучість і довший перехідний процес.

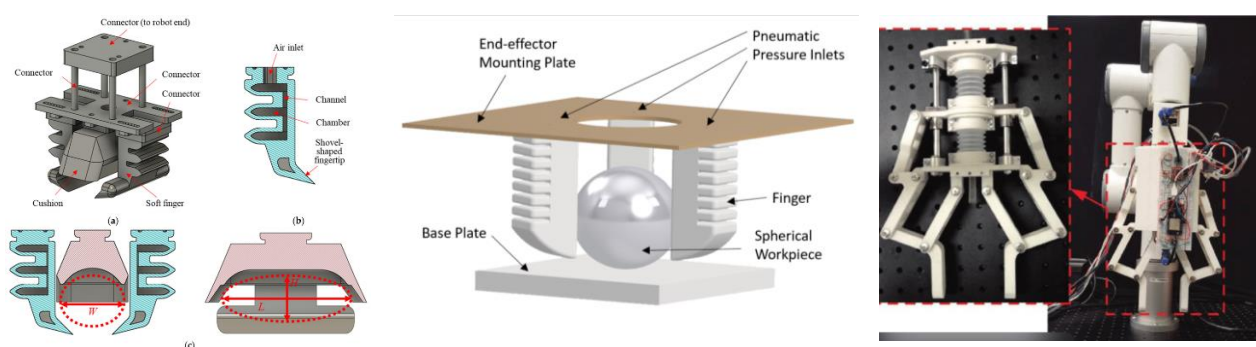


Рис.2.5. Вплив матеріалу і форм пальців

Крім призматичних важельних захватів існує багато інших конструкцій, які також певним чином вирішують проблему зміщення деталей при затиску (рис.2.6):

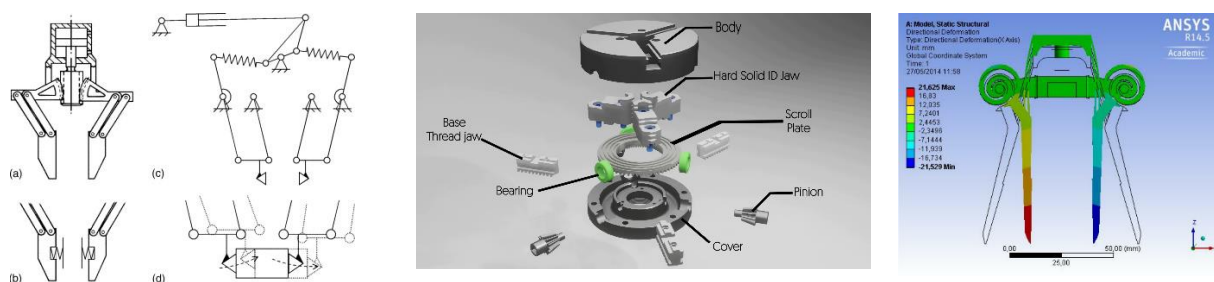


Рис.2.6. Альтернативні конструкції захватних пристроїв

Серед таких конструкцій варто виділити:

- Паралельні двоштокові - мінімальне зміщення центра, але обмежене самоустановлення.

- Трикулачкові патрони - дуже точні, але громіздкі та дорогі.
- Кутові (angular) захвати - швидкі, але центр зміщується значно.
- Призматичні важільні (твій випадок) - прості, дешеві, але найбільша зміна координат центра при зміні діаметра.

Отже, на основі аналізу літератури можна зробити 3 ключові висновки:

1. Похибка позиціонування деталі в захваті формується трьома групами факторів: геометричні (форма щелеп, кути, діаметри); силові (тертя, інерція, прогини); системні (калібрування робота, невизначеність пози).

2. Призматичні важільні захвати — конструкція, у якій геометричне зміщення центра домінує, і існуючі роботи не дають простих формул для оцінки Δ центра.

3. Розроблена нами модель заповнює цю прогалину: вона дає аналітичний спосіб точно розрахувати зміщення центра у функції L , a , α , γ , φ та діаметра деталі.

2.2. Геометрична модель оцінки зміщення центрів деталей

Для визначення зміщення центра утримуваних деталей за вихідне положення приймається ситуація, коли захват утримує деталь номінального діаметра (рис.2.7). На даній схемі вказані такі основні конструктивні параметри затискного важеля:

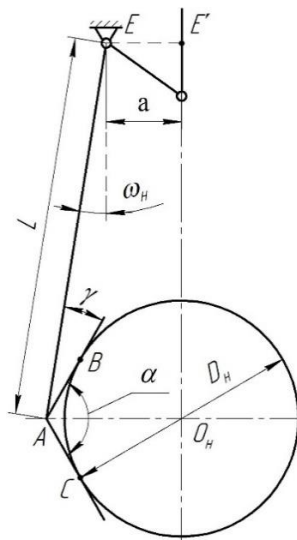


Рис.2.7. Розрахункова схема оцінки точності положення деталі в захватному пристрої

- L – довжина важеля;
- α – кут затискної призми;
- γ – кут приєднання затискної призми до важеля;
- a – відстань опори затискного важеля відносно вісі симетрії захвату.

Номинальне положення центра визначається виразом:

$$E'O_i = L \cdot \cos \omega_i$$

де ω_n – номінальний кут нахилу затискного важеля:

$$\omega_i = 90 - \alpha / 2 - \gamma$$

Цьому значенню відповідає номінальний діаметр утримуваної деталі.

$$D_i = 2(a + L \sin \omega_i) \sin \alpha / 2$$

Якщо діаметр більший за номінальний, затискний важіль повинен відхилитись на кут ϕ_δ , що викликає радіальне зміщення центра деталі (рис.2.8).

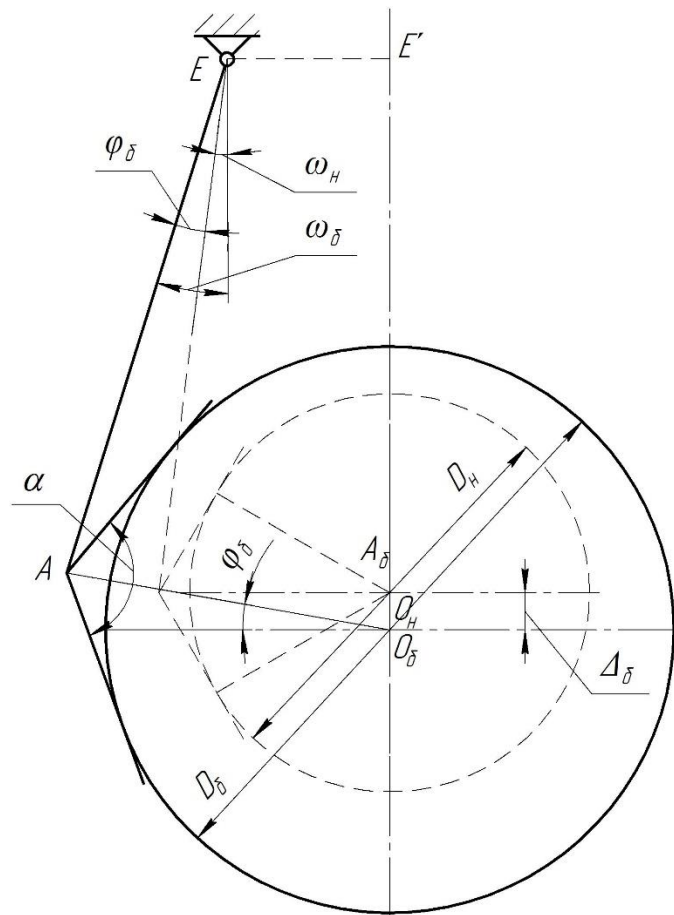


Рис.2.8. Розрахункова схема точності утримування деталей діаметром більшим номінального

Діаметр деталі при цих умовах визначається:

$$D_{\acute{a}} = 2[a + L \sin(\omega_H + \varphi_{\acute{a}})] \cdot \frac{\sin \alpha / 2}{\cos \varphi_{\acute{a}}} = 2[a + L \sin(\omega_{\acute{a}})] \cdot \frac{\sin \alpha / 2}{\cos \varphi_{\acute{a}}}$$

Величина зміщення визначається рівнянням:

$$\Delta_{\dot{a}} = L(\cos \omega_{\dot{a}} - \cos \omega_{\dot{f}}) + (\dot{a} + L \sin \omega_{\dot{a}}) \operatorname{tg} \varphi_{\dot{a}}$$

За умови, коли діаметр утримуваних деталей менше номінального, відбувається зміщення їх центру в сторону до вісі обертання захватних важелів. Визначення величини цього зміщення здійснюється по розрахунковій схемі наведений на рис.2.9.

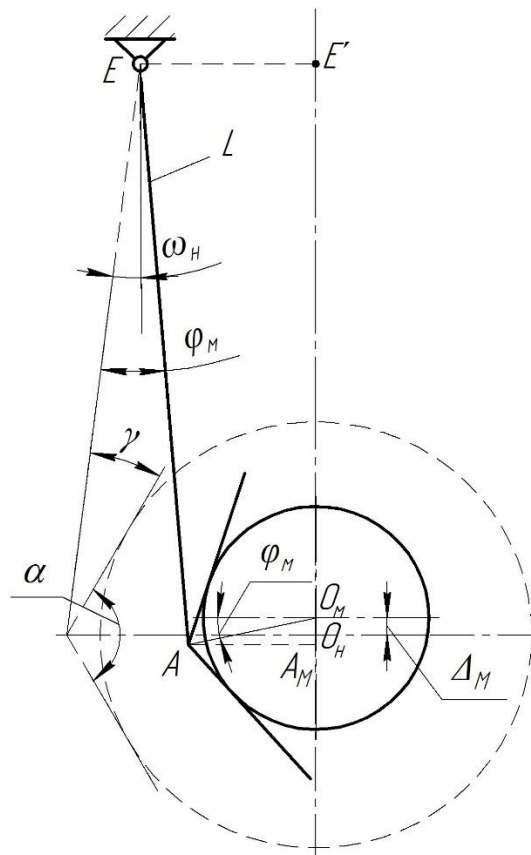


Рис.2.9. Розрахункова схема точності утримування деталей діаметром менше номінального

Діаметр такої деталі визначається:

$$D_i = 2(a + L \sin \omega_i) \cdot \frac{1}{\cos \phi_i} \cdot \sin \alpha / 2$$

Покроковий вивід основних формул (частина 1)

1. Виведення номінальної базової відстані:

$$B_n = a + L \cdot \cos(\omega_n)$$

2. Номінальний кут:

$$\omega_n = 90^\circ - \alpha/2 - \gamma$$

3. Номінальний діаметр:

$$D_n = 2L \cdot \sin(\alpha/2 + \gamma)$$

Покроковий вивід основних формул (частина 2)

4. Діаметр більшої деталі:

$$D_b = 2L \cdot \sin(\alpha/2 + \gamma + \phi_b)$$

5. Зміщення центра при $D > D_n$:

$$\Delta b = L \cos(\omega_n - \phi_b) - L \cos(\omega_n)$$

6. Діаметр меншої деталі:

$$D_m = 2L \cdot \sin(\alpha/2 + \gamma - \phi_m)$$

7. Зміщення центра при $D < D_n$:

$$\Delta m = L \cos(\omega_n + \phi_m) - L \cos(\omega_n)$$

Покроковий вивід основних формул (частина 3)

8. Лінійні наближення при малих кутах:

$$\Delta b \approx L \phi_b \sin(\omega_n)$$

$$\Delta m \approx -L \phi_m \sin(\omega_n)$$

9. Похідні:

$$d\Delta b/d\varphi_b = L \sin(\omega_n - \varphi_b)$$

$$d\Delta m/d\varphi_m = -L \sin(\omega_n + \varphi_m)$$

10. Умова мінімальної чутливості:

$$\sin(\omega_n) \rightarrow \text{мінімум}$$

2.3. Силевий аналіз утримання деталі

У реальних умовах точність положення деталі визначається не лише геометричними зміщеннями, а й силовими факторами та пружними деформаціями елементів захвата. Надійність утримання і величина фактичного зміщення центра деталі залежать від:

- нормальних сил реакції призм;
- сил тертя в контакті призма–деталь;
- жорсткості важелів і призматичних вставок;
- маси деталі та прискорень руху робота.

1. Розрахункова схема сил

Нехай деталь масою m утримується двома симетричними призмами. На кожну з них діють:

F_n – нормальна сила;

F_τ – сила тертя;

$G = m g$ – вага;

$F_{in} = m a$ – інерційна сила при русі робота.

2. Умова незсуву деталі

Сумарна гранична сила тертя:

$$F_{\tau_sum} = 2 \mu F_n$$

Умова утримання:

$$F_{\tau_sum} \geq F_{in} + G_t$$

Звідси мінімальна сила затиску:

$$F_{n_min} = (F_{in} + G_t) / (2 \mu)$$

Фактична сила затиску має бути:

$$F_{n_fact} \geq k_{zap} \cdot F_{n_min}$$

де $k_{zap} = 1.3 \dots 1.5$ – коефіцієнт запасу.

3. Контактний тиск

$$p_{sr} = F_{n_fact} / A_k$$

Умова міцності:

$$p_{sr} \leq p_{dop}$$

4. Деформаційні зміщення

Прогин важеля:

$$\delta = F_{n_end} L_{eff}^3 / (3 E I)$$

Цей прогин дає додаткове зміщення центра деталі, що додається до Δ_{geom} .

Комплексне аналітичне узагальнення результатів

$$\Delta_{total} = \Delta_{geom} + \Delta_{def} + \Delta_{robot}$$

де $\Delta_{robot} \approx 0.05 \dots 0.2$ мм – похибка позиціонування робота.

Основні висновки:

1. Найбільша частина похибки – Δ_{geom} .
2. Зменшення α знижує зміщення центра деталі.
3. Жорсткість важелів критично впливає на Δ_{def} .
4. Програмна компенсація дозволяє усунути Δ_{geom} .

2.4. Вплив конструктивних параметрів на точність

На основі поданих формул визначено величину зміщення центру деталей, що утримуються захватним пристроєм. При цьому враховано, що під час

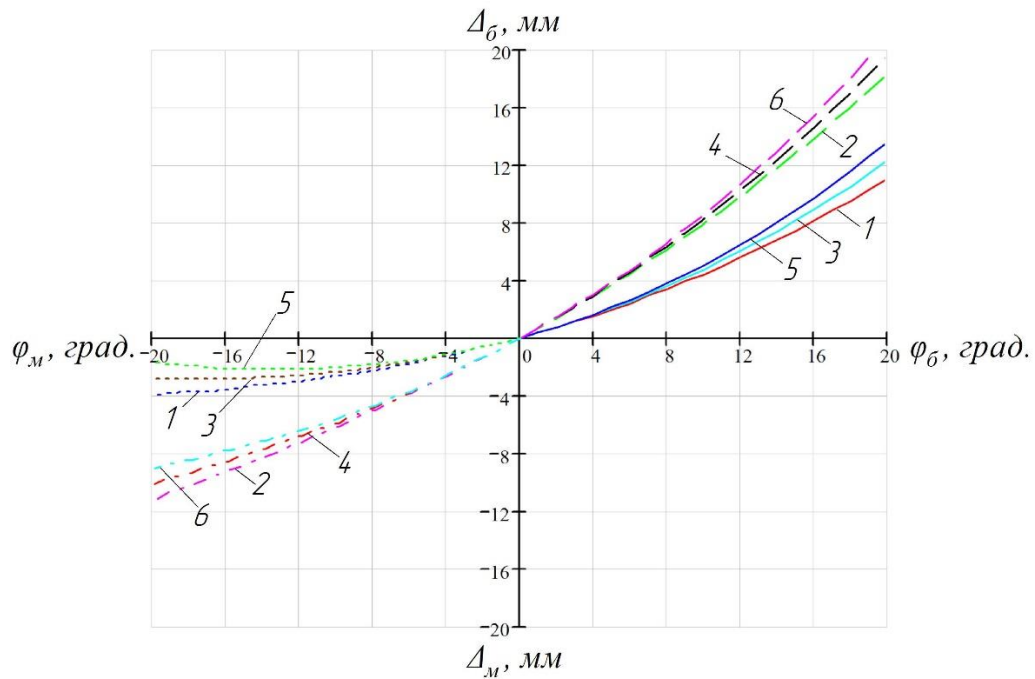
зближення затискних важелів для фіксації деталей менших діаметрів траєкторія руху затискних призм не обмежується.

На рис. 2.10 подано залежності зміщення центрів утримуваних деталей від кута повороту затискних важелів. Ці графіки побудовані з урахуванням того, що існує вихідне (номінальне) положення важелів, яке відповідає утриманню деталі номінального діаметра. Від цього положення важелі можуть повертатися у напрямку від осі симетрії затискного механізму, що дозволяє утримувати деталі більших діаметрів (D_6) порівняно з номінальним (D_n). Таке відхилення позначено кутом ϕ_6 . Аналогічно, зміщення важелів у протилежний бік позначене кутом ϕ_m .

Під час повороту важелів у напрямку ϕ_6 центри утримуваних деталей зміщуються «назовні» — тобто збільшується відстань від центру деталі до осі обертання важелів. Це зміщення на рис.2.10 позначено як Δ_6 . Якщо ж важелі рухаються у напрямку до осі симетрії захватного пристрою (кут ϕ_m), відстань між центром утримуваної деталі та віссю обертання важелів зменшується; це зміщення позначене як Δ_m . Графіки на рис.2.10 показують ці залежності для різних конструктивних параметрів захватних механізмів.

З аналізу наведених залежностей видно, що зміна кутового положення затискних важелів неминуче приводить до зміни положення деталі, яка утримується. Для всіх розглянутих конструктивних варіантів рух важелів у бік збільшення діаметра деталі супроводжується збільшенням відстані від центру деталі до осі обертання важелів. Відповідно, рух у протилежному напрямку дає зворотний ефект.

На рис.2.10. показано комплексний графік залежності зміщення центру утримуваної деталі (лей) від величини кута відхилення затискних важелів:



1. $L = 60$; $a = 20$; $\alpha = 120$; 2. $L = 60$; $a = 40$; $\alpha = 120$; 3. $L = 80$; $a = 20$; $\alpha = 120$; 4. $L = 80$; $a = 40$; $\alpha = 120$; 5. $L = 100$; $a = 20$; $\alpha = 120$; 6. $L = 100$; $a = 40$; $\alpha = 120$

Рис.2.10. Графіки залежності зміщення центру утримуваних деталей від величини кута відхилення затискних важелів

Для зручності також побудуємо окремо залежності впливу основних конструктивних та функціональних складових на похибку зміщення центру утримуваної деталі захватним пристроєм промислового робота при різних умовах функціонування.

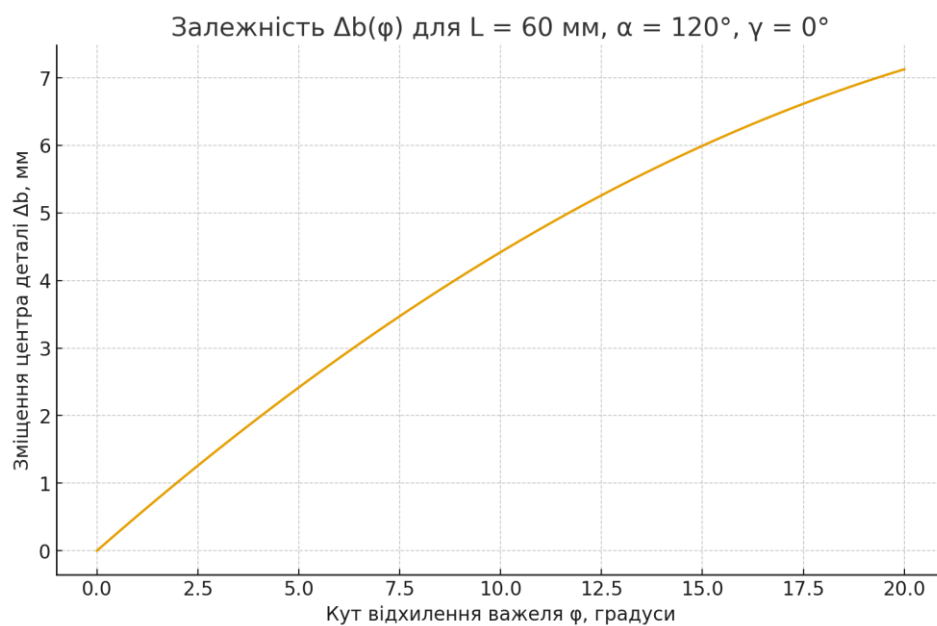


Рис.2.11. Залежність $\Delta b(\varphi)$ для $L = 60$ мм

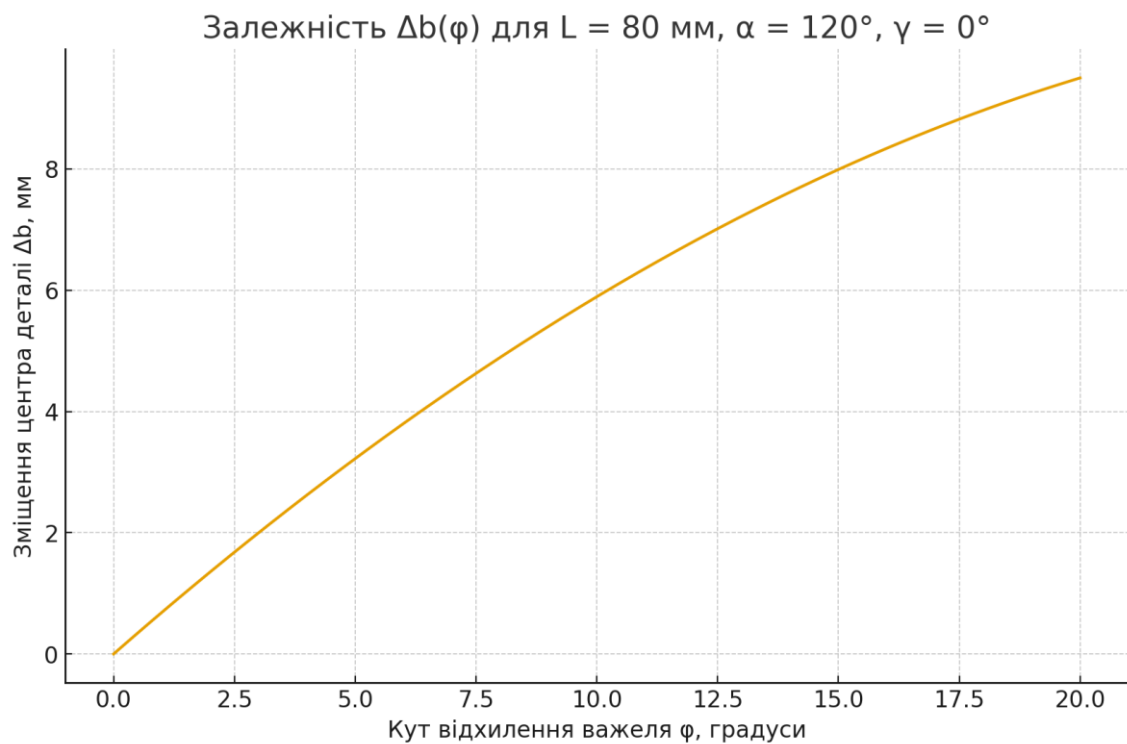


Рис.2.12. Залежність $\Delta b(\varphi)$ для $L = 80$ мм

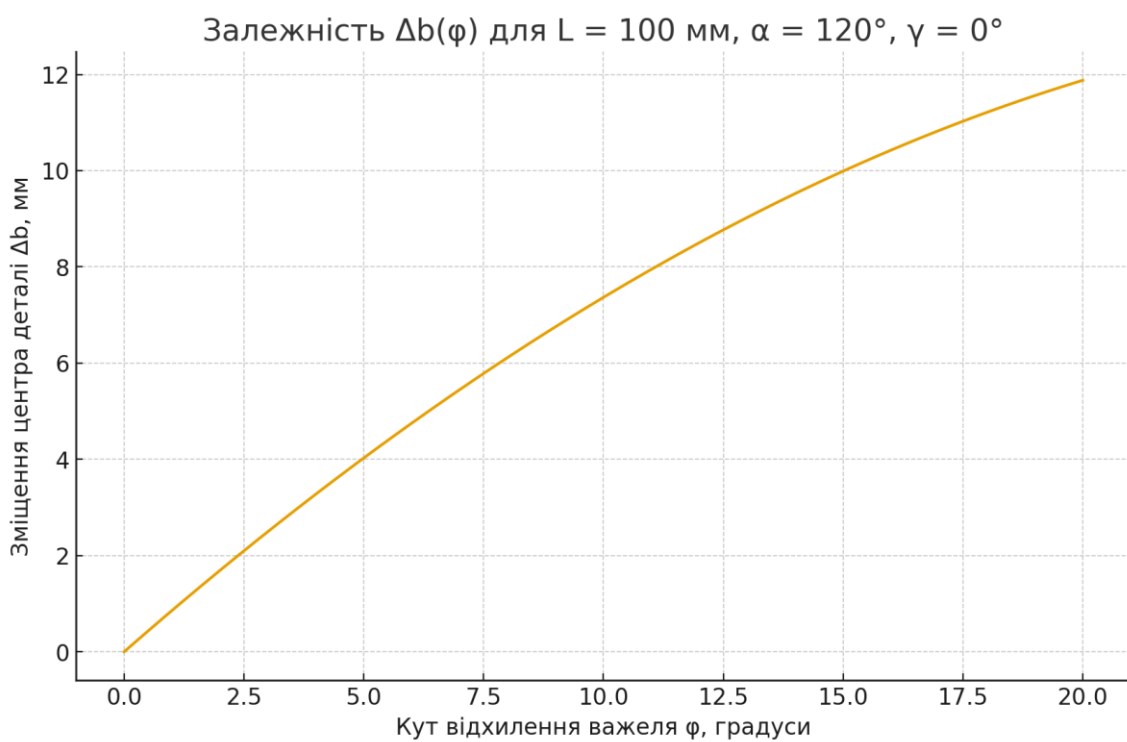


Рис.2.13. Залежність $\Delta b(\varphi)$ для $L = 100$ мм

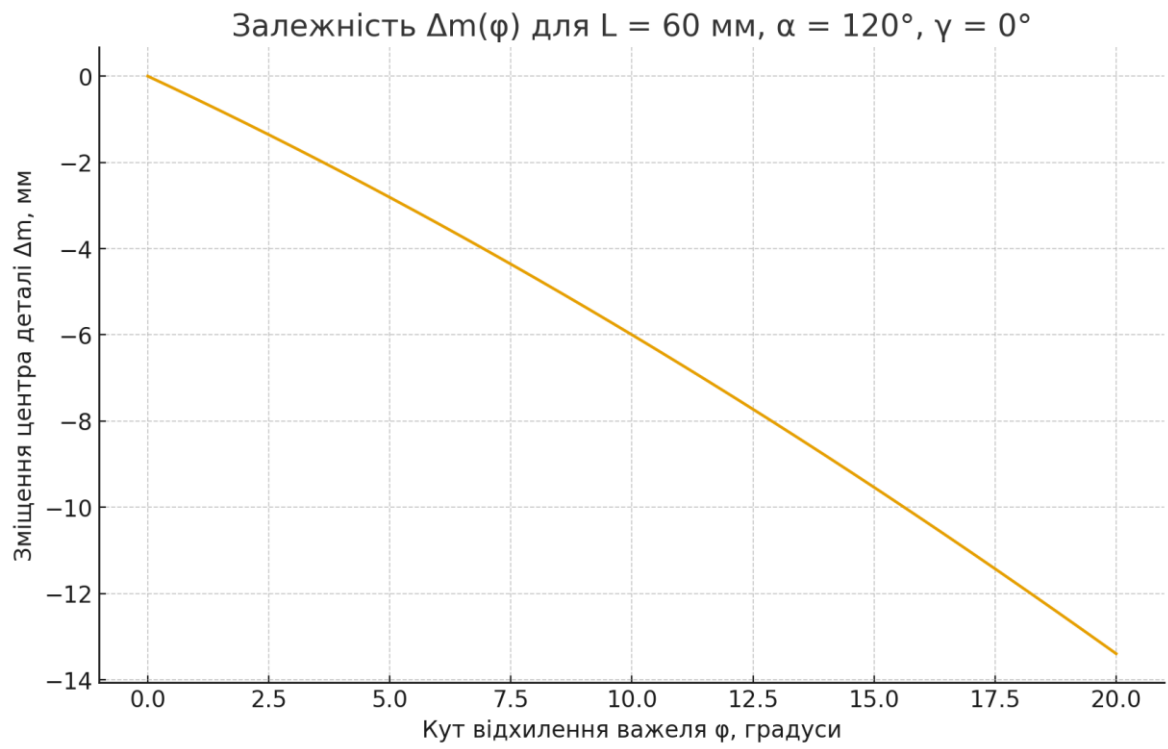


Рис.2.14. Залежність $\Delta m(\varphi)$ для $L = 60$ мм

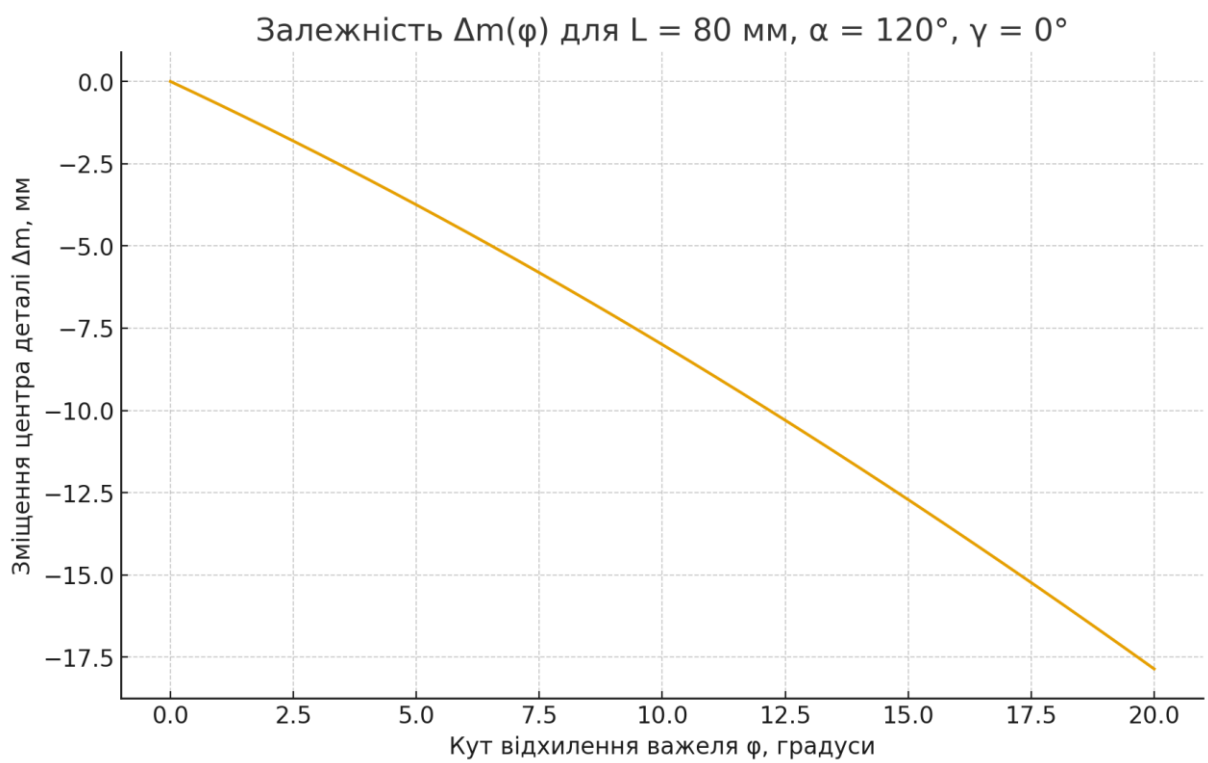


Рис.2.15 Залежність $\Delta m(\varphi)$ для $L = 80$ мм

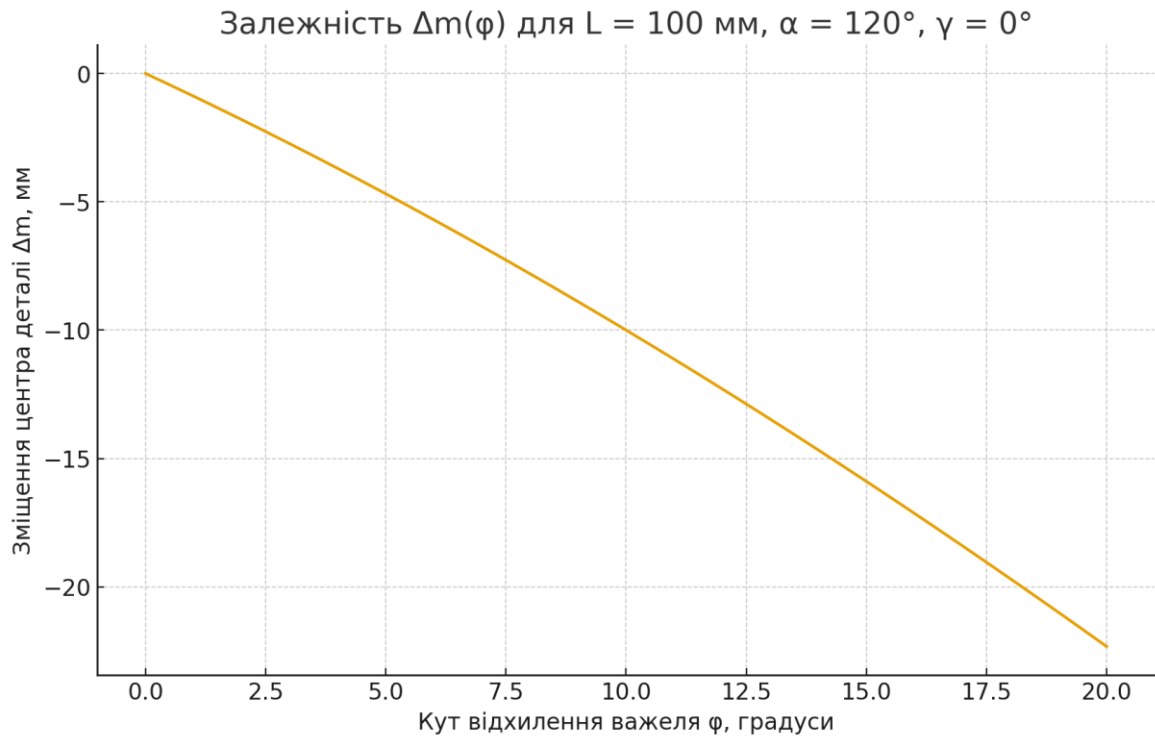


Рис.2.16. Залежність $\Delta m(\varphi)$ для $L = 100$ мм

Графіки $\Delta b(\varphi)$ та $\Delta m(\varphi)$, побудовані для $L = 60, 80, 100$ мм, показують:

- зі збільшенням довжини важеля L зростає абсолютне зміщення центра деталі;
- залежності є майже лінійними у межах $\varphi \leq 5^\circ$;
- при $\varphi > 10^\circ$ приріст зміщення стає різко нелінійним;
- Δb і Δm мають дзеркальну симетрію.

Це узгоджується з аналітичними висновками щодо ролі кута ω_n та довжини важеля.

Приклади застосування.

Приклад 1. Завантаження токарного верстата

Заготовка $\varnothing 40$ мм $\rightarrow$ деталь $\varnothing 38$ мм.

Різниця діаметрів дає зміщення центра до 6 мм, що потребує компенсації в програмі робота.

Приклад 2. Складання “вал–втулка”

При різниці діаметрів на ± 1 мм центр зміщується на 2–3 мм, що порушує точність вставляння.

Рекомендації для конструкторів:

1. Зменшити кут α до $90\text{--}100^\circ$ для підвищення точності.
2. Використовувати більший розмір a для зменшення радіального зміщення.
3. Застосовувати жорсткі матеріали важелів.
4. Вводити програмну компенсацію зміщення в керуючу систему робота.
5. Для високоточних операцій розглядати альтернативні схеми захватів.

Напрями подальших досліджень

- моделювання деформацій у ANSYS/Abaqus;
- аналіз впливу динамічних навантажень;
- розробка адаптивних призм зі змінним α ;
- експериментальна перевірка теоретичних моделей.

Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що отримані зміщення центрів утримуваних деталей є досить значними, а тому відіграють важливу роль у забезпеченні стабільних умов виконання роботом технологічних операцій. Уже відхилення затискних важелів на 4° від їхнього номінального положення спричиняє зміщення центрів деталей у межах $1\text{--}4,5$ мм залежно від конструктивних параметрів захватних пристроїв. Подальше збільшення кута φ до 20° призводить до росту пояснюваної відстані до $5\text{--}20$ мм, причому найбільші значення характерні для поворотів у напрямку φ_b , де зміщення сягають $10\text{--}20$ мм. Найінтенсивніший приріст спостерігається при кутах φ понад $10\text{--}12^\circ$.

На основі отриманих аналітичних залежностей також побудовано додаткові графіки, що показують вплив окремих конструктивних параметрів захватних механізмів на величину зміщення утримуваних деталей. Це дозволяє обґрунтовано вибирати оптимальні параметри пристроїв відповідно до конкретних умов роботи роботів та їхніх захватних систем.

3. Технологічна частина

3.1. Аналіз точності та технологічності заданої деталі

Аналіз параметрів точності заданої деталі виконується з метою оцінки її відповідності вимогам механічної обробки, чинним стандартам та функціональному призначенню. Точність механічної обробки визначається сукупністю параметрів: точністю розмірів, точністю геометричної форми, точністю взаємного розташування поверхонь, а також шорсткістю. Всі ці параметри встановлюються на основі відхилення фактичних розмірів від номінальних, вказаних на робочому кресленні.

Для проведення аналізу необхідно виконати ескіз (рис.3.1) деталі із нумерацією оброблюваних поверхонь та занести результати оцінки у відповідну таблицю 3.1.

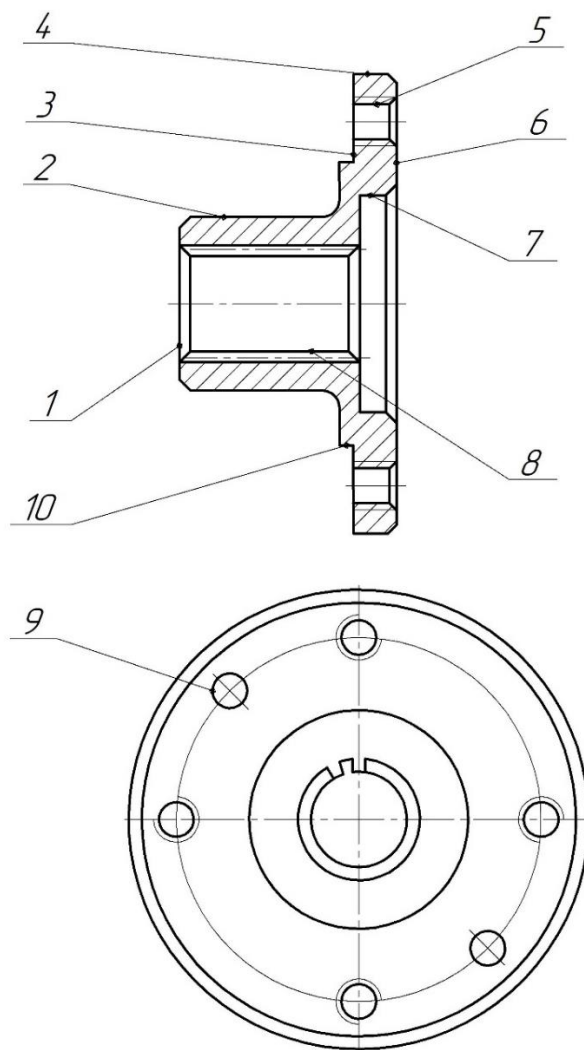


Рис.3.1. Ескіз деталі з номерами поверхонь

Таблиця 3.1

Характеристика параметрів точності поверхонь деталі втулка шліцева

Номер поверх	Найменування поверхні	Розмір з відхиленням, мм	Квалітет точності	Точність		Шорсткість, Ra
				відносних поворотів	форми	
1	2	3	4	5	6	7
1,6	Торець	$50_{\pm 0,31}$	$\pm \frac{IT14}{2}$		-	12,5
2	Циліндрична поверхня	$\varnothing 54_{-0,62}$	h14	-	-	3,2
3	Торець фланця	$12_{-0,43}$	h14	-	-	6,3
4	Циліндрична поверхня	$\varnothing 120_{-0,87}$	h14	-	-	12,5
5	Різьбовий отвір				-	
7	Виточка	M10 $\varnothing 62^{+0,19}_{10^{+0,5}}$	7H H11	-	-	3,2 6,3
8	Шліцевий отвір	$\varnothing 42_{-0,06}$ $\varnothing 6,212 \pm 0,002$	H10 Js6	-	-	1,6
9	Отвір	$\varnothing 8^{+0,022}$	H8	-	-	1,6
10	Виточка	$\varnothing 80_{-0,74}$ $4^{+0,5}$	h14	-	-	12,5

Аналіз точності поверхонь деталі «Втулка шліцева». З таблиці 3.1 видно, що підвищені вимоги щодо точності та шорсткості висуваються лише до двох поверхонь, які виконують базові функції:

- шліцевий отвір, за яким деталь з'єднується зі шліцевим стержнем (квалітет Js6, Ra 1,6).
- отвори під напрямні штифти, що мають точні посадки та малий допуск.

Торцеве биття поверхні 6 відносно шліцевого отвору не повинно перевищувати 0,4 мм, оскільки воно впливає на точність сполучення втулки з фланцем рульового механізму.

Інші поверхні задані за 14-м квалітетом, що повністю відповідає їх призначенню. Всі вимоги щодо точності та шорсткості відповідають стандартам та умовам експлуатації. Для забезпечення обробки на верстатах з ЧПК необхідно узгодити всі розміри із системою координат конкретного верстата.

Оцінка технологічності конструкції деталі. Втулка також є технологічною деталлю:

- має зручні базові поверхні;
- забезпечує повний доступ до всіх зон обробки;
- допускає використання токарного та свердлувального верстатів з ЧПК;
- більшість поверхонь обробляється «на прохід».

Заготовка виготовляється методом штампування, що забезпечує мінімальний припуск і економію матеріалу. Одна поверхня не підлягає механічній обробці, оскільки її точність задається точністю штамповки.

Менш технологічною є внутрішня циліндрична поверхня Ø62, яка розточується не «на прохід», що дещо ускладнює обробку.

3.2. Аналіз діючого технологічного процесу

Аналіз технологічного процесу механічної обробки деталі «втулка шліцьова» проводиться з метою встановлення відповідності вимогам сучасного машинобудівного виробництва, визначення наявних недоліків, а також розробки рекомендацій щодо удосконалення. За результатами аналізу базового технологічного процесу можна зробити висновок, що він забезпечує виготовлення деталей відповідно до вимог точності, продуктивності та собівартості.

Разом з тим виявлено суттєвий недолік: переважно використовуються застарілі верстати з ЧПК та універсальні металообробні верстати. Це не відповідає сучасним тенденціям автоматизації та не дозволяє досягти високої продуктивності, стабільності точності та гнучкості обробки.

Базовий процес механічної обробки втулки складається з 5 операцій і виконується на двох токарних верстатах з ЧПК 16K20Ф3 та свердлильних

верстатах 2Н135. Незважаючи на прийнятну якість, технологічний процес має резерви для покращення точності та стабільності.

Пропоновані зміни:

- виконувати токарну обробку поверхонь на двох операціях, але з використанням більш сучасних ЧПК-верстатів;
- замінити два свердлильні верстати 2Н135 на ЧПК-верстат 2Р135Ф2, що забезпечить більшу точність та дозволить зменшити маршрут до 4 операцій.

Отже, діючи на підприємстві технологічні процеси механічної обробки розглянутих деталей, в умовах серійного виробництва, не забезпечують належного рівня продуктивності та гнучкості. Для підвищення ефективності виробництва доцільним є перехід на сучасні програмно-керовані високопродуктивні верстати з ЧПК, що дозволить оптимізувати структуру технологічних процесів, скоротити кількість операцій та забезпечити стабільно високу точність виготовлення деталей.

3.3. Вибір заготовок та способу їх виготовлення

Аналіз службового призначення заданих деталей, умов їх експлуатації та особливостей конструктивного виконання є основою для обґрунтованого вибору матеріалів, з яких вони виготовляються. Відповідно до вихідних даних базових технологічних процесів та з урахуванням практичного досвіду проектування і експлуатації сільськогосподарської техніки, для виготовлення втулки доцільно застосовувати леговану сталь **45Х** за ГОСТ 1050-74. Хімічний склад та механічні властивості зазначених матеріалів наведені у таблицях 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.2

Хімічний склад матеріалу, %

Марка матеріалу	Вміст елементу в %							
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo
Сталь 45Х	0,4-0,5	0,3	0,5-0,8	0,045	0,045	0,3	0,7	-

Механічні властивості матеріалу заготовок

Марка Матеріалу	σ_T , кг/мм ²	σ_B , кг/мм ²	δ_t , %	a_H , кг/см ²	HB
Сталь 45X	36	61	16	5	250

Сталь **45X** використовується для деталей, що працюють при середніх швидкостях, питомих тисках і ударних навантаженнях (вали, маточини, фланці, зубчасті колеса). Вибір цих сталей зумовлений їх механічними властивостями, технологічністю та надійністю в умовах експлуатації.

Після визначення матеріалів необхідно обрати раціональний метод отримання заготовок. Це здійснюється з урахуванням конструктивної форми деталі, її службового призначення, фізико-хімічних властивостей матеріалу, а також типу виробництва.

На основі аналізу технологічних процесів базового підприємства та рекомендацій літературних джерел щодо виготовлення заготовок для деталей аналогічних форм та призначення, оптимальним методом отримання заготовок для втулки шліцьової є штамповка на горизонтально-кувальному машині (ГКМ).

3.4. Вибір методів та маршрутів обробки поверхонь деталі

Методи та маршрути механічної обробки поверхонь визначаються з урахуванням вимог до точності та якості готової деталі, а також необхідності забезпечення цих параметрів найкоротшим і найекономічнішим шляхом. Виходячи з розрахунків уточнень, обирається оптимальний варіант маршруту обробки для кожної поверхні заданої деталі.

Загальне уточнення визначається за формулою:

$$\varepsilon_{ЗАГ} = \frac{\delta_{ЗАГ}}{\delta_{ДЕТ}};$$

де: $\delta_{ЗАГ}$ – допуск заготовки; $\delta_{ДЕТ}$ – допуск деталі.

Фактичне уточнення розраховується як:

$$\varepsilon_{\phi} = \varepsilon_{\phi_1} \cdot \varepsilon_{\phi_2} \cdot \dots \cdot \varepsilon_{\phi_n},$$

де кожне i - уточнення окремого переходу:

$$\varepsilon_{\phi_i} = \frac{\delta_{i-1}}{\delta_i}$$

Умова правильності маршруту обробки:

$$\varepsilon_{\phi} \geq \varepsilon_{3AG}.$$

Розрахунки за представленими формулами виконуються для всіх поверхонь, а результати зведено до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Вірогідні маршрути обробки поверхонь заданої деталі

Позначення поверхні	Допуск на поверхню по кресленню δ , мм	Шорсткість R_a	Допуск на заготовку поверхні, мм	Загальне уточнення	Можливі технологічні маршрути обробки		Технологічні допуски	Розрахункові уточнення	Фактичне уточнення
					Номер маршруту	Зміст маршруту			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Втулка шліцьова

1	0,62	12,5	1,5	2,4	1	Точіння чорнове	0,62	2,4	2,4
2	0,62	6,3	2,0	3,2	1	Точіння чорнове	0,46	3,2	3,2
3	0,43	6,3	1,2	2,8	1	Точіння чорнове	0,43	2,8	2,8
4	0,87	12,5	2,2	2,5	1	Точіння чорнове	0,87	2,5	2,5
6	0,62	3,2	1,5	2,4	1	Точіння чорнове Точіння чистове	0,62 0,62	2,4 1,0	2,4
7	0,19	6,3	1,2	6,3	1	Розточування чорнове	0,19	6,3	6,3
8	0,1	1,6	1,2	12	1	Розточування чорнове Розточування чистове Протягування	0,25 0,1 0,1	4,8 2,5 1	12
9	0,022	1,6	0,1	4,1	1	Свердління Розвірчування попереднє Розвірчування точне	0,1 0,058 0,022	1 1,72 2,6	4,1
10	0,74	12,5	1,5	2,0	1	Точіння чорнове	0,74	2,0	2,0

На основі розрахунків уточнень і порівняння можливих технологічних переходів сформовано раціональний маршрут обробки поверхонь деталі «втулка шліцьова». Запропоновані маршрути забезпечують:

- досягнення необхідних параметрів точності,
- узгодженість між припусками та технологічними допусками,
- економічність і скорочення кількості операцій,
- підвищення стабільності якості оброблених поверхонь.

3.5 Розробка маршрутів виготовлення деталі

Вибір оптимального маршрутного технологічного процесу механічної обробки заданої деталі здійснюється з урахуванням раніше сформованих маршрутів обробки поверхонь, типу виробництва та технологічних можливостей металорізального обладнання. При проектуванні маршрутів слід забезпечувати максимальне суміщення обробки різних поверхонь, мінімізувати кількість застосовуваних інструментів і переустановлень деталі, а також скорочувати тривалість повного циклу механічної обробки.

Втулка шліцьова – оптимальний маршрут механічної обробки

Операція 005 – Токарна обробка на верстаті з ЧПК

Верстат: токарний з ЧПК HAAS ST-10

Зміст операції:

- чорнова обробка торця;
- точіння зовнішньої поверхні фланця та фаски;
- розточування виточки з підрізанням торця і формуванням фаски;
- чистове точіння торця.

Операція 010 – Токарна обробка на верстаті з ЧПК

Верстат: токарний з ЧПК HAAS ST-10

Зміст операції:

- обробка торця з формуванням буртика;
- точіння меншого торця;
- точіння зовнішньої циліндричної поверхні та фаски;

- чорнове розточування центрального отвору;
- чистове розточування отвору;
- розточування фаски.

Операція 015 – Свердлильна обробка на верстаті з ЧПК

Верстат: свердлильний з ЧПК 2P135Ф2

Зміст операції:

- засвердлювання шести отворів;
- свердління чотирьох отворів;
- нарізання різьби у чотирьох отворах;
- свердління двох додаткових отворів;
- попереднє розгортання двох отворів;
- чистове розгортання двох отворів.

Операція 020 – Протяжна обробка

Верстат: вертикально-протяжний 7Б65

Зміст операції:

- протягування шліцьового профілю у внутрішньому отворі.

Операція 025 – Слюсарна обробка

- видалення задирок та гострих кромek.

Операція 030 – Контрольна

- перевірка розмірів, форми та параметрів точності готової деталі.

3.6. Вибір технологічних баз

Призначення технологічних баз є одним із найвідповідальніших і найскладніших етапів проектування технологічного процесу. Правильний вибір баз визначає якість усього технологічного маршруту, оскільки впливає на:

- точність взаємного розташування поверхонь деталі;
- складність і конструкцію затискних та установчих пристроїв;
- стабільність і повторюваність обробки;
- загальну продуктивність та економічність виробництва.

Процес вибору технологічних баз слід розпочинати з першої операції, основним завданням якої є формування або уточнення опорних поверхонь, що забезпечать точне закріплення деталі в подальших операціях. Під час розроблення маршрутів обробки вибір баз виконується паралельно, оскільки він впливає на послідовність операцій, їхній зміст і можливість суміщення переходів.

Ключовою вимогою є дотримання **принципу єдності технологічних баз**, який передбачає максимально можливе використання одних і тих самих опорних поверхонь на різних операціях. Це дозволяє мінімізувати переорієнтацію деталі та зменшити похибки базування.

Втулка шліцьова – вибір технологічних баз

Перша операція (токарна обробка)

Технологічні бази:

- менший торець заготовки;
- зовнішня початкова циліндрична поверхня.

Ці поверхні забезпечують правильне положення деталі у патроні та дозволяють сформувати опорні бази для наступних операцій.

Друга операція (токарна з ЧПК, уточнення геометрії)

Технологічні бази:

- оброблений на першій операції торець;
- чистова зовнішня циліндрична поверхня фланця.

Таким чином реалізується принцип єдності баз, що підвищує точність виконання операції.

Третя операція (свердлильна з ЧПК)

Технологічні бази:

- оброблена зовнішня циліндрична поверхня;
- торець фланця.

Таке базування забезпечує стійкість деталі під час свердління та дозволяє точно розташувати групи отворів відносно осі втулки.

Четверта операція 020 (протягування шліців)

Технологічні бази:

- внутрішня циліндрична поверхня (попередньо розточена);
- торець деталі.

Це оптимальний варіант для забезпечення точності профілю та співвісності шліцьового отвору зі зовнішніми поверхнями деталі.

Вибір внутрішньої поверхні як бази на протяжній операції забезпечує мінімальне відхилення шліцьового профілю від осі втулки. Використання торця фланця як технологічної бази дає змогу контролювати осьову довжину деталі та точність посадочних поверхонь. Узгодження технологічних баз з конструкторськими базами деталі дозволяє уникнути накопичення похибок у процесі виготовлення. Забезпечення симетрії базування мінімізує вплив радіального биття та нерівномірності припусків на якість кінцевої обробки.

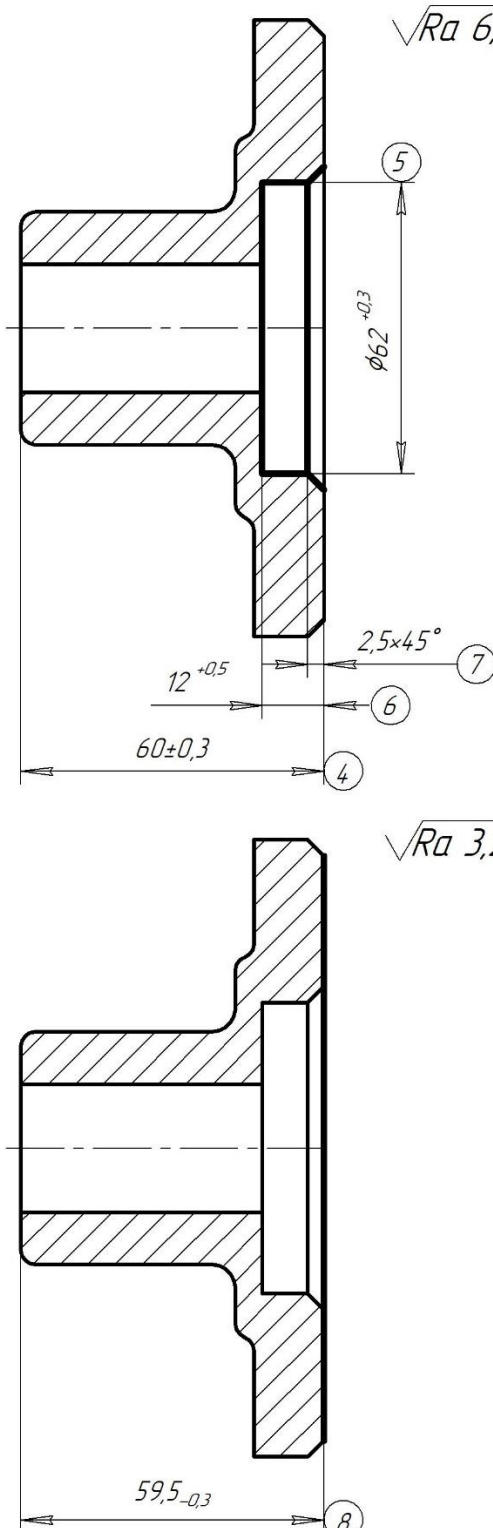
3.7. Розробка структури та змісту технологічних операцій

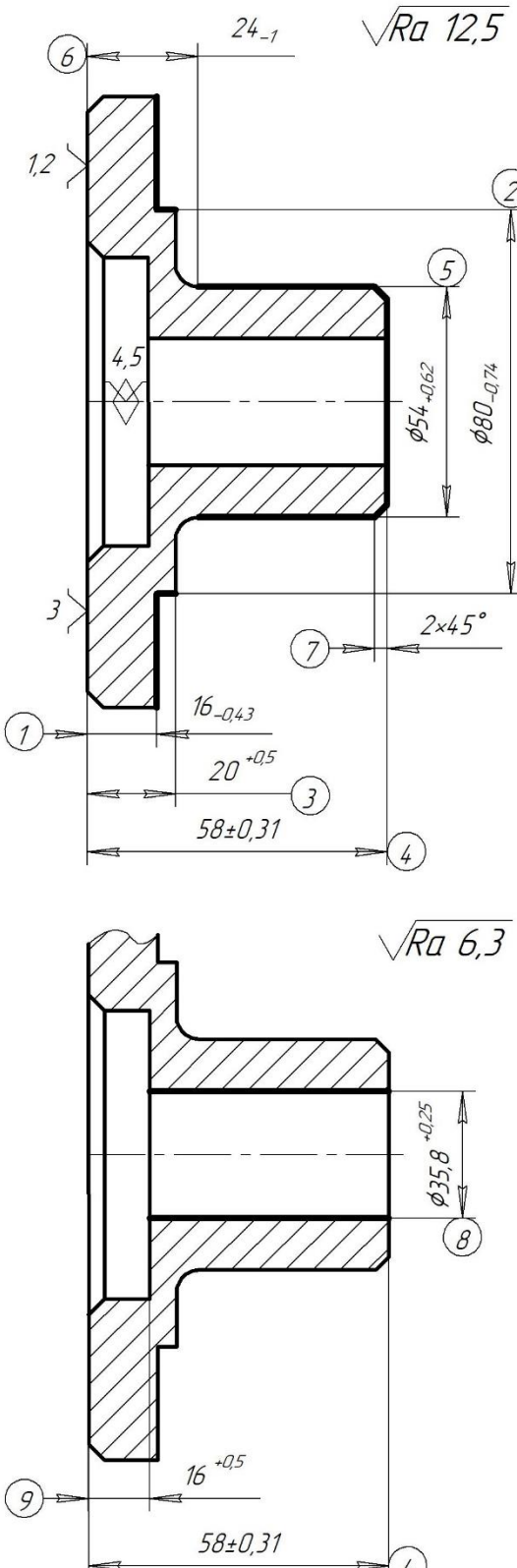
Розроблення структури та змісту операцій технологічних процесів механічної обробки заданих деталей здійснюється на основі прийнятих методів і маршрутів обробки, а також запропонованих технологічних рішень щодо виготовлення деталей. При цьому враховуються загальні принципи проектування технологічних процесів та вимоги типу виробництва. Для реалізації розробленого маршруту обробки втулки шліцьової необхідно визначити відповідне металообробне обладнання. Вибір металорізальних верстатів виконується з урахуванням структури та змісту кожної операції, технологічних можливостей верстатів і методів обробки, обумовлених специфікою деталей. Стисла технічна характеристика вибраного обладнання наведена в таблиці 3.5.

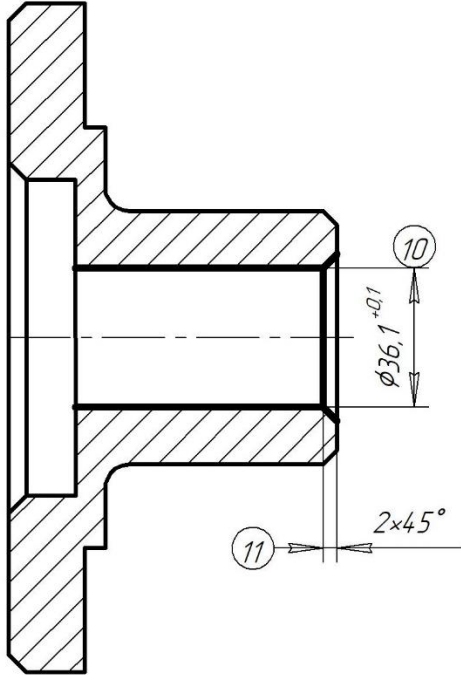
Структуру технологічного процесу з ескізами, розмірами, оброблюваними поверхнями та вимогами до них покажемо у таблиці 3.4.

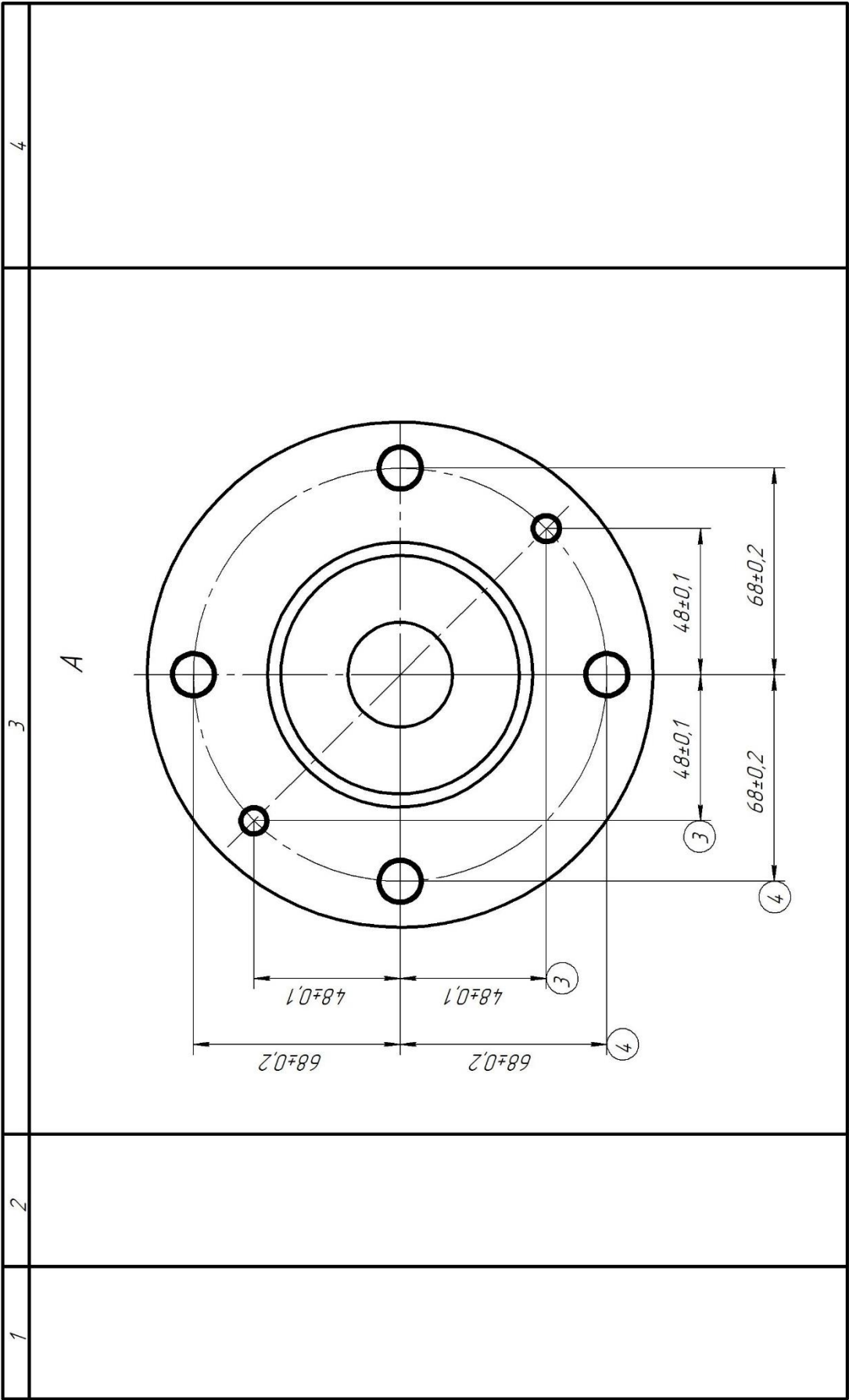
Структура технологічного процесу

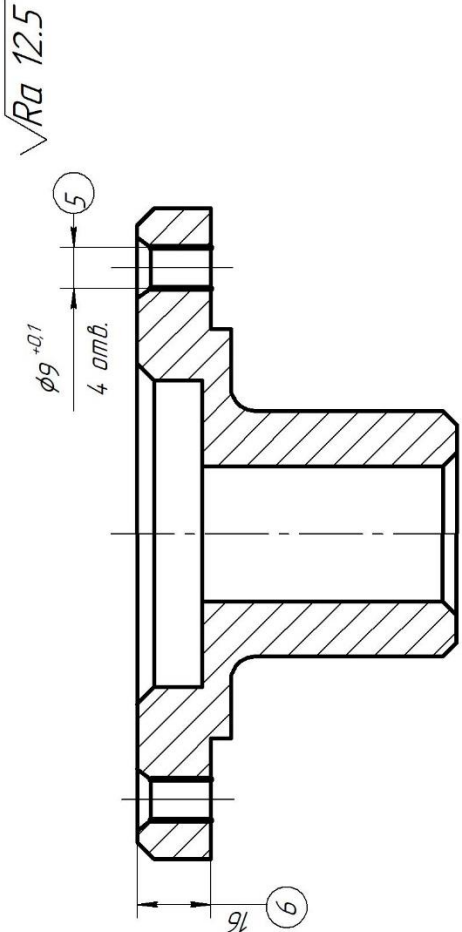
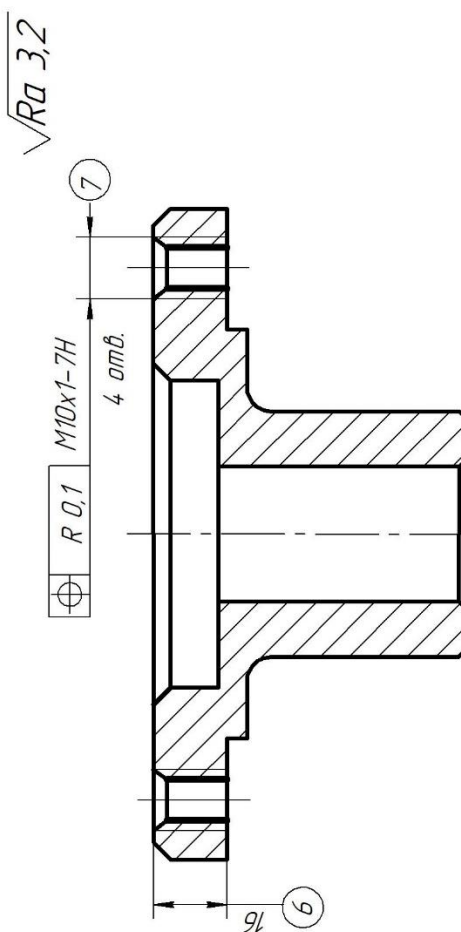
Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Операційний ескіз та схема базування	Зміст операції
1	2	3	4
005 Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК HAAS ST-10	Technical drawing of a stepped shaft. The drawing shows a shaft with a total length of $60 \pm 0,3$. The main diameter is $\phi 160_{-0,87}$. There are several steps and features marked with circled numbers 1 through 5. Feature 1 is at the top right end. Feature 2 is a fillet with a radius of $2,5 \times 45^\circ$. Feature 3 is a fillet with a radius of $\sqrt{Ra} 12,5$. Feature 4 is a step with a diameter of 18. Feature 5 is a step with a diameter of $1,3$. There are also dimensions for $2,4$ and 5.	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Точити послідовно торець, зовнішню поверхню фланцю та фаску, витримав розміри 1,2,3,4.

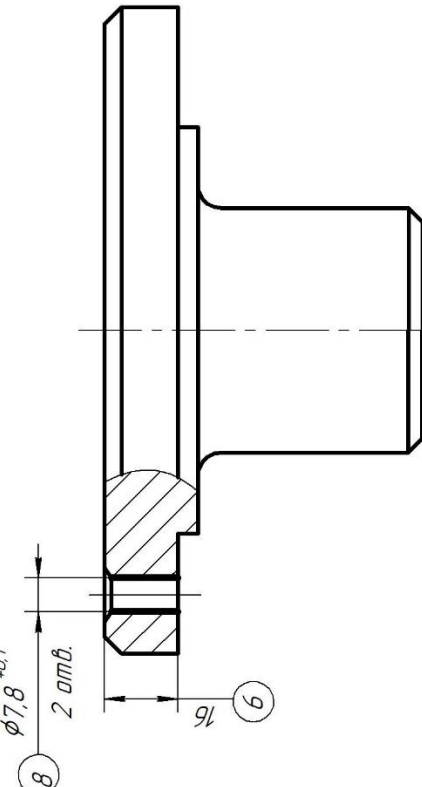
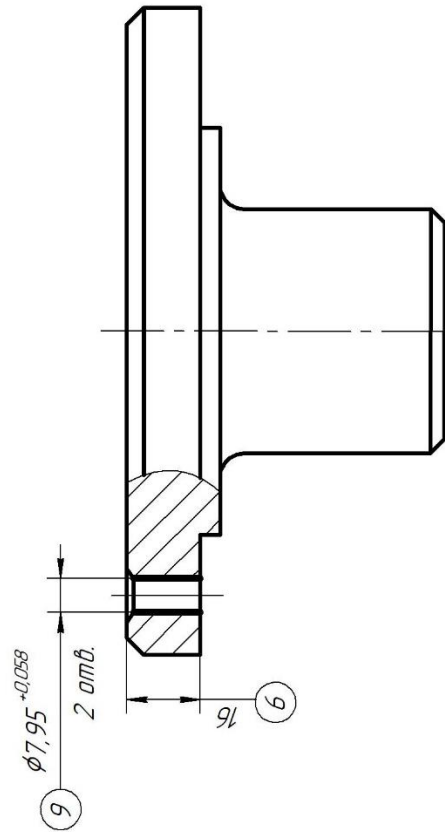
1	2	3	4
		 $\sqrt{Ra\ 6,3}$ $\phi 62^{+0,3}$ $2,5 \times 45^\circ$ $12^{+0,5}$ $60 \pm 0,3$ $59,5_{-0,3}$ $\sqrt{Ra\ 3,2}$	3. Розточити послідовно виточку з підрізанням торцю за два проходи та фаску, витримав розміри 4,5,6,7. 4. Точити торець начисто, витримав розмір 8. 5. Зняти деталь.

1	2	3	4
010 Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК HAAS ST-10		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Точити послідовно торець фланцю з утворенням буртика, точити менший торець, точити зовнішню поверхню та фаску, витримав розміри 1,2,3,4,5,6,7. 3. Розточити отвір начорно, витримав розміри 4,8,9.

1	2	3	4
		$\sqrt{Ra\ 3,2}$ 	4. Розточити послідовно отвір начисто та фаску, витримав розміри 10, 11. 5. Зняти деталь.



1	2	3	4
		 Technical drawing of a stepped shaft with four steps. The shaft has a central section with a diameter of 9 mm, indicated by a dimension line with a circle containing the number 5. The steps are labeled with circled numbers 6 and 7. The surface finish is specified as $\sqrt{Ra\ 12.5}$. The drawing is a cross-section view showing the internal structure of the shaft.	3. Свердлити послідовно чотири отвори, витримав розміри 3, 4, 5, 6.
		 Technical drawing of a stepped shaft with four steps, similar to the one above but with a different surface finish. The shaft has a central section with a diameter of 9 mm, indicated by a dimension line with a circle containing the number 7. The steps are labeled with circled numbers 6 and 7. The surface finish is specified as $\sqrt{Ra\ 3.2}$. The drawing is a cross-section view showing the internal structure of the shaft.	4. Нарізати різьбу послідовно в чотирьох отворах, витримав розміри 4, 6, 7.

1	2	3	4
		 Technical drawing of a mechanical part (8) showing a cross-section. Dimensions: diameter 7.8 (+0.1), length 2 mm, and a circular feature with diameter 6. Surface texture symbol is $\sqrt{Ra\ 12.5}$.	5. Свердлити послідовно два отвори, витримав розміри 3,6,8.
		 Technical drawing of a mechanical part (9) showing a cross-section. Dimensions: diameter 7.95 (+0.058), length 2 mm, and a circular feature with diameter 6. Surface texture symbol is $\sqrt{Ra\ 3.2}$.	6. Розвернути послідовно два отвори попередньо, витримав розміри 3,6,9.

1	2	3	4
		Technical drawing of a mechanical part (flange) with dimensions and surface finish specifications. The drawing includes a cross-section view and a top view. Key features and dimensions include: - Top view: A circular flange with a central hole. The outer diameter is labeled $\phi 8^{+0.022}$. The central hole diameter is labeled 2 отв. (2 holes). - Surface finish: The top surface is specified with $\sqrt{Ra} 1,6$. The central hole area is specified with $R 0,1$. - Section view: A cross-section of the flange showing a thickness of $1/6$ and a fillet radius of $R 0,1$. - Feature callouts: Circled numbers 10 and 6 are used to identify specific features.	7. Розвернути послідовно два отвори тонко, втримав розміри 3,6,10. 8. Зняти деталь.

1	2	3	4
020 Протяжка	Вертикально – протяжний 7565	Technical drawing of a vertical plug. The main view shows a cross-section with dimensions: total height 46, top flange width 6, central hole diameter 13, and a 2.4 mm wide section. A surface finish symbol $\sqrt{Ra\ 1,6}$ is indicated. A detail view shows a circular feature with a 29° chamfer (3), an outer diameter of $\phi 44,52^{+0,2}$ (1), an inner diameter of $\phi 36^{+0,01}$ (4), and a central hole of $\phi 6 \pm 0,001$ (2).	1. Встановити деталь. 2. Протягнути шліци в центральному отворі, витримав розміри 1,2,3,4,5. 3. Зняти деталь.

1	2	3	4
030 Контрольна	Смін ВТК		Контролювати розміри деталі.
025 Слюсарна	Верстак слюсарний		Зачистити задирки.

Таблиця 3.5

Металорізальні верстати для обробки заданих деталей

№ операції	Найменування та модель верстата	Стисла технічна характеристика				
		Габар. розміри робоч. столу чи мах діаметр обробки	Ряд частот обертання (хв ⁻¹)	Ряд подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри верстату (мм)
1	2	3	4	5	6	7
005 010	Токарний з ЧПК HAAS ST-10	Ø320 Ø200	20÷ 2500	0,05... 4,0	11	3700х 2260
015	Свердлильний з ЧПК 2P135Ф2	Ø35	45 ÷ 2000	10 ÷ 500 мм/хв	3,7	1800 х 2170 х 2700
020	Вертикально-протяжний 7Б65	800 хід салазок	5 т тягове зусилля	2,3-14 м/хв	10	2650х 1400

Вибір металорізальних верстатів здійснювався з урахуванням:

- можливості виконання найбільшої кількості переходів за одну установку;
- забезпечення необхідного класу точності та шорсткості поверхонь;
- гнучкості переналагодження в умовах серійного та дрібносерійного виробництва;
- відповідності технологічним розмірам деталей;
- продуктивності та стабільності верстата;
- економічної доцільності застосування ЧПК-обладнання.

Обґрунтування використання верстатів з ЧПК. Застосування токарних, фрезерних, свердлильних та шліфувальних верстатів з числовим програмним керуванням дозволяє:

- зменшити кількість переустановлень деталей;
- забезпечити повторюваність точності обробки;
- оптимізувати траєкторії інструмента;
- скоротити трудомісткість технологічного процесу;

- підвищити рівень автоматизації та знизити вплив людського фактора.

Узгодження верстатів із технологічними маршрутами. Підібраний комплект обладнання забезпечує виконання всіх необхідних операцій:

- токарні з ЧПК HAAS ST-10 – формування циліндричних, торцевих, базових і посадочних поверхонь;
- свердлильний з ЧПК 2P135Ф2 – формування точних отворів, різьб і розгортання;
- протяжний 7Б65 – отримання шліцьового профілю відповідно до вимог високої співвісності.

Таким чином, підібране обладнання повністю відповідає структурі та змісту технологічних операцій і дозволяє реалізувати проектовані технологічні процеси на високому технічному рівні.

3.8. Вибір затискних пристроїв

Для забезпечення необхідної точності механічної обробки деталі повинні бути надійно встановлені та закріплені у верстаті. Тому на етапі проектування технологічного процесу визначається склад затискних та установчих пристроїв, які вибираються з урахуванням теоретичної схеми базування, геометричної форми деталі, характеру операції та типу виробництва.

При виборі пристроїв для верстатів з ЧПК необхідно враховувати їх специфіку: такі пристрої, як правило, не мають елементів орієнтування різального інструменту, оскільки траєкторія інструмента визначається програмою. Водночас вони повинні забезпечувати:

- швидке й точне встановлення деталі;
- достатню жорсткість і стійкість під час різання;
- мінімальну кількість переналагоджень;
- універсальність щодо деталей подібної форми;
- можливість автоматизації та інтеграції у ЧПК-процес.

Надійність закріплення забезпечує стабільність розмірної точності, зменшує вібрації та похибки базування, а також підвищує продуктивність обробки.

Стисла характеристика вибраних затискних пристроїв, призначених для встановлення та фіксації деталей на верстатах, наведена в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Затискні пристрої

№ опер	Найменування пристрою	Стандарт	Рід приводу
1	2	3	4
005 010	Патрон 3-х кулачковий самоцентрувальний	24351 – 82 8742-85	Гідравлічний
015	Пристосування свердлильне	Спец.	Пневматичний
020	Опорна планшайба	Спец.	Механічний

3.9. Вибір ріжучих інструментів

Вибір різального інструменту для механічної обробки заданої деталі здійснюється відповідно до методу обробки, властивостей матеріалу деталі, характеристик інструментального матеріалу та умов конкретного типу виробництва. Підбір інструментів базується на даних довідкових таблиць і каталогів виробників, що дозволяє забезпечити оптимальні режими різання, довговічність інструмента та високу якість оброблених поверхонь.

Усі вибрані інструменти мають відповідати вимогам до точності, шорсткості та продуктивності технологічного процесу. Їх основні технічні характеристики наведені у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Різальний інструмент

Номер		Назва інструменту	Стандарт	Різальна частина	
операції	переходу			матеріал	стандарт
1	2	3	4	5	6
005	2	Різець для контурного точіння	20872-80	T5K10	3882-74
	3	Різець розточувальний	20874-80	T5K10	3882-74
	4	Різець підрізний	18880-83	T5K10	3882-74

010	2	Різець для контурного точіння	20872-80	T5K10	3882-74
	3	Різець розточувальний	20874-80	T5K10	3882-74
	4	Різець розточувальний	20874-80	T5K10	3882-74
015	2	Свердло Ø 12	10903-77	P6M5	19265-75
	3	Свердло Ø 9	10903-77	P6M5	19265-75
	4	Мітчик М 10x1	17931-82	P6M5	19265-75
	5	Свердло Ø 7,8	10903-77	P6M5	19265-75
	6	Розвертка Ø 7,95	1672-80	P6M5	19265-75
	7	Розвертка Ø 8	1672-80	P6M5	19265-75
020	2	Протяжка шліцьова 16 шліц	25157-82	P6M5	19265-75

Токарні різці для чорнової та чистової обробки (рис.3.2)



Рис.3.2. Токарні різці

Використання: чорнове точіння заготовок; чистова обробка зовнішніх циліндричних поверхонь; формування фасок, буртів, підрізка торців.

Розточні різці для утворення внутрішніх поверхонь та шліцьових отворів (рис.3.3)



Рис.3.3. Розточні різці

Використання: чорнове та чистове розточування центральних отворів; формування внутрішніх базових поверхонь; підготовка отвору перед протягуванням шліців.

Свердла для отримання отворів (рис.3.4)



Рис.3.4. Сверла

Використання: попереднє засвердлювання отворів; виготовлення наскрізних і глухих отворів у втулці шліцьовій.

Розгортки для точних посадочних отворів (рис.3.5)



Рис.3.5. Розгортки

Використання: отримання точного діаметра отвору; забезпечення шорсткості $Ra\ 1,6—3,2$; підготовка корпусу втулки під пресові посадки.

Протяжки для нарізання внутрішніх шліців (рис.3.6)

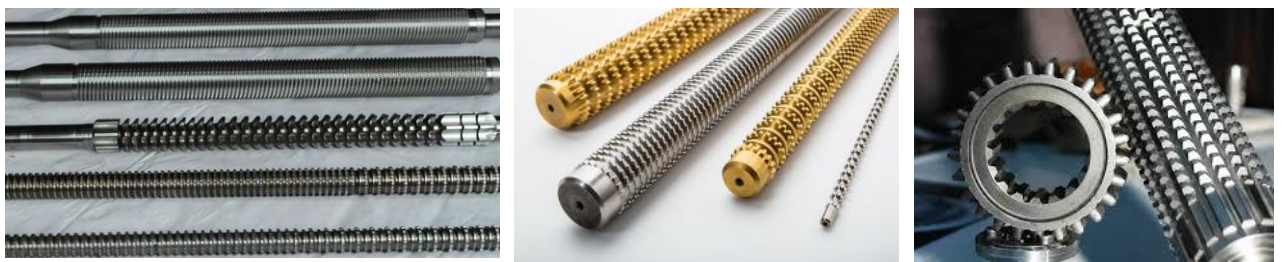


Рис.3.6. Протяжки

Використання: формування внутрішнього шліцьового профілю у втулці; забезпечення співвісності, точності та чистоти профілю.

Під час вибору інструменту важливо враховувати режими різання для сталі 45Х, оскільки ці матеріали потребують твердосплавних або плакованих пластин. Для ЧПК-обробки перевагу надають інструментам із карбідними пластинами ISO, оскільки вони забезпечують вищу стійкість. Для отворів з високими

вимогами до співвідносіть рекомендується застосовувати ступінчастий інструмент: свердло → зенкер → розгортка. Для серійного виробництва оптимальними є модульні інструментальні системи, що забезпечують швидку заміну головок.

3.10. Вибір вимірювальних пристроїв

Для забезпечення точного контролю оброблених поверхонь необхідно правильно підібрати вимірювальний інструмент та контрольні пристосування. Їх вибір визначається конструктивними особливостями поверхні, необхідною точністю вимірювання та типом виробництва. Правильно підібраний інструмент дозволяє своєчасно виявити відхилення, забезпечити якість обробки та дотримання заданих допусків.

Перелік та коротка характеристика обраних засобів контролю наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Вимірювальний інструмент для контролю				
Номер		Параметр деталі, який контролюється	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт на конструкцію
операції	переходу			
1	2	3	4	5
005	2	$\varnothing 160_{-0,87}^{+0,3}$; $18_{-0,3}^{+0,3}$; $60 \pm 0,3$;	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1	166-80
	3	$\varnothing 62_{-0,3}^{+0,3}$; $12_{-0,5}^{+0,5}$;	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1	166-80
	4	$59,5_{-0,3}$;	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1	166-80
010	2	$\varnothing 54_{-0,62}^{+0,3}$; $\varnothing 80_{-0,74}^{+0,3}$; $16_{-0,43}^{+0,3}$; $58 \pm 0,31$; 2×45^0 ; 24_{-1} ;	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1	166-80
	3	$\varnothing 35,8_{-0,25}^{+0,25}$	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1	166-80
	4	$\varnothing 36,1_{-0,1}^{+0,1}$; 2×45^0 ;	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05	166-800
015	2	$\varnothing 9_{-0,1}^{+0,1}$; $3_{-0,5}^{+0,5}$; $48 \pm 0,1$; $68 \pm 0,2$;	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1	166-80
	3	$\varnothing 9_{-0,1}^{+0,1}$	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1	166-80
	4	M10x1-7H	Пробка різьбова M10x1-7H Пристосування контрольне	17756-87 Спец.
	5	$\varnothing 7,8_{-0,1}^{+0,1}$	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1	166-80

	6	$\varnothing 7,95^{+0,058}$	Пробка $\varnothing 7,95H9$	14807-89
	7	$\varnothing 8^{+0,022}$;	Пробка $\varnothing 8H8$ Пристосування контрольне	14807-89 Спец.
020	2	$\varnothing 44,52^{+0,2}$; $\varnothing 36^{+0,1}$; $\varnothing 6 \pm 0,001$;	Пробка шліцева 44x3,5x16	24959-81

Приклади вимірювального інструменту, який застосовується для контролю деталі:

1. Штангенциркуль (ШЦ-I, ШЦ-1), рис.3.7.



Рис.3.7. Штангенциркулі

Застосування: контроль зовнішніх діаметрів; вимірювання довжин, висот, товщин; перевірка торців та фасок; використовується на більшості операцій (005, 010, 015).

Переваги: універсальність, швидкість вимірювання, точність до 0,1 мм або 0,05 мм (залежно від моделі).

2. Нутромір, розточні калібри, пробки (рис.3.8)



Рис.3.8. Пристрої для вимірювання отворів

Застосування: високоточний контроль діаметрів отворів; оцінка відповідності полям допусків H7, H8, H9; перевірка співвісності та рівномірності внутрішніх поверхонь.

Приклади в таблиці: пробка $\varnothing 7,95 H9$, пробка $\varnothing 8 H8$, пробка шліцева 44x3,5x16 для контролю внутрішніх шліців (операція 020).

3. Гладкі граничні калібри (Go/No-Go) , рис.3.9.



Рис.3.9. Пристрої для вимірювання отворів

Застосування: швидка перевірка того, чи входить реальний розмір у поле допуску; контроль різниці між мінімальним і максимальним допустимим діаметром; обов'язкові для відповідальних посадкових поверхонь.

4. Різьбові калібри та пробки (для M10×1-7H, інших різьб), рис.3.10



Рис.3.10. Різьбові калібри

Застосування: контроль точності внутрішніх різьб; перевірка профілю, кроку та допуску різьби; гарантія правильного складання вузла.

5. Шліцьові калібри та контрольні пристосування (рис.3.11)



Рис.3.11. Шліцьові калібри

Застосування: контроль шліцьового профілю втулки; перевірка висоти зубців, ширини западин, точності профілю; контроль посадки зі стержнем шліцьовим.

Цей інструмент використовується на операції 020 для перевірки точності внутрішніх шліців.

В серійному виробництві доцільно застосовувати граничні калібри, які значно прискорюють контроль. Внутрішній шліцьовий профіль перевіряється комплектом шліцьових калібрів, а також пробною посадкою з валом. Різьбові елементи контролюються різьбовими пробками Go/No-Go відповідно до ГОСТ. Для ЧПК-виробництва важливо мати інструмент із високою повторюваністю (калібри без зношених поверхонь).

3.11. Розрахунок припусків

Величина операційного припуску на механічну обробку суттєво впливає на точність виготовлення деталі, якість обробленої поверхні та загальну продуктивність процесу. Для поверхні $\varnothing 42_{-0,06}$ деталі втулка виконується розрахунок припусків і операційних розмірів.

Маршрут обробки цієї поверхні передбачає послідовні переходи:

- заготовка – $\delta_x = 3,6$ мм;
- чорнове точіння – $\delta_1 = 0,3$ мм;
- чистове точіння – $\delta_2 = 0,074$ мм;
- шліфування – $\delta_3 = 0,06$ мм.

Розрахунок припусків для поверхні $\varnothing 42H8$ здійснюється шляхом заповнення таблиці припусків та операційних розмірів, у якій відображаються всі етапи обробки та відповідні значення припусків для кожної операції. На початку таблиці зазначається технологічний маршрут обробки, після чого послідовно вводяться значення припусків, проміжні та кінцеві розміри.

Заготовка виготовляється методом штампування на ГKM, а вся подальша обробка виконується з використанням постійних технологічних баз — центрових отворів, що забезпечує стабільність базування та високу точність формування поверхні.

Розрахунок припусків і граничних розмірів

Технологічні поверхні	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск, $2Z_{\min}$ мкм	Розрахунковий розмір, d_p , мм	Допуск, δ , мкм	Граничні розміри, мм		Граничні припуски, мкм	
	R_z	T	ρ				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}^{GP}$	$2Z_{\max}^{GP}$
Заготовка	150	250	1830	-	67,1	3600	67,1	70,7		
Точіння чорнове	50	50	110	$2 \cdot 2230$	62,63	300	62,63	62,9	4500	7800
Точіння чистове	30	30	73	$2 \cdot 210$	62,21	74	62,21	62,28	390	620
Шліфування однократне	10	20	37	$2 \cdot 133$	61,94	60	61,94	62,00	270	280

Така як обробка виконується в центрах, то похибка установки в радіальному напрямку дорівнює 0. Тому сумарне відхилення:

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_{CM}^2 + \rho_{KOP}^2 + \rho_V^2}; \text{Тоді}$$

$$\rho_{CM} = 1,0 \text{ мм}; \rho_{KOP} = \Delta_K \cdot L = 0,7 \cdot 500 = 0,35 \text{ мм}; [2] \text{ стр.72}$$

$$\rho_V = \sqrt{\left(\frac{\delta_3}{2}\right)^2 + 0,25^2} = \sqrt{\left(\frac{3,6}{2}\right)^2 + 0,25^2} = 1,8 \text{ мм};$$

$$\rho_3 = \sqrt{1,0^2 + 0,35^2 + 1,8^2} = 1,83 \text{ мм}.$$

Залишкова величина просторового відхилення:

після чорнового точіння: $\rho_1 = 0,06 \cdot 1830 = 10,9 \approx 110 \text{ мкм};$

після чистового точіння: $\rho_2 = 0,04 \cdot 1830 = 73 \text{ мкм};$

після шліфування: $\rho_3 = 0,02 \cdot 1830 = 37 \text{ мкм};$

Розрахунок мінімальних значень припусків виконуємо за формулою

$$2Z_{\min} = 2(R_{Zi-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}) [2] \text{ стр.92}.$$

Мінімальний припуск:

під чорнове точіння: $2Z_{\min} = 2(150 + 250 + 1830) = 2 \cdot 2230 \text{ мкм};$

під чистове точіння: $2Z_{\min} = 2(50 + 50 + 110) = 2 \cdot 210 \text{ мкм};$

під шліфування: $2Z_{\min} = 2(30 + 30 + 73) = 2 \cdot 133 \text{ мкм};$

Розрахунковий розмір:

$$d_{p2} = 61,94 + 0,266 = 62,206 \approx 62,21 \text{ мм};$$

$$d_{p1} = 62,21 + 0,420 = 62,63 \text{ мм};$$

$$d_{p3} = 62,63 + 4,460 = 67,09\text{мм};$$

Найбільші граничні розміри:

$$d_{\max 3} = 61,94 + 0,06 = 62,00\text{мм};$$

$$d_{\max 2} = 62,21 + 0,074 = 62,28\text{мм};$$

$$d_{\max 1} = 62,6 + 0,3 = 62,9\text{мм};$$

$$d_{\max 3} = 67,1 + 3,6 = 70,7\text{мм};$$

Граничні значення припусків:

$$2Z_{\max 3}^{\text{ГП}} = 62,28 - 62,00 = 0,28\text{мм} = 280\text{мкм};$$

$$2Z_{\max 2}^{\text{ГП}} = 62,9 - 62,28 = 0,62\text{мм} = 620\text{мкм};$$

$$2Z_{\max 1}^{\text{ГП}} = 70,7 - 62,9 = 0,27\text{мм} = 270\text{мкм};$$

$$2Z_{\min 3}^{\text{ГП}} = 62,21 - 61,94 = 0,27\text{мм} = 270\text{мкм};$$

$$2Z_{\min 2}^{\text{ГП}} = 62,6 - 62,21 = 0,39\text{мм} = 390\text{мкм};$$

$$2Z_{\min 1}^{\text{ГП}} = 67,1 - 62,6 = 4,5\text{мм} = 4500\text{мкм};$$

Загальні припуски:

$$2Z_{0\min} = 5160\text{мкм};$$

$$2Z_{0\min} = 8700\text{мкм};$$

Виконуємо перевірку правильності виконаних розрахунків:

$$2Z_{\max 3}^{\text{ГП}} - 2Z_{\min 3}^{\text{ГП}} = 280 - 270 = 10\text{мкм};$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 74 - 60 = 14 \approx 10\text{мкм};$$

$$2Z_{\max 2}^{\text{ГП}} - 2Z_{\min 2}^{\text{ГП}} = 620 - 390 = 230\text{мкм};$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 300 - 74 \approx 230\text{мкм};$$

$$2Z_{\max 1}^{\text{ГП}} - 2Z_{\min 1}^{\text{ГП}} = 7800 - 4500 = 3300\text{мм};$$

$$\delta_3 - \delta_1 = 3600 - 300 = 3300\text{мкм}.$$

Розрахунки виконано вірно.

Схему розташування припусків відображено на рис.3.12.

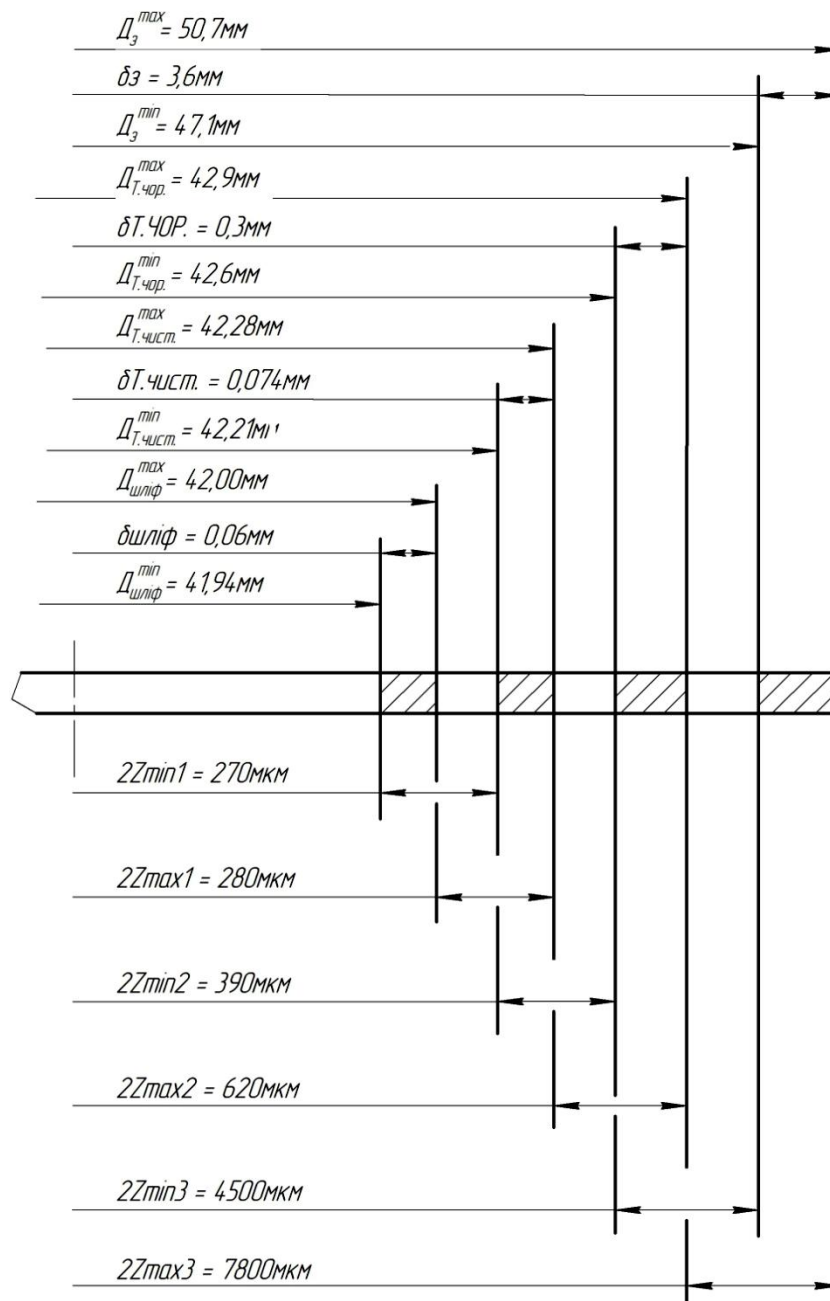


Рис.3.12. Схема графічного розташування припусків і допусків
поверхні Ø42h8

3.12. Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання для операції 010, що виконується під час обробки деталі, здійснюється на основі прийнятого технологічного маршруту. Глибини різання приймаються рівними максимально можливим припускам. Величина подачі підбирається залежно від вимог до шорсткості обробленої поверхні та радіуса округлення вершини різального інструменту.

Швидкість різання при токарній обробці визначаємо за формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\varphi v} \cdot K_{\varphi 1v} \cdot K_r}{T^m \cdot t^x \cdot S^y}$$

де:

C_v – базовий коефіцієнт;

K_{mv} – коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу деталі;

K_{nv} – коефіцієнт стану поверхневого шару;

K_{uv} – коефіцієнт інструментального матеріалу;

$K_{\varphi v}$, $K_{\varphi 1v}$ – коефіцієнти впливу головного та допоміжного кутів;

K_r – коефіцієнт впливу радіуса вершини різця;

m , x , y – показники степеня, що визначають вплив періоду стійкості, глибини різання та подачі.

Частоту обертання шпинделя визначаємо:

$$n = \frac{1000V}{\pi d}$$

де d – розрахунковий діаметр, мм.

Хвилинна подача:

$$S_m = n \cdot s$$

Розрахунок режимів різання для точіння

1. Чорнове точіння торця

Вихідні дані:

– $T = 50$ хв;

– $t = 2,2$ мм;

– $S = 0,6$ мм/об;

– $d = 40$ мм.

Вибрані коефіцієнти: $C_v = 330$; $K_{mv} = 0,64$; $K_{nv} = 0,8$; $K_{uv} = 1$; $K_{\varphi v} = 0,8$; $K_{\varphi 1v} = 1$; $K_r = 1$; $x = 0,15$; $y = 0,45$; $m = 0,2$.

Обчислюємо:

$$V = 74 \text{ м/хв}$$

$$n = 168 \text{ об/хв}$$

$$S_m = 101 \text{ мм/хв}$$

Розрахунок режимів різання для свердління

Швидкість різання для свердління:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{T^m \cdot S^y}$$

де: $K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{uv}$, K_{iv} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління, q – показник впливу діаметра свердління.

Свердління отвору Ø40 мм

$$S = 0,23 \text{ мм/об}; T = 45 \text{ хв.}$$

Коефіцієнти:

$$C_v = 9,8; K_{mv} = 0,64; K_{iv} = 1; K_{uv} = 1; q = 0,4; m = 0,2; y = 0,5.$$

Отримуємо:

$$V = 17,9 \text{ м/хв}$$

$$n = 355 \text{ об/хв}$$

$$S_m = 81,6 \text{ мм/хв}$$

Перевірка потужності верстата

Силу різання визначаємо:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p$$

де:

$$C_p = 300; t = 4 \text{ мм}; S = 0,6 \text{ мм}; x = 1; y = 0,75; n = -0,15; K_p = K_{mp} K_{fp} K_{\gamma p} K_{\lambda p} = 1,58 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.$$

$$P_z = 6777,3 \text{ Н}$$

Необхідна потужність:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}$$

$$N = 8,1 \text{ кВт} < 30 \text{ кВт}$$

Отже, обробку можна виконувати на верстаті HAAS при вибраних режимах.

Визначення основного часу

Основний час для кожного переходу:

$$t_0 = \frac{L_{p.x.}}{S_m}$$

Сумарний основний час:

$$\sum t_0 = 1,81 + 0,10 + 0,20 + 0,10 = 2,21 \text{ хв}$$

На інших операціях режими різання призначаються за довідниковими таблицями. Зведені дані наведені у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

Режими різання на операціях механічної обробки

Номер		L _{р.х.} , мм	t, мм	S, мм/об	S, мм/хв	V, м/хв	n, хв. ⁻¹	t ₀ , хв.
Опера- ції	Пере- ходу							
1	2	3	4	5	6	7	8	9
005	2	76	1,7	0,4	-	100,1	200	0,95
	3	38	2,2	0,3	-	100,1	200	0,63
	4	52	0,5	0,2	-	151	300	0,87
010	2	94	1,5	0,4	-	157	350	0,67
	3	45	1,2	0,3	-	21	200	0,75
	4	45	0,25	0,2	-	41,5	400	0,56
015	2	27	4,5	0,12	-	17,3	500	0,45
	3	80	4,5	0,4	-	17,0	500	0,4
	4	144	0,75	1,5	-	3,1	100	0,96
	5	38	3,9	0,4	-	16,5	700	0,14
	6	38	0,075	0,8	-	3,1	120	0,4
	7	38	0,025	0,6	-	3,1	120	0,4
020	2	1146	3,0	-	-	4	-	0,54

3.13. Технічне нормування операцій

Розрахунок норм часу виконуємо для операції 005 технологічного процесу механічної обробки деталі втулка. Оскільки точність нормування істотно впливає на тривалість виробничого циклу, собівартість продукції та рівень завантаження обладнання, доцільно використовувати сучасні підходи до визначення складових часу — з урахуванням можливостей ЧПК-верстатів, автоматизації заміни інструмента та швидких переміщень.

1. Визначення автоматичного допоміжного часу

У розрахунку застосовуємо усереднені значення, характерні для верстатів із ЧПК:

- час заміни інструмента - 12 с;
- час швидких переміщень по осях (без урахування розгону та гальмування) - 57 с.

Автоматичний допоміжний час:

$$t_{д а} = t_{зм} \cdot i + t_{уп}$$

де:

$t_{зм}$ — час зміни інструмента; i — кількість використовуваних інструментів;
 $t_{уп}$ — час прискорених переміщень.

$$t_{д а} = 12 + 57 = 69 \text{ с}$$

Актуальне доповнення: на сучасних ЧПК-верстатах із револьверними головками час зміни інструмента може становити 0,7–1,5 с, що дозволяє скоротити допоміжний час до 10–20 % від ручних норм. У промислових умовах нормувальник повинен враховувати реальний час індексації головки, зазначений виробником.

2. Розрахунок штучного часу

Штучний час визначається:

$$t_{шт} = (t_{авт} + t_{всп.р}) \left(1 + \frac{k}{100}\right)$$

де $k = 0,07$ — коефіцієнт, що враховує особисті потреби та регламентовані перерви.

Автоматичний (програмний) час:

$$t_{авт} = t_{о а} + t_{в а}$$

де:

— $t_{о а} = 3,93$ хв; - основний час; $t_{д а} = 1,11$ хв — автоматичний допоміжний час.

$$t_{авт} = 3,93 + 1,11 = 5,04 \text{ хв}$$

3. Допоміжний ручний час

$$t_{д р} = t_{уст.} + t_{закр} + t_{вкл.};$$

- встановлення/зняття деталі — 0,19 хв;

- закривання/відкривання робочої зони — 0,06 хв;
- увімкнення/вимкнення верстата — 0,06 хв.

$$t_{д.р} = 0.06 + 0.06 + 0,19 = 0.31 \text{ хв}$$

4. Розрахунок штучного часу

$$t_{шт} = (5,04 + 0.31) 1,07 = 5,52 \text{ хв}$$

5. Розрахунок підготовчо-заключного часу

$$T_{пз} = T_{пз1} + T_{пз2} + T_{пз3}$$

Компоненти підготовчо-заключного часу:

- отримання завдання та інструмента — 9 хв;
- ознайомлення — 2 хв;
- інструктаж — 2 хв;
- встановлення/зняття інструмента — 1 хв;
- встановлення/зняття програмоносія — 1 хв;
- перевірка зчитування програми — 1,2 хв;
- введення програми — 1,4 хв;
- встановлення нульових координат — 2,5 хв;
- пробна обробка — 6 хв.

$$T_{пз} = 4 + 2 + 2 + 5*1 + 1 + 1.2 + 1.4 + 2,5*5 + 6 = 35 \text{ хв}$$

Актуальне доповнення: на сучасних верстатах файли програм передаються мережею (DNC або Ethernet), що практично усуває операції зі зчитуванням носія, а також значно скорочує час введення програми з панелі оператора.

6. Штучно-калькуляційний час

$$t_{шт.к.} = t_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}$$

де $n = 400$ шт. - партія запуску.

$$t_{шт.к.} = 5,52 + 35/400 = 5.6 \text{ хв}$$

Визначення норм часу на виконання решти операцій здійснюється аналогічно, і результати розрахунків наведені в таблиці 3.11

Таблиця 3.11

Результати технічного нормування операцій

№ операції	$t_{o(ц.а)},$ хв.	$t_d,$ хв.	$t_{оп.},$ хв.	$t_{т.об.},$ хв.	$t_{орг.об.},$ хв.	$t_{від.},$ хв.	$t_{шт.},$ хв.	$t_{п.з.},$ хв.	$t_{шт.к.},$ хв.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
005	3,08	1,31	4,39	0,17	0,17	0,18	4,91	21	5,43
010	2,55	1,27	3,82	0,15	0,15	0,16	4,28	21	4,81
015	3,46	1,6	5,06	0,2	0,2	0,26	5,72	19	6,28
020	0,54	0,62	1,16	0,04	0,04	0,04	1,28	11	1,56

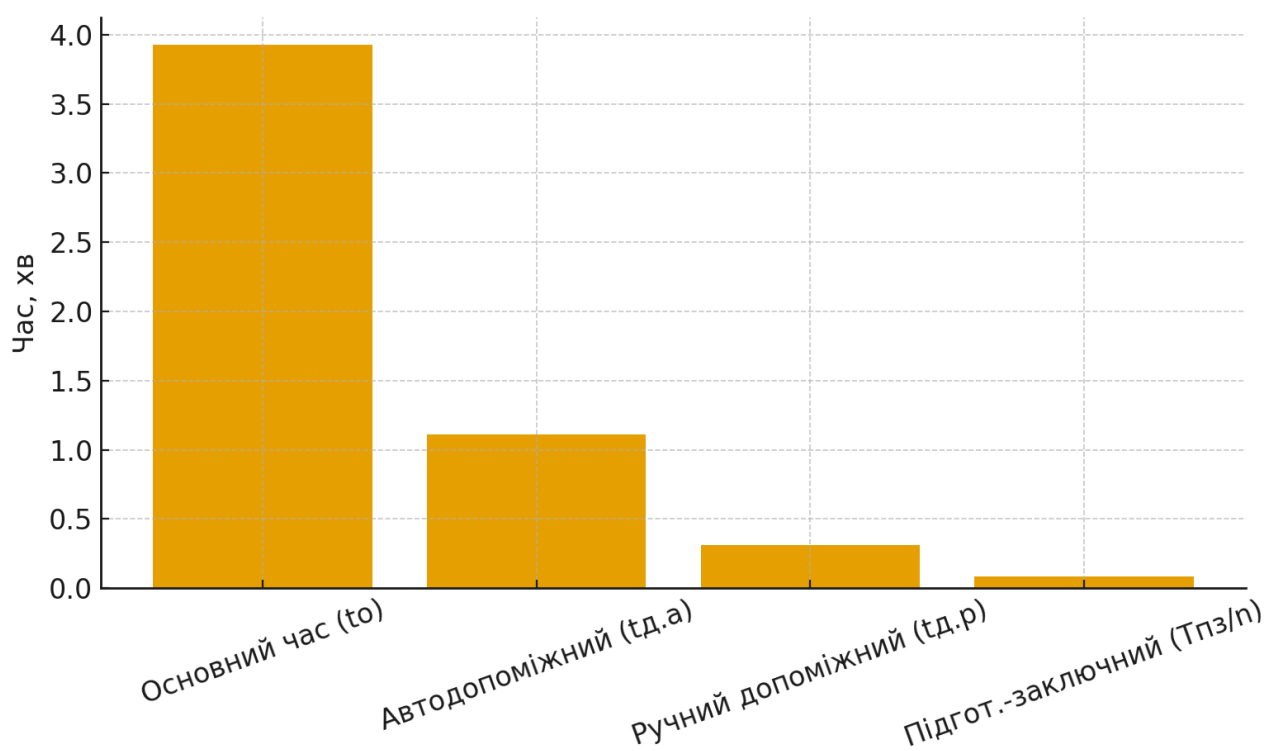


Рис.3.13. Розподіл часу для операції 005

6. Підсумок. Розрахунок норм часу для операції 005 виконано. Для інших операцій елементи режимів і складові часу визначаються аналогічним чином. Сучасне доповнення: У промислових умовах дедалі частіше застосовують цифрові системи моніторингу ЧПК-верстатів (Siemens MindSphere, Haas Connect, Fanuc MT-Link), що дозволяють автоматично фіксувати реальний машинний час. Це суттєво підвищує точність нормування та виключає помилки ручного розрахунку.

4. Економічна частина

4.1. Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження

Середній коефіцієнт завантаження робочих місць, зайнятих у виготовленні деталі «втулка шліцева», розраховуємо у такій послідовності.

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

$$q_{p(i)} = \frac{N_z \cdot t_{um(i)}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot k_g}, \quad (4.1)$$

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

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

$$F_{дрм} = F_n S (1 - 0,01 f), \quad (4.2)$$

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

На операції 005 проектного техпроцесу обробки деталі «втулка шліцева»:

$$q_{p(005)} = \frac{3470 \cdot 4,91}{3680 \cdot 60 \cdot 1,0} = 0,077$$

Аналогічно виконані розрахунки по інших операціях техпроцесу зведемо до табл. 4.1.

Коефіцієнт завантаження обладнання по кожній деталі-операції:

$$\eta_{z(i)} = \frac{q_{p(i)}}{q_{np(i)}} \quad (4.3)$$

$$\eta_{z(005)} = \frac{0,077}{1} = 0,077$$

Середній коефіцієнт завантаження робочих місць на усіх операціях технологічного процесу виготовлення деталі «втулка шліцева»:

$$\bar{\eta}_z = \frac{\sum_{i=1}^m q_{p(i)}}{\sum_{i=1}^m q_{np(i)}} = \frac{0,254}{4} = 0,064 \quad (4.4)$$

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

m - кількість операцій технологічного процесу.

Таблиця 4.1

Розрахунок завантаження обладнання

№ опер	Найменування операції	Т _{шт} , хв.	Кількість обладнання		η_z	$\bar{\eta}_z$
			q_p	q_{np}		
005	Токарна з ЧПК	4,91	0,077	1	0,077	0,064
010	Токарна з ЧПК	4,28	0,067	1	0,067	
015	Свердлильна з ЧПК	5,72	0,090	1	0,090	
020	Протяжна	1,28	0,020	1	0,020	
	Всього	16,19	0,254	4	0,254	

Відповідно до розрахованого середнього коефіцієнта завантаження обладнання визначаємо тип виробництва – середньосерійний (СС).

4.2. 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 технологічних 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 труднощі за переналагоджуванням операції (тобто підготовчо-заключний 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:

$$n_p = \frac{0,5 \cdot F_{зм}}{t_{ум}^{\min}}, \quad (4.5)$$

де $F_{зм}$ – дійсний фонд часу зміни (440 хв.);

$t_{ум}^{\min}$ – штучний час найбільш продуктивної операції.

$$n_p = \frac{0,5 \cdot 440}{1,28} \approx 172 \text{ шт.}$$

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:

$$A_p = \frac{N_z}{n_p} = \frac{3470}{172} = 20, \quad (4.6)$$

визначимо фактичну кількість партій (A_ϕ) шляхом підбору найближчого до A_p цілого значення з уніфікованого ряду:

1, 2, 4, 8, 12, 18, 24, 36, 48, 52, 104, 250,

після чого скорегуємо, відповідно до отриманого значення A_ϕ , розмір партії деталей. Для обох деталей:

$$A_{np} = 18;$$

$$n_{np} = \frac{N_3}{A_{np}} = \frac{3470}{18} = 193 \text{ шт.} \quad (4.7)$$

Періодичність (ритм) запуску-випуску партій деталей:

$$R_3 = \frac{T_p}{A_{\phi}} = \frac{250}{18} = 13,9 \text{ роб. днів,} \quad (4.8)$$

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:

$$T_{o(i)} = \frac{n_{np} \cdot t_{\kappa-\partial(i)}}{S \cdot F_{зм.д}}, \quad (4.9)$$

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

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

$$t_{\kappa-\partial(i)} = \frac{t_{ум(i)}}{k_{\epsilon} \cdot p_{m(i)} \cdot q_{np(i)}} + \frac{t_{n-3(i)}}{n_{np}}, \quad (4.10)$$

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

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

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

Наприклад, для першої операції техпроцесу обробки:

$$t_{\kappa-\partial(005)} = \frac{4,91}{1,01 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{21}{193} = 5,019 \text{ хв.}$$

$$T_{o(005)} = \frac{193 \cdot 5,019}{2 \cdot 440} = 1,10 \text{ дн.}$$

Результати розрахунків $t_{\kappa-\partial(i)}$ і $T_{o(i)}$ зведемо до табл. 4.2.

Розрахунок тривалості циклу

№ опе- рації	Найменування операції	t_{um} , хв.	t_{n-3} , хв.	$t_{к-д}$, хв.	T_o , днів	t_{mo} , днів
005	Токарна з ЧПК	4,91	21	5,019	1,10	0,23
010	Токарна з ЧПК	4,28	21	4,389	0,96	0,23
015	Свердлильна з ЧПК	5,72	19	5,818	1,28	0,23
020	Протяжна	1,28	11	1,337	0,29	0,23
	Всього	16,19	-	16,563	3,63	0,92

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:

$$T_n = \sum_{i=1}^m T_{o_i} + \sum_{i=1}^m t_{mo} = 3,63 + 0,92 = 4,6 \text{ дні}, \quad (4.11)$$

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

$$t_{mo} = \frac{(0,25 \dots 0,8) \cdot \sum_{i=1}^m T_{o_i}}{m} = \frac{0,25 \cdot 3,63}{4} = 0,23 \text{ дня}, \quad (4.12)$$

Середній розмір *циклового запасу* деталей визначається за формулою:

$$Z_u = \frac{n_{np} \cdot T_u}{R_z} = \frac{193 \cdot 4,6}{13,9} = 64 \text{ шт.}, \quad (4.13)$$

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

4.3. Визначення чисельності основних робітників цеху

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

$$R_o = \frac{T_p}{F_{op}}, \quad (4.14)$$

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

$$T_p = N_z \cdot \frac{\sum_{i=1}^m t_{um_i}}{60} \cdot K_{доо} \cdot (1 + 0,01 \cdot d), \quad (4.15)$$

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

$$K_{доо} = \frac{\eta_{zn}}{\bar{\eta}} = \frac{0,85}{0,064} = 13,3$$

(
5.16)

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

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

$$F_{op} = F_n \cdot (1 - 0,01 \cdot C_n) = 2000 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) = 1840 \text{ год.}, \quad (4.17)$$

$$T_p = 3470 \cdot \frac{16,19}{60} \cdot 13,3 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) = 14716 \text{ нормо-год.}$$

$$R_o = \frac{14716}{1840} = 8 \text{ осіб.}$$

4.4. Аналіз варіантів технологічного процесу

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

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

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

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

Порівнюючи варіанти технологічного процесу обробки деталі «втулка шліцьова», проаналізуємо та зіставимо лише ті статті витрат, величина яких змінюється при переході від одного варіанту до іншого (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Характеристика змін при обробці деталі втулка шліцьова

№ опер.	базовий варіант		№ опер.	проектний варіант	
	Модель обладнання	$t_{\text{шт}}$, хв.		Модель обладнання	$t_{\text{шт}}$, хв.
005-010	Токарний з ЧПК 16K20Ф3	13,47	005-010	Токарний з ЧПК HAAS ST-10	9,19
015-020	Вертикально-свердлильний 2Н135	13,80	015	Свердлильний з ЧПК 2Р135Ф2	5,72
	Σ	27,27		Σ	14,91

4.1.1. Розрахунок змінних витрат

За поелементним методом розрахунку змінні витрати визначаються за формулою:

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

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.;

$B_{ін.ун}$ – витрати на експлуатацію універсального ріжучого інструменту, грн.

(однакові у порівнюваних варіантах);

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

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

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

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

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

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

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

В базовому варіанті:

$$Z_{одв.баз} = \frac{92,015 \cdot 13,47 + 82,813 \cdot 13,8}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 53,283 \text{ грн.}$$

В проектному варіанті:

$$Z_{одв.пр} = \frac{92,015 \cdot 14,91}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 30,686 \text{ грн.}$$

Наступні статті витрат пов'язано з утриманням та експлуатацією обладнання. Тому, перед їх розрахунком, на основі [2, с. 91] складемо таблицю характеристики обладнання, яке використовується у порівнюваних операціях базового та проектного техпроцесів (табл. 4.4).

Характеристика обладнання

Модель обладнання	Габаритні розміри: довжина × ширина, м	Потужність електро-двигунів, кВт	Ма-са, т	Група ремонтної складності механічної/електричної частини, УРО	Площа в плані $S_{од}$, м ²	Ціна, тис. грн.
1	2	3	4	5	6	7
Базовий техпроцес						
Токарний з ЧПК 16K20Ф3	3,36×1,71	11,0	5,2	11/12	5,75	746,0
Свердлильний 2Н135	2,69×0,83	4,0	3,5	8/5,5	2,23	126,0
Проектний техпроцес						
Токарний з ЧПК НААС ST-10	3,70×2,26	11,0	7,5	32/20	8,36	2605,0
Свердлильний з ЧПК 2P135Ф2	1,86×2,17	3,7	4,7	8/2	4,04	272,0

Витрати на електроенергію силову:

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

де N_e – встановлена потужність електродвигунів обладнання, кВт;

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

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

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

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

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

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

$$E_{с.баз} = \frac{(11 \cdot 13,47 + 4 \cdot 13,8) \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88 \cdot 60} \cdot 18,10 = 13,109 \text{ грн.}$$

$$E_{с.нр} = \frac{(11 \cdot 9,19 + 3,7 \cdot 5,72) \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88 \cdot 60} \cdot 18,10 = 7,941 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$B_{p.баз} = \frac{(980 \cdot 11 + 750 \cdot 12) \cdot 13,47 + (980 \cdot 8 + 750 \cdot 5,5) \cdot 13,8}{26520 \cdot 60} = 0,271 \text{ грн.}$$

$$B_{p.нр} = \frac{(980 \cdot 32 + 750 \cdot 20) \cdot 9,19 + (980 \cdot 8 + 750 \cdot 2) \cdot 5,72}{26520 \cdot 60} = 0,301 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

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

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

K_v – коефіцієнт, який враховує тип виробництва.

$$B_{мд.баз} = \frac{78,5 \cdot (11 \cdot 13,47 + 8 \cdot 13,8)}{100 \cdot 60} \cdot 1,0 = 3,382 \text{ грн.}$$

$$B_{мд.пр} = \frac{78,5 \cdot (32 \cdot 9,19 + 8 \cdot 5,72)}{100 \cdot 60} \cdot 1,0 = 4,446 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію універсального обладнання:

$$B_{ам} = \frac{\Phi_{бал} \cdot H_a \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot 100 \cdot \eta_{зн}}, \quad (5.8)$$

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

$$\Phi_{бал} = \Pi_{опт} \cdot K_{тмф}, \quad (5.9)$$

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, %.

$$B_{ам.баз} = \frac{(746 \cdot 13,47 + 126 \cdot 13,8) \cdot 1000 \cdot 1,19 \cdot 20}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,85} = 14,948 \text{ грн.}$$

$$B_{ам.пр} = \frac{(2605 \cdot 9,19 + 272 \cdot 5,72) \cdot 1000 \cdot 1,19 \cdot 20}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,85} = 32,332 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію приміщення:

$$B_{еп} = \frac{S_{од} \cdot k_f \cdot C}{F_{дрм} \cdot \eta_{зн}} \cdot \frac{t_{ум}}{60}, \quad (5.10)$$

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

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

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

$$B_{еп.баз} = \frac{(5,75 \cdot 3 \cdot 13,47 + 2,23 \cdot 3,5 \cdot 13,8) \cdot 520}{3680 \cdot 60 \cdot 0,85} = 0,941 \text{ грн.}$$

$$B_{еп.пр} = \frac{(8,36 \cdot 2,5 \cdot 9,19 + 4,04 \cdot 3 \cdot 5,72) \cdot 520}{3680 \cdot 60 \cdot 0,85} = 0,724 \text{ грн.}$$

4.1.2. Розрахунок постійних витрат

За поелементним методом розрахунку постійні витрати включають:

$$P = B_{нал} + B_{сп.осн} + B_{ам.сп} + B_{пр}, \quad (5.11)$$

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 верстату з ЧПК.

Витрати на налагодження обладнання:

$$B_{нал} = C_{гн} \cdot \frac{t_{п-з}}{60} \cdot (1 + K_{\partial}) \cdot (1 + K_c) \cdot A, \quad (5.12)$$

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

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

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

$$B_{нал.баз} = \frac{122,688 \cdot 28 \cdot 2 + 104,283 \cdot 15 \cdot 2}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 18 = 4025,61 \text{ грн.}$$

$$B_{нал.пр} = 122,688 \cdot \frac{(21 \cdot 2 + 19)}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 18 = 3013,05 \text{ грн.}$$

Витрати на створення програмного забезпечення:

$$B_{пр} = T_{пр} \cdot Z_{год} \cdot K_{\partialс}, \quad (5.13)$$

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

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

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

$$B_{пр.баз} = 36,56 \cdot 130,82 \cdot 1,342 = 6418,49 \text{ грн.}$$

$$B_{пр.пр} = 27,16 \cdot 130,82 \cdot 1,342 = 4768,22 \text{ грн.}$$

4.1.3. Розрахунок технологічної собівартості

Усі виконані розрахунки змінних та постійних витрат, а також розрахунок технологічної собівартості зведемо до табл. 4.5.

Таблиця 4.5

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	53,283	30,686
1.2	Електроенергія силова	13,109	7,941
1.3	Ремонт обладнання	0,271	0,301
1.4	Матеріали допоміжні	3,382	4,446
1.5	Амортизація універсального обладнання	14,948	32,335
1.6	Експлуатація приміщень	0,941	0,724
	Всього змінних витрат	85,934	76,433
2.	<u>Постійні витрати P</u>		
2.1	Налагодження обладнання	4025,61	3013,15
2.2	Створення програмного забезпечення	6413,49	4768,22
	Всього постійних витрат	10439,10	7781,37
	Технологічна собівартість річного випуску деталей $C_{тех}$	308630	273004

Технологічна собівартість:

$$C_{тех.баз} = 85,934 \cdot 3470 + 10439,10 = 308630 \text{ грн.}$$

$$C_{тех.пр} = 76,433 \cdot 3470 + 7781,37 = 273004 \text{ грн.}$$

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей «втулка шліцьова» $N_3=3470$ шт. є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

Економія від зниження технологічної собівартості механічної обробки деталей «втулка шліцьова»:

$$E_c = C_{\text{тех.баз}} - C_{\text{тех.пр}} = 308630 - 273004 = 35626 \text{ грн/рік.}$$

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 $C_{\text{тех.баз}} = C_{\text{тех.пр}}$:

$$N_{кр} = \frac{P_{пр} - P_{баз}}{V_{баз} - V_{пр}} = \frac{7781,37 - 10439,10}{85,934 - 76,433} = -280_{\text{шт.}} \quad (5.14)$$

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

4.1.4. Розрахунок показників економічної ефективності проектного варіанту технологічного процесу

Річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу:

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

де E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень;

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

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

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

Капітальні вкладення в будівлі розраховуємо за формулою:

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

де h - висота приміщення цеху, м;

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

$$K_{\text{бюд.баз}} = (5,75 \cdot 3 + 2,23 \cdot 3,5) \cdot 2 \cdot 8 \cdot 5500 = 2204840 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{бюд.пр}} = (8,36 \cdot 2,5 \cdot 2 + 4,04 \cdot 3) \cdot 8 \cdot 5500 = 2372480 \text{ грн.}$$

Балансова вартість обладнання:

$$\Phi_{\text{бал.баз}} = (746000 + 126000) \cdot 2 \cdot 1,19 = 2075360 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{\text{бал.пр}} = (2605000 \cdot 2 + 272000) \cdot 1,19 = 6523580 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{баз}} = (2204840 + 2075360) \cdot 0,10 = 428020 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{пр}} = (2372480 + 6523580) \cdot 0,078 = 693893 \text{ грн.}$$

$$E_p = (308630 + 0,16 \cdot 428020) - (272004 + 0,16 \cdot 693893) = -5914 \text{ грн.}$$

Впровадження запропонованого технологічного процесу впливає на зниження технологічної собівартості виготовлення деталі, але потребує значних 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 суттєвою. 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:

$$\Delta T_p = \frac{\sum_{i=1}^m t_{um(i)}^{баз}}{\sum_{i=1}^m t_{um(i)}^{np}} \cdot 100 - 100 = \frac{27,27}{14,91} \cdot 100 - 100 = 82,9\%, \quad (5.18)$$

4.5. Розрахунок планової цехової собівартості деталі

Цехова собівартість виготовлення деталей визначається як сума калькуляційних статей витрат:

$$C_{цех} = M_o + Z_{од} + B_c + B_{ин} + B_o + B_{ц}, \quad (5.19)$$

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:

$$M_o = a_p \cdot Ц_m \cdot K_{тр} - a_{\epsilon} \cdot Ц_{\epsilon}, \quad (5.20)$$

де a_p - норма витрат матеріалу на деталь (сталь 40X), 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.

$$M_o = 2,5 \cdot 45,0 \cdot 1,05 - (2,5 - 1,4) \cdot 6,75 = 110,700 \text{ грн.}$$

Заробітна плата основна й додаткова виробничих робітників:

$$Z_{од} = P_{\epsilon} (1 + K_{\delta}), \quad (5.21)$$

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

$$P_{\epsilon} = \sum_1^m P_{on_i} = \sum_1^m \frac{e_{\epsilon}^{60} \cdot t_{um-\kappa_i}}{60}, \quad (5.22)$$

де e_{ϵ}^{60} - годинна тарифна ставка відрядника відповідного розряду роботи i -ої операції технологічного процесу, грн./год.;

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

n_{np} – розмір партії деталей, шт.

На першій операції техпроцесу обробки деталі «втулка шліцьова»:

$$P_{on(005)} = 92,015 \cdot \frac{5,116}{60} = 7,8458 \text{ грн./шт.}$$

Розрахунок відрядної розцінки на деталь зведемо до табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Розрахунок відрядної розцінки на деталь

№ оп.	Найменування операції	$t_{um-\kappa}$, хв.	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Розцінка на деталь, грн.
005	Токарна з ЧПК	5,116	4	92,015	7,8458
010	Токарна з ЧПК	4,456	4	92,015	6,8336
015	Свердлильна з ЧПК	5,864	4	92,015	8,9929
020	Протяжна	1,480	3	82,813	2,0427
	Всього	16,916	-	-	25,7151

$$3_{\epsilon} = 25,7151 \cdot (1 + 0,1) = 28,287 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби виробничих робітників:

$$B_{\epsilon} = 3_{\epsilon} \cdot \frac{K_{\epsilon}}{100}, \quad (5.23)$$

де K_{ϵ} - відсоток єдиного соціального внеску.

$$B_{\epsilon} = 28,287 \cdot \frac{22}{100} = 6,223 \text{ грн.,}$$

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).

$$B_{осн} = 23 \cdot \frac{16,19}{60} = 6,206 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

$$B_o = Z_o \cdot \frac{\Pi_{во}}{100}, \quad (5.24)$$

де $\Pi_{во}$ – процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання;

Z_o – основна заробітна плата за виготовлення деталі, грн.

$$B_o = 25,7151 \cdot \frac{320}{100} = 82,288 \text{ грн.,}$$

Загальноцехові витрати в собівартості деталі:

$$B_{ц} = Z_o \cdot \frac{\Pi_{ц}}{100}, \quad (5.25)$$

де $\Pi_{ц}$ – процент цехових витрат.

$$B_{ц} = 25,7151 \cdot \frac{240}{100} = 61,716 \text{ грн.,}$$

Калькуляцію цехової собівартості деталей слід звести до табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Калькуляція цехової собівартості виготовлення деталі

№ з/п	Найменування статей	Витрати на деталь, грн.
1.	Матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів	110,700
2.	Основна заробітна плата виробничих робітників	25,715
3.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	2,572
4.	Відрахування у соціальні фонди	6,223
5.	Експлуатація спеціального оснащення	6,206
6.	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	82,288
7.	Цехові витрати	61,716
8.	Всього цехова собівартість $C_{ц}$	295,420

4.6. Планування підсумкових техніко-економічних показників

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

- *виробіток продукції на одного робітника:*

$$B_n = \frac{T_p}{R_o} = \frac{14716}{8} = 1840 \text{ нормо-год./ос.}, \quad (5.26)$$

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

R_o – чисельність основних робітників цеху, осіб.

- *зарплатомісткість продукції:*

$$З_{zn} = \frac{З_{од}}{C_{ц}} \cdot 100, \quad (5.27)$$

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

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

$$З_{zn} = \frac{28,287}{295,420} \cdot 100 = 9,6\%,$$

- *матеріаломісткість продукції:*

$$З_{mn} = \frac{M_o}{C_{ц}} \cdot 100, \quad (5.28)$$

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

$$З_{mn} = \frac{110,700}{124,480} \cdot 100 = 37,5\%,$$

- *собівартість товарної продукції цеху:*

$$C_{mn} = C_{ц} \cdot N_z \cdot K_{дов} \quad (5.29)$$

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

$$C_{mn} = 295,42 \cdot 13,3 \cdot 3470 = 13633928 \text{ грн.}$$

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

4.8.

Таблиця 4.8

Техніко-економічні показники цеху

№ з/п	Показник	Величина
1.	Програма запуску деталі (N_z), шт./рік	3470
2.	Трудомісткість виробничої програми (T_p), нормо-год.	14716
3.	Цехова собівартість деталі, грн.	295,42
4.	Собівартість товарної продукції цеху (C_{mn}), тис. грн./рік	1363,4
5.	Чисельність основних робітників, осіб	8
6.	Виробіток продукції на одного робітника, нормо-год.	1840
7.	Матеріаломісткість продукції, %	37,5
8.	Зарплатомісткість продукції, %	9,6
9.	Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу ΔT_p , %	82,9
10.	Економія від зниження технологічної собівартості механічної обробки деталі, грн/рік	35626
11.	Річний економічний ефект від застосування проектного варіанту техпроцесу E_p , грн.	-5914

Література

1. https://sensorsandgauges.com/pages/force-sensor-gripper-precision-control-for-robotic-manipulation?srsId=AfmBOoptcGCOUOwrhfAFEng9uJZ5U_rs7P7AUNseyW7nwRIclWvvSTGC&utm_source=chatgpt.com "Force Sensor Gripper | Precision Control for Robotic ..."
2. https://ati.novanta.com/robotic-force-control-solutions-made-easier/?utm_source=chatgpt.com "Robotic Force Control Solutions Made Easier"
3. https://scispace.com/pdf/force-control-for-a-3-finger-adaptive-robot-gripper-by-using-wthrgxluam.pdf?utm_source=chatgpt.com "force-control-for-a-3-finger-adaptive-robot-gripper-by-using ..."
4. https://blog.robotiq.com/bid/53319/Robot-Gripper-Force-Control?utm_source=chatgpt.com "Robot Gripper Force Control"
5. https://en.pm-instrumentation.com/robotic-grip-force-measurement?utm_source=chatgpt.com "Robotic grip force measurement"
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.

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