

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 сил затиску захоплювальних
пристроїв роботів при їх горизонтальній
орієнтації»**

**«Research on the force loads of robot gripping
devices in machine tool complexes»**

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

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
Сергія БУРЯКА**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження сил затиску захоплювальних пристроїв
роботів при їх горизонтальній орієнтації

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:

дослідження ефективності інтеграції промислових роботів у виробничий процес на прикладі виготовлення деталі спецгайка. Основну увагу зосереджено на обґрунтуванні доцільності використання промислового робота на окремій технологічній операції з подальшим підтвердженням прийнятого рішення шляхом економічних розрахунків.

Завдання:

- визначити ключові аспекти ефективності впровадження промислових роботів у виробничі процеси.
- розробити технологічну операцію з інтеграцією промислового робота.
- провести економічне оцінювання доцільності використання робота.
- виконати силовий розрахунок з метою оптимізації роботи захватного пристрою.
- сформулювати узагальнюючі висновки та практичні рекомендації.

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 _____ Сергій БУРЯК
(підпис)

АНОТАЦІЯ

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

Буряка Сергія Сергійовича

Кваліфікаційну роботу виконано відповідно до теми «Дослідження сил затиску захоплювальних пристроїв роботів при їх горизонтальній орієнтації». Робота складається з пояснювальної записки обсягом ____ аркушів та графічної частини, яка містить 8 листів формату А4.

У процесі виконання роботи здійснено аналіз базового технологічного процесу механічної обробки, за результатами якого обґрунтовано доцільність переходу від традиційного обладнання до верстатів з числовим програмним керуванням. Використання ЧПК-обладнання дозволяє підвищити продуктивність обробки, покращити точність виготовлення деталей та зменшити вплив людського фактора.

Відповідно до поставленої тематики проведено дослідження силових навантажень, що виникають у захватному пристрої промислового робота під час його роботи у складі роботизованого верстатного комплексу. Розроблено розрахункові схеми для визначення сил затиску, отримано аналітичні залежності, побудовано відповідні графіки та сформульовано практичні рекомендації щодо вибору параметрів захватних пристроїв.

Графічна частина роботи включає схеми механічної обробки, результати аналізу базового та модернізованого технологічних процесів, а також ілюстративні матеріали, що відображають основні науково-технічні аспекти проведеного дослідження.

Запропоновані технічні рішення та зміни технологічного процесу підтверджені інженерними розрахунками і мають економічне обґрунтування, що свідчить про доцільність їх впровадження у виробничу практику.

Ключові слова: промислові роботи, захватні пристрої, сили затиску, технологічний процес.

ABSTRACT

of the graduation qualification thesis of the student of group PM-24M-3

Buriak Serhii Serhiiovych

The qualification thesis was carried out in accordance with the topic *“Investigation of Clamping Forces of Robot Gripping Devices in Their Horizontal Orientation.”* The thesis consists of an explanatory note of ____ pages and a graphical part comprising 8 A4 sheets.

In the course of the work, an analysis of the basic mechanical machining process was conducted, based on which the feasibility of transitioning from conventional equipment to computer numerical control (CNC) machines was substantiated. The use of CNC equipment makes it possible to increase machining productivity, improve the accuracy of part manufacturing, and reduce the influence of the human factor.

In accordance with the stated topic, a study of the force loads arising in the gripping device of an industrial robot during its operation as part of a robotic machining complex was carried out. Calculation schemes for determining clamping forces were developed, analytical relationships were obtained, relevant graphs were constructed, and practical recommendations for selecting the parameters of gripping devices were formulated.

The graphical part of the thesis includes mechanical machining schemes, the results of analysis of the basic and modernized technological processes, as well as illustrative materials reflecting the main scientific and technical aspects of the conducted research.

The proposed technical solutions and changes to the technological process are confirmed by engineering calculations and have economic justification, which indicates the feasibility of their implementation in production practice.

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

Зміст

	Вступ	7
1.	Загальна частина	
1.1.	Постановка задачі та методи її вирішення	8
1.2.	Роботизовані верстатні комплекси. Основні визначення	10
2.	Дослідна частина	
2.1.	Загальна методика визначення сил затиску в захватних пристроях роботів	21
2.2.	Дослідження сил затиску для циліндричних деталей	25
2.3.	Визначення мінімально необхідних сил затиску	33
2.4.	Залежності сил затиску від конструктивних параметрів захватних пристроїв роботів	45
3.	Технологічна частина	
3.1.	Аналіз точності та технологічності заданої деталі	51
3.2.	Аналіз діючого технологічного процесу	54
3.3.	Вибір заготовок та способу їх виготовлення	57
3.4.	Вибір методів та маршрутів обробки поверхонь деталі	59
3.5.	Розробка маршрутів виготовлення деталі	64
3.6.	Вибір технологічних баз	68
3.7.	Розробка структури та змісту технологічних операцій	69
3.8.	Вибір затискних пристроїв	80
3.9.	Вибір ріжучих інструментів	81
3.10.	Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів	82
3.11.	Визначення припусків та операційних розмірів деталі	84
3.12.	Визначення режимів різання	90
3.13.	Технічне нормування операцій	98
4.	Економічна частина	
4.1.	Загальні вихідні дані	67
4.2.	Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки)	68
4.3.	Розрахунок показників економічної ефективності	73
	Література	78

Вступ

Автоматизоване виробництво є одним із визначальних напрямів розвитку сучасної промисловості, оскільки забезпечує зростання продуктивності, підвищення якості продукції та оптимізацію виробничих процесів. Його функціонування ґрунтується на взаємодії апаратних і програмних засобів, що формують єдину виробничу систему.

Переваги автоматизації виробництва. Впровадження автоматизованих систем у виробничі процеси забезпечує низку суттєвих переваг: підвищення продуктивності - скорочення тривалості технологічних операцій і мінімізація простоїв обладнання; покращення якості продукції - висока точність і повторюваність операцій зменшують кількість дефектів та забезпечують стабільність параметрів; зниження виробничих витрат - оптимізація використання матеріалів і ресурсів, а також скорочення частки ручної праці; підвищення рівня безпеки праці - передавання небезпечних і шкідливих операцій автоматизованим системам; підвищення гнучкості виробництва - швидка адаптація до зміни номенклатури продукції та виробничих обсягів.

Автоматизоване виробництво є важливим чинником підвищення конкурентоспроможності сучасних промислових підприємств. Попри значні початкові інвестиції та складність інтеграції, впровадження автоматизованих систем забезпечує довгострокове зростання ефективності, стабільності та адаптивності виробничих процесів.

1. Загальна частина

1.1. Постановка задачі та методи її вирішення

Мета роботи. Метою кваліфікаційної роботи є дослідження ефективності інтеграції промислових роботів у виробничий процес на прикладі виготовлення деталі спецгайка. Основну увагу зосереджено на обґрунтуванні доцільності використання промислового робота на окремій технологічній операції з подальшим підтвердженням прийнятого рішення шляхом економічних розрахунків.

Актуальність теми. Промислові роботи є невід’ємною складовою сучасних автоматизованих виробництв і забезпечують виконання широкого спектра технологічних операцій, суттєво підвищуючи ефективність функціонування підприємств. Основні напрями застосування промислових роботів охоплюють:

1. Автоматизацію виробничих процесів: складання вузлів і виконання високоточних операцій збирання механічних та електромеханічних систем; зварювання з гарантованою стабільністю якості зварних швів; фарбування з рівномірним нанесенням покриттів, мінімізацією відходів і покращенням якості поверхні.

2. Підвищення продуктивності та ефективності: забезпечення безперервного режиму роботи; зменшення рівня браку завдяки високій точності позиціонування та повторюваності операцій.

3. Скорочення виробничих витрат: оптимізація витрат на робочу силу в довгостроковій перспективі; раціональне використання матеріалів завдяки точному контролю параметрів обробки.

4. Поліпшення умов праці: виконання роботом операцій, пов’язаних із підвищеним ризиком для персоналу; можливість роботи у важкодоступних, токсичних або екстремальних середовищах.

5. Підвищення гнучкості виробництва: швидке переналагодження обладнання для виконання нових виробничих завдань; адаптація до змін попиту та номенклатури продукції.

6. Моніторинг і контроль якості: автоматизований контроль параметрів технологічних процесів; використання систем збору та аналізу даних для оптимізації виробничих режимів.

Інтеграція промислових роботів у машинобудівне виробництво сприяє підвищенню техніко-економічних показників, конкурентоспроможності підприємств і стабільності технологічних процесів.

Об'єкт і предмет дослідження. **Об'єкт дослідження:** промислові роботи, роботизовані технологічні комплекси та захватні пристрої. **Предмет дослідження:** технічна ефективність і економічні передумови використання промислових роботів, а також раціональність застосування захватних пристроїв у виробничих процесах.

Завдання роботи. Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено вирішення таких завдань:

1. Визначити ключові аспекти ефективності впровадження промислових роботів у виробничі процеси.
2. Розробити технологічну операцію з інтеграцією промислового робота.
3. Провести економічне оцінювання доцільності використання робота.
4. Виконати силовий розрахунок з метою оптимізації роботи захватного пристрою.
5. Сформулювати узагальнюючі висновки та практичні рекомендації.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених завдань використано методи обчислювальної математики, теорії автоматичного керування, робототехнічних систем, а також положення теоретичної й прикладної механіки.

Наукова новизна. Наукова новизна роботи полягає в комплексному аналізі технічної та економічної ефективності інтеграції промислового робота у виробничий процес, а також у дослідженні силових характеристик захватних пристроїв як одного з ключових чинників підвищення технологічної надійності та продуктивності.

Практична цінність. Розроблена методика дозволяє визначати мінімально допустимі сили затиску для надійного утримування деталей, оптимізувати конструкцію та масо-габаритні параметри захватних пристроїв, забезпечуючи як економічну, так і технічну ефективність виробництва.

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

1.2. Захоплювальні пристрої роботів. Основні типи. Будова

Захоплювальні пристрої (захвати) є ключовим елементом кінцевого оснащення маніпулятора промислового робота (EOAT, end-effector), оскільки саме вони забезпечують безпосередній контакт робота з об'єктом маніпулювання та визначають стабільність утримання, точність позиціонування, швидкодію і загальну надійність автоматизованої операції. Згідно з ISO 8373, end-effector — це пристрій, спеціально призначений для приєднання до механічного інтерфейсу робота з метою виконання його завдання, а gripper (захват) — це end-effector, призначений для захоплення та утримання об'єкта.

У сучасних роботизованих системах захоплювальні пристрої застосовуються практично в усіх типових виробничих сценаріях: pick-and-place, завантаження/розвантаження верстатів (machine tending), комплектація, палетування, орієнтація деталей перед складанням, переміщення тонколистових заготовок, деталей зі складною геометрією або з підвищеними вимогами до чистоти поверхні. У багатьох випадках саме правильний вибір типу захвата дозволяє зменшити брак (через пошкодження або прослизання деталі), підвищити повторюваність позиціонування та скоротити допоміжний час на переналагодження.

Основні типи захоплювальних пристроїв промислових роботів. На практиці захоплювальні пристрої доцільно класифікувати за принципом утримання деталі та за типом приводу. **Механічні (силові) захвати:**

найпоширеніший клас, у якому утримання деталі здійснюється за рахунок затискної сили між пальцями/губками. Типовий приклад — паралельний двогубковий захват (див. рис. 2.1), у якому пальці зберігають паралельність під час відкривання/закривання, що є зручним для деталей прогнозованої геометрії та стандартних операцій pick-and-place.

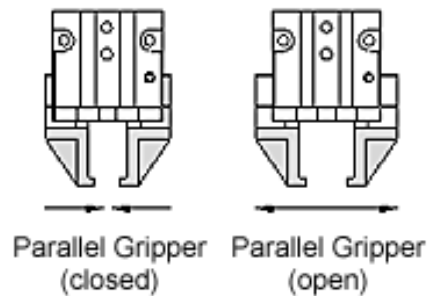


Рис.2.1. Паралельний захватний пристрій

Також існують: паралельні, кутові, радіальні, трипальцеві/багатопальцеві, самоустановні, а також адаптивні конструкції (приспособуються до форми деталі — рис.2.2).

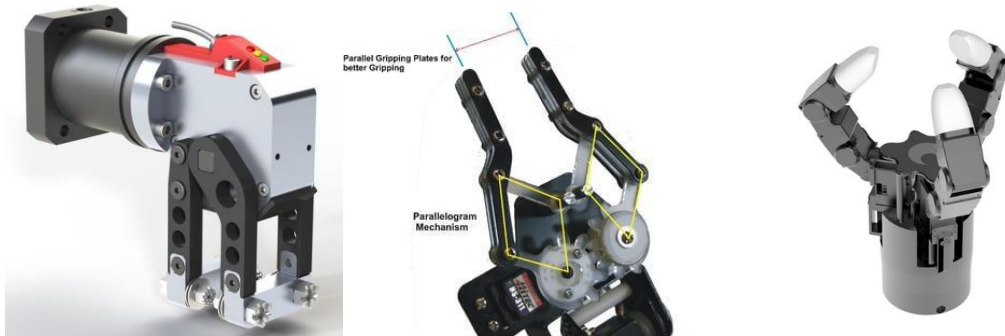


Рис.2.2. Різновиди захватних пристроїв

Вакуумні захвати. Утримання забезпечується розрідженням у присосках або вакуумних каналах (див. рис. 2.3). Вакуумні системи ефективні для плоских/гладких поверхонь (скло, листовий метал, картон, пакування), а також у задачах, де небажаний високий контактний тиск. У технічній літературі вакуумні захвати розглядаються як з'єднувальний елемент між машиною та заготовкою для піднімання і транспортування різних об'єктів.



Рис.2.3. Вакуумний захватний пристрій

Магнітні захвати. Призначені для маніпулювання феромагнітними матеріалами (сталь тощо) без механічного затиску (див. рис. 2.4). Це особливо корисно для тонколистових деталей, штампованих елементів, заготовок із технологічними отворами/краями, де вакуум може бути нестабільним, а механічний затиск — ризикованим через деформації.



Рис.2.4. Магнітний захватний пристрій

Спеціалізовані захвати (за потреби процесу). До них належать м'які (soft) захвати для делікатних виробів, Bernoulli-захвати для тонких листів/плівок, клейові/адгезійні рішення, комбіновані системи (наприклад, механіка + вакуум), а також швидкозмінні інструментальні системи, що дозволяють роботу автоматично змінювати ЕОАТ під різні операції.

Типові приводи захоплювальних пристроїв. За приводом захвати найчастіше поділяють на:

- пневматичні (простота, висока швидкодія, поширені у двогубкових захватах);
- електричні (точне керування силою/ходом, зручна інтеграція з датчиками та контролерами);

- гідравлічні (високі зусилля для важких режимів, але складніші в обслуговуванні).

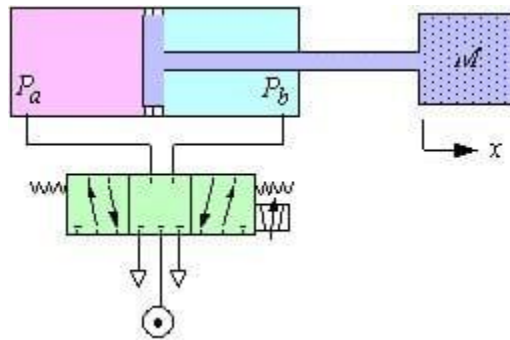


Рис.2.5. Пневмопривод захватного пристрою

Вибір приводу визначається масою і геометрією деталі, вимогами до сили затиску, швидкості циклу, наявністю пневмомережі/гідростанції та вимогами до чистоти робочої зони.

Будова (структура) захоплювальних пристроїв. Незалежно від принципу утримання, більшість захоплювальних пристроїв мають подібну модульну структуру:

1. Механічний інтерфейс приєднання до робота. Фланцеве кріплення/перехідна плита (tooling plate), яке забезпечує жорсткість, співвісність і повторюваність установлення end-effector на зап'ясті робота. У промисловості поширені стандартизовані приєднувальні інтерфейси (зокрема згадані в ISO 8373 через посилання на ISO 9409).

2. Корпус та силова/кінематична частина. Для механічних захватів це, як правило, корпус із напрямними, передавальним механізмом (клин, важіль, зубчаста рейка тощо) та рухомими губками/пальцями. Для адаптивних і багатопальцевих — додаткові шарніри, синхронізатори, пружні елементи або диференціальні механізми.

3. Робочі органи (пальці, губки, накладки, присоски, магнітні полюси). Контактні елементи часто виконують змінними, щоб адаптувати захват під конкретну деталь: змінні накладки, м'які вставки, спеціальні губки під профіль, присоски різної форми (плоскі/гофровані), магнітні контактні поверхні тощо. Це прямо впливає на контактний тиск, тертя, знос і стабільність утримання.

4. Система енергоносія та керування. Для пневматики: підвід стисненого повітря, розподільники, дроселі, датчики тиску; для вакууму: вакуум-генератор/насос, клапани, фільтри, датчики вакууму; для електрозахватів: привід (серводвигун/привідний модуль), контролер, інтерфейси зв'язку.

5. Сенсорика та зворотний зв'язок (за потреби). Датчики положення губок, контролю сили затиску, вакууму, а також інтеграція із системами технічного зору. Сенсорика дає змогу реалізувати “розумне” захоплення: підтвердження факту деталі в захваті, компенсацію розмірних розбіжностей, контроль прослизання та адаптацію сили під матеріал/тонкостінність.

Приклади застосування за типами. Паралельні механічні захвати — типові pick-and-place та складання деталей сталої форми (рис.2.1). Вакуумні захвати — пакування, листові матеріали, деталі з великою площею контакту (рис. 3.2). Магнітні захвати — переміщення сталевих заготовок/штампів без затиску (рис. 2.4). Адаптивні/багатопальцеві — деталі змінної геометрії, задачі з широкою номенклатурою виробів (рис. 2.2).

2. Дослідна частина

2.1. Структурні особливості компоновки конструкцій захоплювальних пристроїв

Першим і визначальним етапом у вирішенні поставленого науково-технічного завдання є визначення особливостей структури силових навантажень, що виникають у захватних пристроях промислових роботів під час утримування та транспортування деталей. Саме структура сил визначає надійність затиску, точність позиціонування деталі, допустимі режими руху робота та умови безпечної експлуатації захватного механізму.

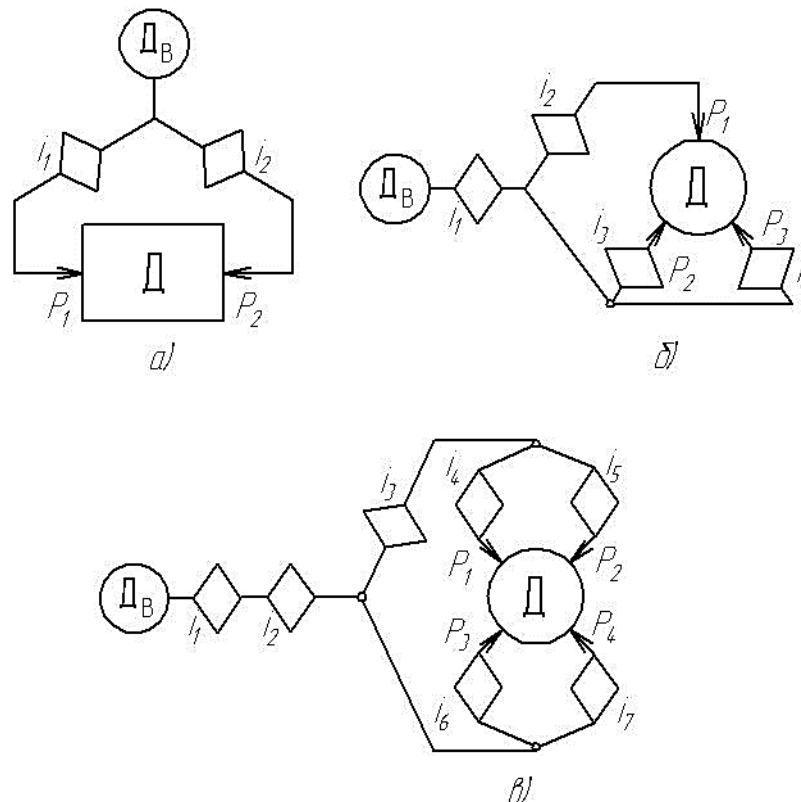
Захватні пристрої промислових роботів характеризуються значною різноманітністю конструктивних виконань, що обумовлено формою, масою, жорсткістю та технологічним призначенням утримуваних деталей. Відповідно, існує велика множина можливих структурних схем, які відрізняються кількістю точок контакту, кінематичною будовою та способом передавання зусиль від приводу до затискних елементів.

У будь-якому захватному пристрої силове навантаження формується як результат передавання енергії від привідного двигуна (ДВ) через систему механічних передач із відповідними передавальними відношеннями і до затискних елементів. У загальному випадку можна виділити такі складові силової структури:

- привідна сила або момент, що створюється електричним, пневматичним чи гідравлічним приводом;
- передавальні зусилля, що виникають у важелях, зубчастих, гвинтових або кулачкових механізмах;
- затискні сили P_i , прикладені безпосередньо до поверхні деталі;
- реакції опор і контактні сили, які визначають напружений стан деталі та елементів захвату.

Кількість і напрямки сил P_i залежать від числа точок затиску, їх просторового розташування та схеми базування деталі.

На рис. 2.1 наведено характерні приклади структурних схем захватних пристроїв, які ілюструють вплив кількості точок затиску на структуру силових навантажень.



- а) –схема для двоточкового захватного пристрою;
 б) –схема для три точкового захватного пристрою;
 в) –схема для чотириточкового захватного пристрою.

Рис. 2.1. Структурні схеми захватних пристроїв

Схема а) відповідає захватному пристрою з двома точками затиску. У такій схемі утримування деталі забезпечується парою протилежно спрямованих сил P_1 та P_2 . Подібна структура є кінематично простою, однак чутливою до:

- зміни коефіцієнта тертя;
- зміщення центра мас деталі;
- динамічних навантажень під час руху робота.

Тому двоточкові схеми, як правило, застосовуються для деталей простої форми з достатньою жорсткістю.

Схема б) реалізує триточковий затиск, у якому деталь утримується силами P_1 , P_2 та P_3 . Така схема забезпечує:

- підвищену стійкість деталі;
- можливість компенсації ексцентриситету навантаження;
- зменшення вимог до величини кожної окремої сили затиску.

Водночас у цій схемі зростає складність силового аналізу, оскільки виникає необхідність урахування розподілу сил між кількома контактними зонами.

Схема в) відповідає багатоточковому захвату, де деталь утримується чотирма і більше затискними елементами. У таких захватах силове навантаження розподіляється більш рівномірно, що особливо важливо для:

- тонкостінних і прецизійних деталей;
- деталей зі складною геометрією;
- операцій, пов'язаних із високими прискореннями робота.

Однак багатоточкові схеми вимагають точного узгодження кінематики механізму, інакше можливе виникнення перерозподілу сил і локальних перевантажень.

Передавання руху від приводу (ДВ) до затискних елементів здійснюється через систему проміжних передач із передавальними відношеннями $i_1, i_2, \dots, i_n$. Значення цих передавальних відношень безпосередньо впливають на:

- величину сил затиску;
- чутливість механізму до люфтів і деформацій;
- співвідношення між швидкістю спрацювання захвату та створюваним зусиллям.

Таким чином, структура силових навантажень є результатом взаємодії приводу, кінематичної схеми та умов контакту з деталлю, і не може розглядатися ізольовано від конструкції захватного пристрою.

Отже, визначення особливостей структури силових навантажень є базовим етапом дослідження захватних пристроїв промислових роботів. Аналіз показує, що:

- кількість точок затиску істотно впливає на розподіл сил і надійність утримування деталі;

- ускладнення кінематичної структури підвищує адаптивність захвату, але водночас ускладнює силовий розрахунок;
- передавальні відношення механізму є ключовим фактором формування затискних зусиль.

Отримані положення є вихідними для подальшого аналітичного визначення сил затиску, побудови розрахункових схем і формування рекомендацій щодо вибору конструкції захватного пристрою при його горизонтальній орієнтації.

2.2. Типові умови затиску деталі захоплювальними пристроями та розрахунок сил затиску

Другим етапом у вирішенні поставленого завдання є визначення мінімально необхідних сил затиску, які забезпечують надійне утримування деталі в призматичному захватному пристрої за найбільш характерних варіантів його просторового розміщення. У межах даної роботи як базовий розглядається випадок вертикального розміщення захвату, оскільки саме він є найбільш навантаженим з точки зору дії сили ваги та інерційних складових.

При побудові розрахункової моделі необхідно враховувати не лише геометрію захватного механізму, а й реальні умови контакту деталі з затискними елементами, зокрема кількість точок контакту, напрямки прикладання сил і можливість виникнення сил тертя.

Найбільш сприятливим з точки зору силового балансу є варіант затиску, за якого вершини призматичних затискних елементів співпадають з віссю симетрії деталі (рис. 2.2, а).

У такому випадку забезпечується:

- симетричний розподіл контактних сил;
- мінімальні контактні напруження;
- відсутність додаткових моментів, що спричиняють перекіс деталі.

Цей варіант приймається як початковий (номінальний), а відповідний діаметр деталі вважається номінальним D_n .

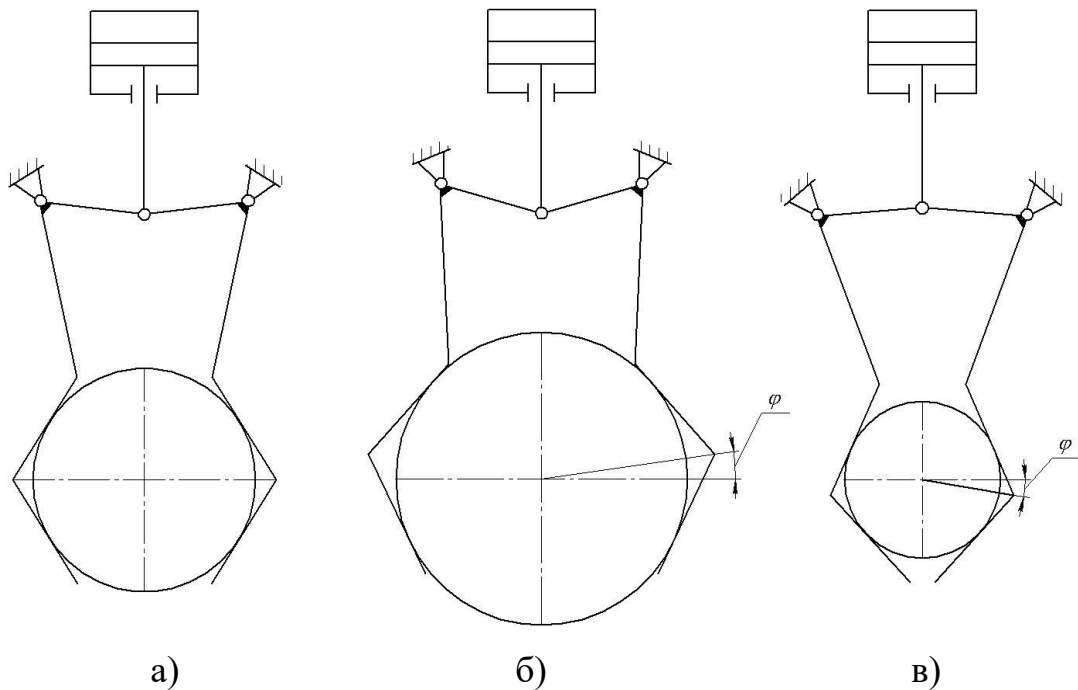


Рис. 2.2. Типові умови затиску деталі

Промислові роботи та їх захватні пристрої належать до універсальних засобів автоматизації, тому на практиці захват може працювати з деталями різних діаметрів — від $D_{\min}$ до $D_{\max}$. Крім того, у реальному виробничому циклі можливі ситуації, коли:

- захват бере заготовку одного діаметра;
- після механічної обробки деталь має вже інший розмір;
- умови контакту з призматичними елементами змінюються.

У результаті цього виникають інші схеми затиску, показані на рис. 2.2, б та 2.2, в. Для їх опису вводиться кут φ , який характеризує зміщення вершини призми відносно осі симетрії деталі. Саме поява цього кута принципово змінює структуру силових навантажень і вимагає окремого розрахунку.

З урахуванням наведених умов формується узагальнена розрахункова схема затиску деталі (рис. 2.3), у якій враховано такі силові фактори:

- G — сила ваги деталі;
- I — сила інерції, що виникає під час руху робота;
- α — кут призми;
- β — кут напрямку дії сили інерції;

- φ — кут зміщення вершини призми;
- P_1, P_2, P_3, P_4 — сили затиску в контактних точках;
- F_1, F_3 — сили тертя між деталлю та призматичними елементами.

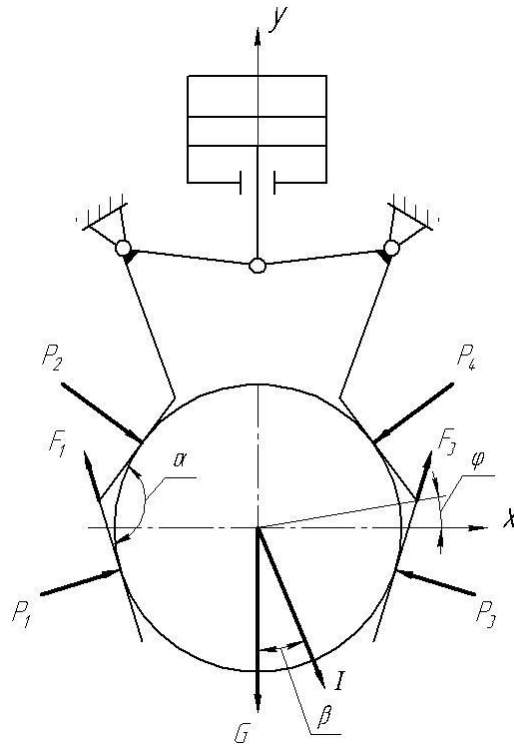


Рис.2.3. Розрахункова схема

Для визначення сил затиску використовується умова рівноваги деталі. Оскільки деталь у площинній постановці задачі може бути описана двома рівняннями рівноваги:

$$\sum P_X = 0, \quad \sum P_Y = 0,$$

а кількість невідомих сил затиску дорівнює чотирьом, задача є статично невизначеною. Тому вводиться додаткова умова — визначення мінімально необхідних сил затиску, за яких деталь перебуває у граничному стані рівноваги, тобто на межі можливого «вибивання» із захвату.

Другим принципово важливим моментом є урахування сил тертя, які включаються в рівняння лише за умови їх реального виникнення. Для розглянутого випадку такими силами є:

$$F_1 = fP_1'', \quad F_3 = fP_3'',$$

де f — коефіцієнт тертя між деталлю та затискними елементами.

З урахуванням наведених припущень система рівнянь рівноваги набуває вигляду:

$$\begin{aligned}\sum P_x &= I \sin \beta - P_3' \sin(\alpha/2 + \varphi) - P_4' \sin(\alpha/2 - \varphi) = 0, \\ \sum P_y &= -G - I \cos \beta + P_1'' \cos(\alpha/2 + \varphi) + P_3'' \cos(\alpha/2 + \varphi) + F_1 \sin(\alpha/2 + \varphi) + \\ &\quad + F_3 \sin(\alpha/2 + \varphi) = 0,\end{aligned}$$

Для спрощення розв'язання приймається додаткова умова рівності вертикальних складових P_3' та P_4' , які взаємно зрівноважують систему через затиснуту деталь.

У результаті розв'язання системи рівнянь отримуються вирази для мінімально необхідних сил затиску:

$$\begin{aligned}P_1 &= \frac{G + I \cos \beta}{2[\cos(\alpha/2 + \varphi) + f \cdot \sin(\alpha/2 + \varphi)]} \\ P_2 &= 0 \\ P_3 &= P_3' + P_3'' = \frac{G + I \cos \beta}{2[\cos(\alpha/2 + \varphi) + f \cdot \sin(\alpha/2 + \varphi)]} + \\ &\quad \frac{I \sin \beta \cdot \cos(\alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi) \cdot \sin(\alpha/2 + \varphi) + \cos(\alpha/2 + \varphi) \cdot \sin(\alpha/2 - \varphi)} = \\ &= \frac{I \sin \beta \cdot \cos(\alpha/2 - \varphi)}{\sin \alpha} + \frac{G + I \cos \beta}{2[\cos(\alpha/2 + \varphi) + f \cdot \sin(\alpha/2 + \varphi)]}, \\ P_4 &= \frac{I \sin \beta \cdot \sin(90 - \alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi) \cdot \sin(\alpha/2 + \varphi) + \cos(\alpha/2 + \varphi) \cdot \sin(\alpha/2 - \varphi)} = \\ &= \frac{I \sin \beta \cdot \cos(\alpha/2 + \varphi)}{\sin \alpha},\end{aligned}$$

Для номінального випадку ($\varphi=0$) сили затиску спрощуються і набувають вигляду:

$$\begin{aligned}P_1 &= \frac{G + I \cos \beta}{2(\cos \alpha/2 + f \cdot \sin \alpha/2)}, \\ P_2 &= 0; \\ P_3 &= \frac{G + I \cos \beta}{2(\cos \alpha/2 + f \cdot \sin \alpha/2)} + \frac{I \sin \beta \cdot \cos \alpha/2}{\sin \alpha},\end{aligned}$$

$$P_4 = \frac{I \sin \beta \cdot \cos \alpha / 2}{\sin \alpha},$$

Проведений аналіз показує, що:

- мінімальні сили затиску істотно залежать від кута φ , який визначається відхиленням діаметра деталі від номінального;
- номінальна схема затиску є найбільш енергетично вигідною, але не охоплює всіх практичних випадків;
- урахування сил тертя є обов'язковим для коректного визначення граничних умов утримування деталі;
- отримані залежності створюють основу для подальшого аналізу впливу геометричних і кінематичних параметрів захватного пристрою на надійність затиску.

2.3. Розрахунок сил затиску деталі при горизонтальній орієнтації пристрою

Для обґрунтування результатів силового розрахунку розглянемо конструктивну будову розробленого захватного пристрою промислового робота (рис.2.4).

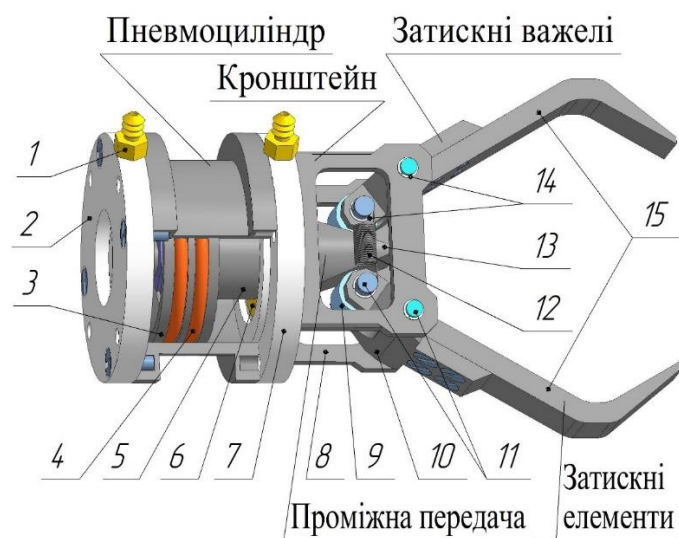


Рис.2.4. Будова захватного пристрою:

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

Запропонована конструкція відрізняється підвищеною ефективністю та оптимізованими масо-габаритними характеристиками, що досягнуто завдяки попередньо виконаному точному силовому аналізу та раціональному підбору приводу.

Захватний пристрій містить такі основні елементи: пневмоциліндр із поршнем та штоком, систему ущільнень, кронштейн, проміжну передавальну ланку, затискні важелі з роликами та клиновий механізм, який забезпечує синхронне прикладання сил до затискних елементів. Наявність пружини розтиску дозволяє реалізувати гарантоване розкриття захвату після зняття тиску в приводі, що підвищує надійність роботи механізму.

Загалом конструкція захвату є компактною, технологічною та пристосованою до інтеграції у роботизований верстатний комплекс.

Для проведення силового аналізу складено розрахункову схему захватного пристрою при горизонтальній орієнтації (рис. 2.5).

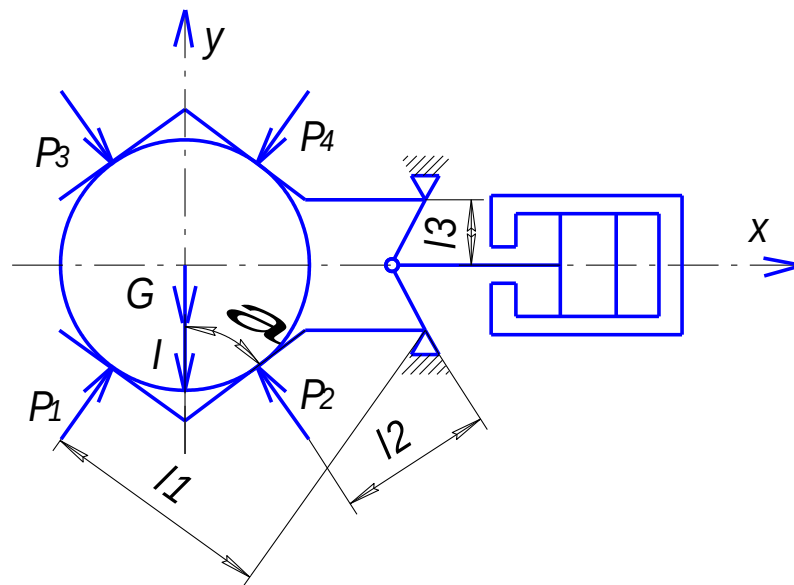


Рис.2.5. Розрахункова схема захвата робота при дії сили інерції вниз

У цьому випадку вісь деталі розташована горизонтально, а найбільш небезпечним режимом є вертикальний рух захвату вгору, за якого виникає сила інерції I , напрямлена вниз.

На деталь діють такі основні сили:

- G — сила ваги деталі, напрямлена вертикально вниз;

- I — сила інерції, що виникає під час прискореного руху захвату;
- P_1, P_2, P_3, P_4 — сили затиску, прикладені через призматичні затискні елементи;

- α — половина кута призми затискного елемента;
- l_1, l_2 — плечі прикладання сил затиску;
- l_3 — плече дії сили від штока пневмоциліндра до точки качання важеля.

Метою силового розрахунку є **визначення мінімально необхідних сил затиску**, за яких деталь гарантовано утримується в захваті при заданих навантаженнях.

Для цього всі сили проектуються на осі координат.

Проекції на вісь ОХ

Проекції сил затиску на вісь ОХ взаємно компенсуються завдяки симетрії конструкції та рівності сил:

$$P_1^x = P_2^x,$$

$$P_1^x \cdot \cos \alpha - P_2^x \cdot \cos \alpha = 0$$

де α — половина кута призми

Проекції на вісь ОУ

За віссю ОУ на деталь діють:

- сила ваги G ;
- сила інерції I ;
- вертикальні складові сил затиску.

З урахуванням симетрії:

$$P_1^y = P_2^y,$$

а рівняння рівноваги має вигляд:

$$P_1^y \cdot \sin \alpha + P_2^y \cdot \sin \alpha - I - G = 0$$

звідки визначається сила затиску одного елемента:

$$2P \cdot \sin \alpha = I + G$$

Далі визначимо сили $P_1 = P_2 = P$.

$$P = \frac{I + G}{2 \cdot \sin \alpha}$$

Оскільки сили затиску формуються за рахунок зусилля пневматичного приводу, наступним етапом є визначення **зусилля на штоці пневмоциліндра**. Для цього складається рівняння рівноваги моментів відносно осі повороту важеля:

$$Q \cdot l_3 = P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2 = P(l_1 + l_2)$$

звідки:

$$Q = \frac{P(l_1 + l_2)}{l_3}$$

З іншого боку, зусилля на штоці циліндра визначається через параметри приводу:

$$Q = p \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right)$$

де:

- D — діаметр пневмоциліндра;
- d — діаметр штока;
- p — робочий тиск у приводі.

Прирівнюючи ці вирази, можна визначити необхідний діаметр пневмоциліндра для забезпечення заданих сил затиску.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p(1-k)}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot P(l_1 + l_2)}{\pi \cdot p(1-k) \cdot l_3}} = \sqrt{\frac{4(I + G) \cdot (l_1 + l_2)}{2 \sin \alpha \pi p(1-k) \cdot l_3}} = \sqrt{\frac{2(I + G) \cdot (l_1 + l_2)}{\sin \alpha \pi \cdot p(1-k) l_3}}$$

Сила інерції визначається за класичною залежністю:

$$I = ma,$$

де прискорення руху захвату приймається як частка прискорення вільного падіння:

$$a = qg$$

З урахуванням цього остаточною формула для визначення діаметра циліндра може бути записана в узагальненому вигляді з введенням безрозмірних коефіцієнтів:

$$D = \sqrt{\frac{2G(1+q) \cdot (l_1 + l_2)}{\sin \alpha \pi \cdot p(1-k)l_3}}$$

- i — передавальне відношення проміжних передач;
- kI — коефіцієнт інерційного навантаження;
- k_p — коефіцієнт, що враховує особливості приводу.

Проведений силовий аналіз показує, що **сили затиску безпосередньо залежать від параметрів приводу захватного пристрою**. Точний розрахунок дозволяє раціонально підібрати діаметр пневмоциліндра та робочий тиск, уникаючи надлишкового запасу міцності.

Оптимізація сил затиску та параметрів приводу дає змогу:

- зменшити масу та габарити захватного пристрою;
- знизити інерційність виконавчого органу робота;
- підвищити допустимі прискорення рухів;
- забезпечити зростання продуктивності та точності виконання допоміжних операцій у технологічному процесі.

Таким чином, розроблена методика силового розрахунку є ефективним інструментом для інженерного проектування захватних пристроїв промислових роботів при горизонтальній орієнтації.

2.4. Дослідження залежностей сил затиску від конструктивних особливостей пристрою та умов затиску

На величину сил затиску P_1, P_2, P_3, P_4 впливають зовнішні силові фактори та конструктивні параметри захватного пристрою. До основних зовнішніх чинників належать сила тяжіння G та сила інерції I , напрямок якої може змінюватися залежно від режимів руху робота. Окрім цього, істотний вплив на формування затискних зусиль мають геометричні характеристики захвату.

Аналіз конструктивних параметрів захватного пристрою показує, що визначальними для величини сил затиску є такі кути:

1. Кут призми α — визначає геометрію контактної взаємодії між затискними елементами та утримуваною деталлю. Зміна величини α призводить до перерозподілу нормальних і тертьових складових сил затиску. Зменшення кута α збільшує нормальну складову контактних сил, що підвищує стійкість утримування деталі, однак може спричиняти зростання сил тертя та необхідних зусиль затиску.

2. Кут напрямку сили інерції β — характеризує просторове положення сили інерції I відносно сили тяжіння G . Значення кута β безпосередньо впливає на умови рівноваги системи, оскільки змінює співвідношення вертикальних і горизонтальних складових інерційного навантаження, що, у свою чергу, визначає необхідний рівень затискних сил.

При зміні кута β характер навантаження на захватний пристрій істотно змінюється. Так, при $\beta=0^\circ$ сила інерції спрямована паралельно силі тяжіння G , що призводить до переважно вертикального навантаження і, як правило, не викликає суттєвого збільшення вимог до сил затиску. Натомість при $\beta=90^\circ$ сила інерції діє перпендикулярно до сили тяжіння, утворюючи додаткову горизонтальну складову, яка підвищує вимоги до величини затискних сил для забезпечення стійкого утримування деталі.

Таким чином, конструктивні параметри захватного пристрою, зокрема кут призми α та кут напрямку сили інерції β , істотно впливають на формування сил затиску. Їх обґрунтований вибір є критично важливим для забезпечення надійного утримування деталі та оптимізації роботи захватного пристрою в умовах одночасної дії сили тяжіння та інерційних навантажень.

Побудуємо 3 графіки (рис.2.6, 2.7 та 2.8) впливу на найбільш навантажену мінімальну силу затиску P (на 1 контакт), для горизонтально орієнтованого призматичного захвату. Це та сила, яка сприймає дію сили інерції.

Модель (для 4 точок контакту, граничне ковзання вниз):

$$P(\alpha, \beta, \varphi) = \frac{G + I \cos \beta}{4 f \cos \alpha \cos \varphi},$$

де α — половина кута призми,

β — кут напрямку сили інерції,

φ — кут зміщення вершини призми,

f — коефіцієнт тертя,

G — вага,

I — інерційна сила (використано прикладні значення $G=100$ Н, $I=50$ Н $f=0.2$).

- P від α (при $\beta=0^\circ$, $\varphi=0^\circ$): з ростом α P зростає (бо $\cos\alpha$ зменшується).
- P від β (при $\alpha=30^\circ$, $\varphi=0^\circ$): P максимальна при $\beta=0^\circ$ (інерція додається до ваги) і мінімальна при $\beta=180^\circ$ (інерція “підпирає” деталь).
- P від φ (при $\alpha=30^\circ$, $\beta=0^\circ$): з ростом φ P зростає (бо $\cos\varphi$ зменшується $\rightarrow$ гірші умови утримування).

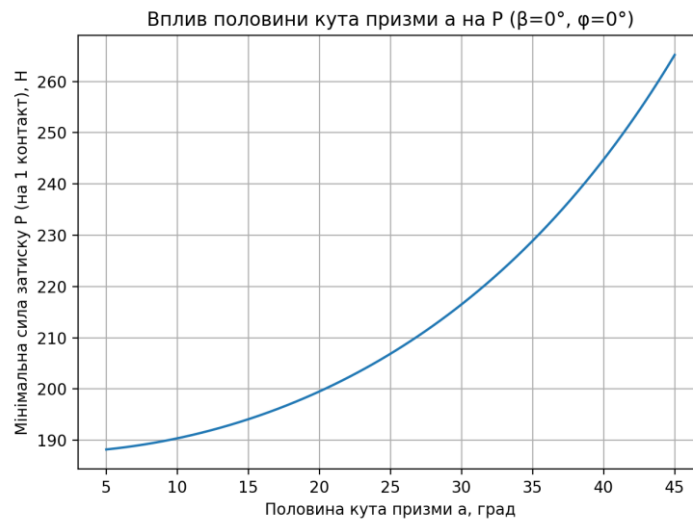


Рис.2.6. Залежність сили затиску від кута затискної призми

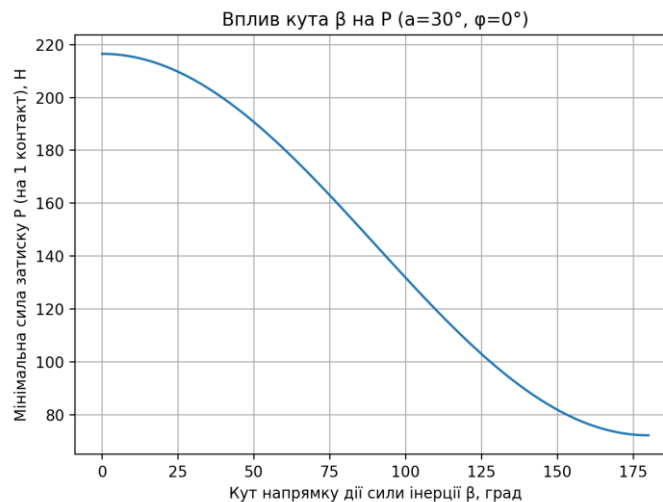


Рис.2.7. Залежність сили затиску від кута напрямку дії сили інерції

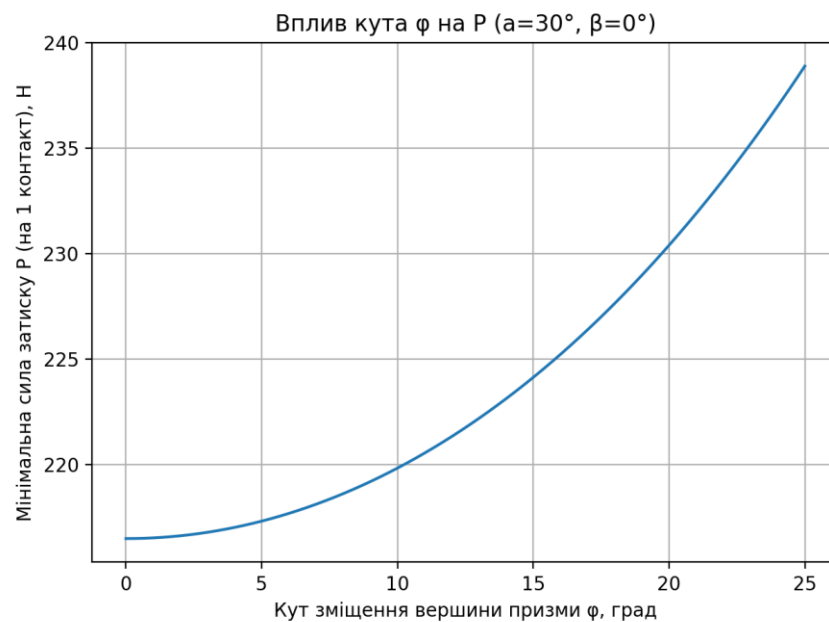


Рис.2.8. Залежність сили затиску від кута зміщення вершин затискних призм

Розрахунок сил затиску захоплювального пристрою є необхідним етапом проектування роботизованих систем, оскільки саме величина затискних зусиль визначає надійність утримування деталі в умовах дії сили тяжіння, інерційних навантажень та сил тертя. Недостатні сили затиску можуть призвести до зміщення або випадіння деталі, тоді як їх надмірне збільшення спричиняє перевантаження механізму захвату, зростання зносу контактних елементів і ймовірність пошкодження деталі.

Актуальність виконання такого розрахунку зумовлена універсальністю промислових роботів, які працюють з деталями різних мас, геометрії та в умовах змінних режимів руху. Урахування впливу конструктивних параметрів захватного пристрою, напрямку дії сили інерції та реальних умов контакту дозволяє обґрунтовано визначити мінімально необхідні сили затиску, підвищити енергоефективність системи та забезпечити стабільну й безпечну роботу роботизованого комплексу.

3. Технологічна частина

3.1. Аналіз точності та технологічності заданих деталей

Технологічність конструкції — це сукупність властивостей виробу, які визначають його придатність до виготовлення, експлуатації та ремонту з мінімальними затратами ресурсів за умови забезпечення необхідної якості, заданого обсягу випуску та умов функціонування. Одним із важливих аспектів підвищення техніко-економічних показників промислових виробів є саме забезпечення технологічності їхньої конструкції.

Під час оцінювання технологічності деталі враховуються умови її виробництва, конструктивні особливості, вимоги до точності та шорсткості поверхонь, а також можливість раціонального вибору заготовки й обробних баз. Згідно з ГОСТ 14.205-83, технологічність конструкції визначає ступінь її пристосованості до економічного виготовлення й подальшого обслуговування, забезпечуючи оптимальні витрати при заданих показниках якості. До ключових показників якості виробу належать: безвідмовність роботи, довговічність, точність спряжень, рівень шуму, безпечність, ККД, простота технічного обслуговування, можливість механізації та інші характеристики.

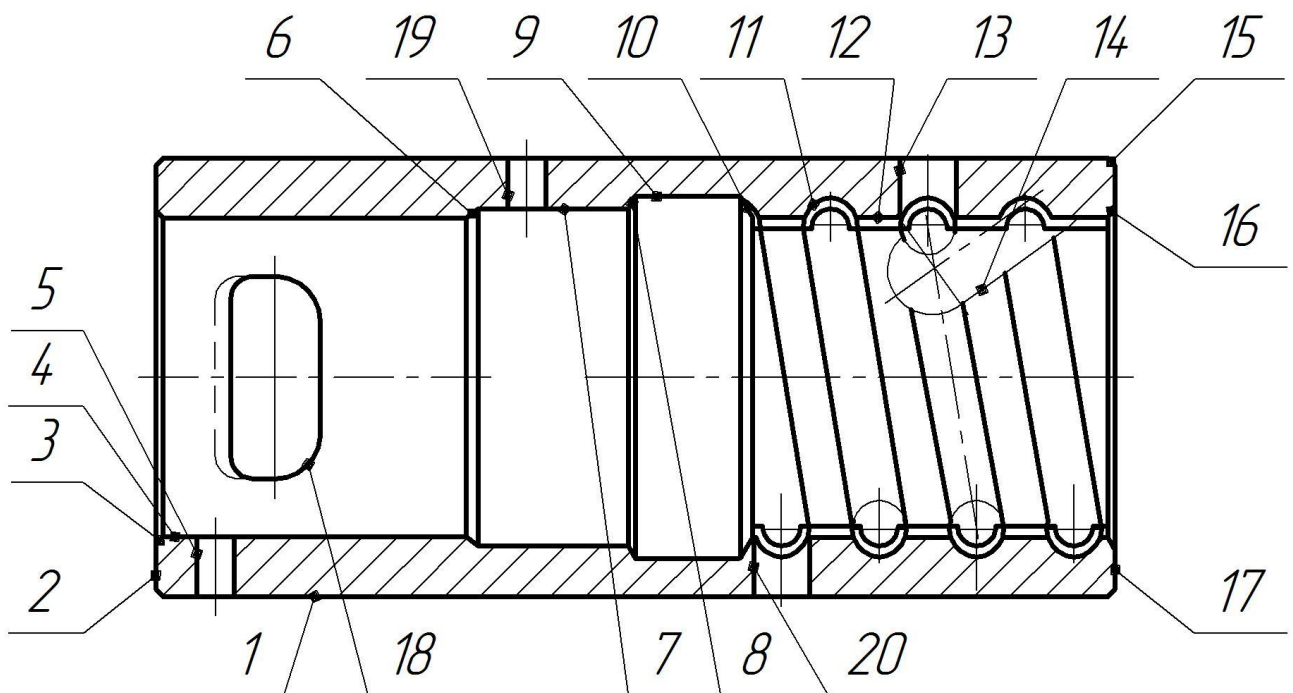


Рис. 3.1. Ескіз деталі гайка УЯИШ.715152.002

Таблиця 3.1

Параметри точності і технологічності деталі

№ пов	Найменування поверхні	Розмір з відхилення м	Квалітет точності	Точність				Шорсткість поверхні, Ra
				відносних	форми			
1,1'	Торцеві поверхні	155 _{-0,25}	h14	-	√	0,04	E	12,5
2	Отвір	Ø5 ^{+0,3}	H10	-	-			6,3
3	Центральний отвір	Ø40 ^{+0,046}	H7	-	-			0,4
4	Фаска	1x45°	h14	-	-			12,5
5,5'	Фаска	1x45°	h14	-	-			12,5
6	Циліндрична поверхня	Ø58,5 _{-0,046}	h9	↔	0,02	E	-	3,2
7	Отвір	Ø48,3 ^{+0,15}	H10	-	-			6,3
8	Гвинтова канавка	Ø42 _{-0.06} Ø47,8 _{min}	H8	-	-			1,6
9	Отвір	Ø7,5 ^{+0,36}	H9	-	-			3,2
10	Отвір	Ø7,5 ^{+0,022}	H9	-	-			3,2
11,11'	Наскрізнi пази	27 ^{+0,5} _x 12 ^{+0,43}	h10	-	-			6,3
12,12'	Наскрізнi пази	30 ^{+0,084} _x 12 ^{+0,07}	h10	-	-			6,3
14	Отвір	Ø45	H14	-	-			12,5

Деталь гайка має циліндричну форму і конструктивно належить до деталей типу втулок. Більшість її поверхонь мають правильну геометрію, яку нескладно отримати під час виготовлення заготовки. Оброблювані поверхні доступні для інструмента, а вибір базових поверхонь є раціональним та сприяє спрощенню технологічного процесу.

Найбільш складною операцією є формування внутрішньої гвинтової канавки, оскільки вона потребує високої точності та застосування спеціального інструменту. Водночас інші поверхні не містять завищених вимог щодо точності:

відповідальні поверхні мають обґрунтовані допуски, а маловідповідальні — обробляються за 14-м квалітетом.

Дотримання принципу єдності баз під час обробки відповідальних поверхонь забезпечує стабільність розмірів, зменшує ймовірність накопичення похибок і, відповідно, знижує відсоток браку. Вільний підхід ріжучого інструменту до більшості поверхонь створює сприятливі умови для використання стандартного металообробного обладнання та інструменту.

Проаналізувавши конструкцію гайки УЯИШ.715152.002 та вимоги до її виготовлення, можна стверджувати, що деталь є **технологічною**. Її форма раціональна, поверхні доступні для обробки, вимоги до точності — обґрунтовані, а можливі труднощі виникають лише під час виконання гвинтової канавки, що характерно для деталей цього типу. Загалом конструкція добре пристосована до серійного виготовлення з мінімальними виробничими затратами.

3.2. Аналіз діючого технологічного процесу

Аналіз чинного технологічного процесу механічної обробки спеціальної гайки проводиться з метою оцінювання його відповідності вимогам сучасного машинобудівного виробництва, виявлення можливих недоліків та формування рекомендацій щодо їх усунення. Розглянувши базовий технологічний процес, можна відзначити, що він у цілому забезпечує виготовлення деталі з необхідними показниками точності, продуктивності та собівартості.

Разом із тим, характерними недоліками більшості традиційних технологічних процесів є використання поряд із напівавтоматами та спеціальним обладнанням значної кількості універсальних верстатів. Це суперечить вимогам сучасного виробництва, яке орієнтується на високу гнучкість, мінімізацію переналагоджувальних операцій та автоматизацію.

Базовий технологічний процес обробки гайки включає 15 операцій, які виконуються на універсальних верстатах та застарілому обладнанні з ЧПК, що

має знижені можливості за швидкісними режимами та менш раціональною послідовністю переходів. Зокрема:

- при токарній обробці зовнішніх циліндричних поверхонь застосовується верстат з ЧПУ, однак операція потребує **чотирьох переустановлень**, що збільшує ймовірність похибок;
- при обробці отворів використовується вертикально-свердлильний верстат 2Н125, що вимагає **кількох повторних установок деталі** та негативно впливає на точність взаємного розташування поверхонь.

Такі обмеження знижують технологічність процесу, ускладнюють забезпечення стабільної точності та збільшують тривалість виробничого циклу.

Рекомендовані напрями удосконалення технологічного процесу

Для підвищення ефективності пропонується внести такі зміни:

1. Скорочення кількості операцій шляхом заміни універсальних верстатів сучасними обробними центрами з ЧПК. Це дає можливість об'єднати кілька переходів в одну комплексну операцію.

2. Зменшення виробничої площі та кількості допоміжних операцій (транспортування, проміжні установки), що позитивно вплине на собівартість та логістику.

3. Підвищення точності обробки за рахунок мінімізації кількості переналагоджень та повторних базувань.

4. Заміна вертикально-свердлильних верстатів на фрезерний верстат з ЧПК 6Р11Ф3-01, який забезпечує:

- вищу точність виконання отворів і пазів,
- стабільну повторюваність,
- значне зростання продуктивності операцій свердління, зенкування та розточування.

У результаті модернізації технологічного процесу очікується зниження собівартості виготовлення деталі, підвищення точності, скорочення часу циклу та підвищення загальної гнучкості виробництва.

3.3. Вибір заготовок та способу їх виготовлення

Вибір матеріалу для виготовлення деталі визначається її службовим призначенням, умовами експлуатації та конструктивними особливостями. На основі аналізу функціонального навантаження гайки, а також з урахуванням вихідних даних базового технологічного процесу та практичного досвіду проектування елементів рульових механізмів і автомобільних систем, для виготовлення деталі обрано леговану конструкційну сталь 20ХГНР згідно з ГОСТ 4543–71.

Хімічний склад і механічні властивості матеріалу наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталі

Марка матеріалу	Хімічний склад в %				Механічні властивості		
	С	Si	Mn	Cr	δ_T кг/мм ² не менше	δ_B кг/мм ² не менше	Твердість НВ не більш
Сталь 20ХГНР ГОСТ4543-71	0,15-0,21	0,17-0,37	0,5-0,8	0,7-1,0	80	100	240...300

Сталь 20ХГНР застосовується в тих випадках, коли деталі працюють при значних швидкостях, середніх і високих питомих навантаженнях, а також за умов дії ударних та змінних навантажень. Матеріал широко використовується для виготовлення валів, зубчастих коліс, черв'яків, втулок, кулачкових муфт та інших елементів, до яких висуваються вимоги підвищеної зносостійкості, поверхневої твердості, міцності та в'язкості.

Легування хромом підвищує міцність і твердість сталі, але водночас ускладнює її механічну обробку. У випадку спеціальної гайки конструкція є порівняно простою, не потребує високих вимог до шорсткості поверхні, а виробництво має середньо-серійний характер, тому вибір даного матеріалу є технологічно та економічно виправданим.

Вибір методу отримання заготовки

З огляду на форму деталі, трудомісткість виготовлення та вимоги до готової продукції, початковим способом отримання заготовки обрано круглий прокат. Такий вибір забезпечує:

- простоту виготовлення,
- достатню точність вихідної геометрії,
- низьку собівартість при середньо-серійному виробництві.

За умов виробничих можливостей підприємства можуть бути розглянуті альтернативні варіанти заготовок:

- трубний прокат,
- штампування на гідравлічному кувальному молоті (ГКМ) з прошиванням отвору, що дозволяє зменшити масу вихідної заготовки та покращити коефіцієнт використання матеріалу.

Розрахунок вартості заготовки за базовим технологічним процесом

Вартість заготовки визначається за формулою:

$$S_{заг} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot R_t \cdot R_c \cdot R_v \cdot R_m \cdot R_p \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{вдх.}}{1000}; \text{грн},$$

де:

- C_i - базова вартість 1 т заготовки;
- R_t , R_s , R_v , R_m , R_p - коефіцієнти, що враховують клас точності, групу складності, масу, марку матеріалу та тип виробництва;
- Q - маса заготовки;
- q - маса готової деталі.

Вартість запропонованої заготовки

Для модернізованого процесу, де передбачено прошивання центрального отвору, маса заготовки зменшується до:

$$Q_{нове} = 4,9 \text{ кг.}$$

Зменшення маси напряду знижує вартість заготовки за рахунок зменшення кількості витраченого матеріалу. Це підвищує економічну ефективність виготовлення деталі, покращує коефіцієнт використання металу та зменшує собівартість продукції.

3.4. Вибір методів та маршрутів обробки поверхонь деталі

Методи та маршрути обробки поверхонь визначаються з урахуванням вимог до точності та якості готової деталі, а також з метою забезпечення заданих параметрів найкоротшим і найбільш економічно доцільним шляхом. На основі розрахунку уточнень встановлюється оптимальний варіант маршрутів механічної обробки поверхонь заданих деталей.

Загальне уточнення визначається за залежністю:

$$\delta_{\text{заг}} = \delta_{\text{ЗАГ}} - \delta_{\text{ДЕТ}},$$

де

$\delta_{\text{ЗАГ}}$ — допуск заготовки; $\delta_{\text{ДЕТ}}$ — допуск готової деталі.

Фактичне уточнення визначається як сума уточнень окремих операцій:

$$\delta_{\text{ф}} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n,$$

за умови виконання співвідношення:

$$\delta_{\text{ф}} \leq \delta_{\text{заг}}.$$

Деталь: спецгайка

Поверхня: отвір $\varnothing 40^{+0,046}$ (Ra 0,4).

Маршрут обробки поверхні:

Заготовка: $\delta_3 = 3,6 \text{ мм}$;

1. Зенкерування (однократне) — $\delta_1 = 0,30 \text{ мм}$;
2. Розточування напівчистове — $\delta_2 = 0,19 \text{ мм}$;
3. Розточування чистове — $\delta_3 = 0,074 \text{ мм}$;
4. Розточування тонке — $\delta_4 = 0,046 \text{ мм}$;
5. Хонінгування — $\delta_5 = 0,046 \text{ мм}$.

Сумарне фактичне уточнення становить:

$$\varepsilon_{\phi 1} = \frac{\delta_{\text{ЗАГ}}}{\delta_1} = \frac{3,6}{0,3} = 12,0; \quad \varepsilon_{\phi 2} = \frac{0,3}{0,19} = 1,6; \quad \varepsilon_{\phi 3} = \frac{0,19}{0,074} = 2,6;$$
$$\varepsilon_{\phi 4} = \frac{0,074}{0,046} = 1,6; \quad \varepsilon_{\phi 5} = \frac{0,046}{0,046} = 1; \quad \varepsilon_{\phi} = 12 \cdot 1,6 \cdot 2,6 \cdot 1,6 \cdot 1 = 79.$$

Порівняння отриманих значень показує, що умова виконується.

$$\varepsilon_{\phi} \geq \varepsilon_{\text{ЗАГ}}$$

Розрахунки уточнень для інших поверхонь деталі виконуються за аналогічною методикою, а отримані результати зведено до таблиці 3.3.

Технологічні маршрути обробки поверхонь деталі спецгайка

Позначення поверхні	Допуск на поверхню по кресленню, δ_d мм	Шорсткість поверхні, мкм	Допуск на заготовку по поверхні, δ_z мм	Загальне уточнення ε_3	Можливі технологічні маршрути обробки поверхні		Економічні допуски на проміжні методи обробки	Частинні коефіцієнти уточнення	$\Pi\varepsilon_i = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \dots \varepsilon_i$
					№	Зміст маршруту			
1,1	0,2	3,2	3	15	1	Точіння чорнове	0,4	7,5	15
						Точіння чистове	0,2	2	
					2	Точіння чорнове	1,0	3	15,03
						Точіння напівчистове	0,6	1,6	
6	0,046	1,6	2	43,4	1	Точіння чорнове	0,3	6,67	43,3
						Точіння чистове	0,12	2,5	
						Шліфування попереднє	0,046	2,6	
					2	Точіння чорнове	0,46	4,4	46,2
						Точіння напівчистове	0,19	2,42	
						Точіння чистове	0,062	3,1	
7	0,15	6,3	2	13,3	1	Свердління	0,25	8	13,4
						Розвертання спеціальне	0,15	1,6	
					2	Розточування чорнове	0,39	5,1	13,2
						Розточування чистове	0,15	2,6	
10	0,036	2,5	3,5	97,2	1	Свердління	0,09	38,8	96,4
						Розвертання нормальне	0,052	1,55	
						Розвертання точне	0,036	1,6	
					2	Свердління	0,09	38,8	97,2
						Розвертання точне	0,36	2,5	
3	0,046	0,4	3,6	78,2	1	Зенкерування	0,3	12,0	79,1
						Розточування напівчистове	0,19	0,19	
						Розточування чистове	0,074	0,074	
						Розточування тонке	0,046	0,046	
						Хонінгування	0,046	0,046	
					2	Зенкерування	0,3	12,0	79,1
						Зенкерування чистове	0,12	2,5	
						Розверчування чорнове	0,18	1,5	
						Розвірчування чистове	0,046	1,7	
						Хонінгування	0,046	1,0	

3.5 Розробка маршрутів виготовлення деталі

Розроблений технологічний процес спрямований на повне забезпечення вимог креслення, і під час виготовлення деталі в умовах цеху всі передбачені ним операції виконуються в повному обсязі. Для виготовлення деталі гайка використовується заготовка у вигляді прокату; матеріал деталі — сталь 20ХГНР згідно з ГОСТ 4543–71.

У процесі виготовлення деталі дотримується принцип єдності конструктивних і технологічних баз. На всіх етапах обробки — чорнових, чистових і проміжних — деталь обробляється в пристосуваннях із базуванням по зовнішній циліндричній поверхні та осі. Такий підхід забезпечує стабільність геометричних параметрів і знижує накопичення похибок.

Механічна обробка гайки здійснюється переважно на спеціальних високопродуктивних верстатах із застосуванням стандартних затискних пристроїв та спеціального технологічного оснащення, призначеного виключно для обробки даної деталі. Разом із тим використання спеціалізованого оснащення зумовлює значні витрати часу й ресурсів у разі переналагодження обладнання на виготовлення іншої номенклатури деталей.

З метою підвищення ефективності та гнучкості виробничого процесу доцільним є впровадження верстатів з числовим програмним керуванням на окремих операціях механічної обробки. Хоча більшість операцій виконується на верстатах з ЧПК та напівавтоматах, для операцій 030, 035, 040, 060 та 070 наразі застосовуються універсальні вертикально-свердлильні верстати. Для частини цих операцій доцільно використовувати верстати з ЧПК, які дозволяють за одну установку виконувати обробку кількох поверхонь, поєднуючи чорнові та чистові переходи.

Розроблені маршрути механічної обробки поверхонь деталі гайка УЯИШ.715152.002 наведено в таблиці 3.4.

Таблиця технологічних маршрутів обробки деталі

Маршрутний технологічний процес	
базовий	проектуючий
1	2
005 Токарна з ЧПК Токарний з ЧПК 16A20Ф3 Підрізати торець,точити фаску,свердлити отвір,зенкувати фаску.	005 Токарна з ЧПК Токарний з ЧПК HAAS ST-20SS Підрізати торець,точити фаску, свердлити отвір зенкувати фаску.
010 Токарна з ЧПК Токарний з ЧПК 16A20Ф3 Підрізати торець,точити фаску,зенкувати фаску.	010 Токарна з ЧПК Токарний з ЧПК HAAS ST-20SS Підрізати торець,точити фаски,розточити отвір,карман. Розточити отвір, фаску,гвинтову канавку,точити зовнішню поверхню.
015 Токарна з ЧПК Токарний з ЧПК 16A20Ф3 Підрізати торець,точити фаски,розточити отвір,карман. Розточити отвір, фаску,гвинтову канавку.	015 Фрезерна з ЧПК Фрезерний з ЧПК 6P11Ф3-01 Свердлити послідовно 4 отвори, перевстановити, свердлити послідовно 4 отвори, перевстановити, Свердлити послідовно 2 отвори.
020 Токарна з ЧПК Токарний з ЧПК 16A20Ф3 Точити зовнішню поверхню.	020 Фрезерна з ЧПК Обробляючий центр з ЧПК HAAS VF-1 Фрезерувати два пази послідовно, фрезерувати похилу поверхню.
025 Свердлильна Вертикально-свердлувальний 2Н125 Свердлити отвір.	025 Фрезерна з ЧПК Фрезерний з ЧПК 6P11Ф3-01 Свердлити 2 отвори послідовно
030 Свердлильна Вертикально-свердлувальний 2Н125 Свердлити послідовно 4 отвори.	030 Фрезерна з ЧПК Обробляючий центр з ЧПК HAAS VF-1 Фрезерувати паз
035 Свердлильна Вертикально-свердлувальний 2Н125 Свердлити послідовно 2 отвори.	035 Фрезерна з ЧПК Обробляючий центр з ЧПК HAAS VF-1 Фрезерувати паз.
040 Токарна з ЧПК Токарний з ЧПК 16A20Ф3 Розточити отвір начисто	040 Шліфувальна Круглошліфувальний 3М81 Шліфувати зовнішню поверхню, шліфувати торець деталі.
045 Токарна з ЧПК Токарний з ЧПК 16A20Ф3 Точити зовнішню циліндричну	045 Різьбошліфувальна Різьбошліфувальний 5822

050 Свердлильна Вертикально-свердлувальний 2Н125 Свердлити дренажні отвори	
055 Фрезерна Фрезерна ОММ64SC Фрезерувати послідовно 4 паза.	
060 Фрезерна Фрезерна ОММ64SC Фрезерувати послідовно 4 паза начисто	
065 Свердлильна Вертикально-свердлувальний 2Н125 Довести внутрішню циліндричну поверхню	
070 Шліфувальна Круглошліфувальний 3С110ВН2 Шліфувати зовнішню поверхню.	
075 Шліфувальна Різьбошліфувальний 5К822В Шліфувати торець деталі.	

3.6. Вибір технологічних баз

Вибір технологічних баз розпочинається з визначення чорнової бази, яка використовується на першій операції технологічного процесу. Її основне призначення полягає у формуванні технологічних баз для виконання наступних операцій механічної обробки. Під час вибору чорнової бази необхідно забезпечити максимально рівномірне зняття припуску з найбільш відповідальних і точних поверхонь деталі.

Як первинну чорнову базу доцільно обирати поверхню з найбільшою площею, що забезпечує стійке базування заготовки. Зазвичай чорнова база застосовується лише на одній операції, після чого подальша обробка виконується з використанням уже сформованих технологічних баз.

На наступних операціях механічної обробки необхідно дотримуватися принципів співпадіння та постійності баз, що сприяє підвищенню точності взаємного розташування поверхонь і зменшенню похибок базування. У випадках, коли реалізація принципу єдності баз є неможливою, слід

дотримуватися принципу послідовного переходу від менш точної базової поверхні до більш точної.

Вибір технологічних баз здійснюється паралельно з розробкою маршруту механічної обробки деталі відповідно до вимог чинних методичних рекомендацій [1].

3.7. Розробка структури та змісту технологічних операцій

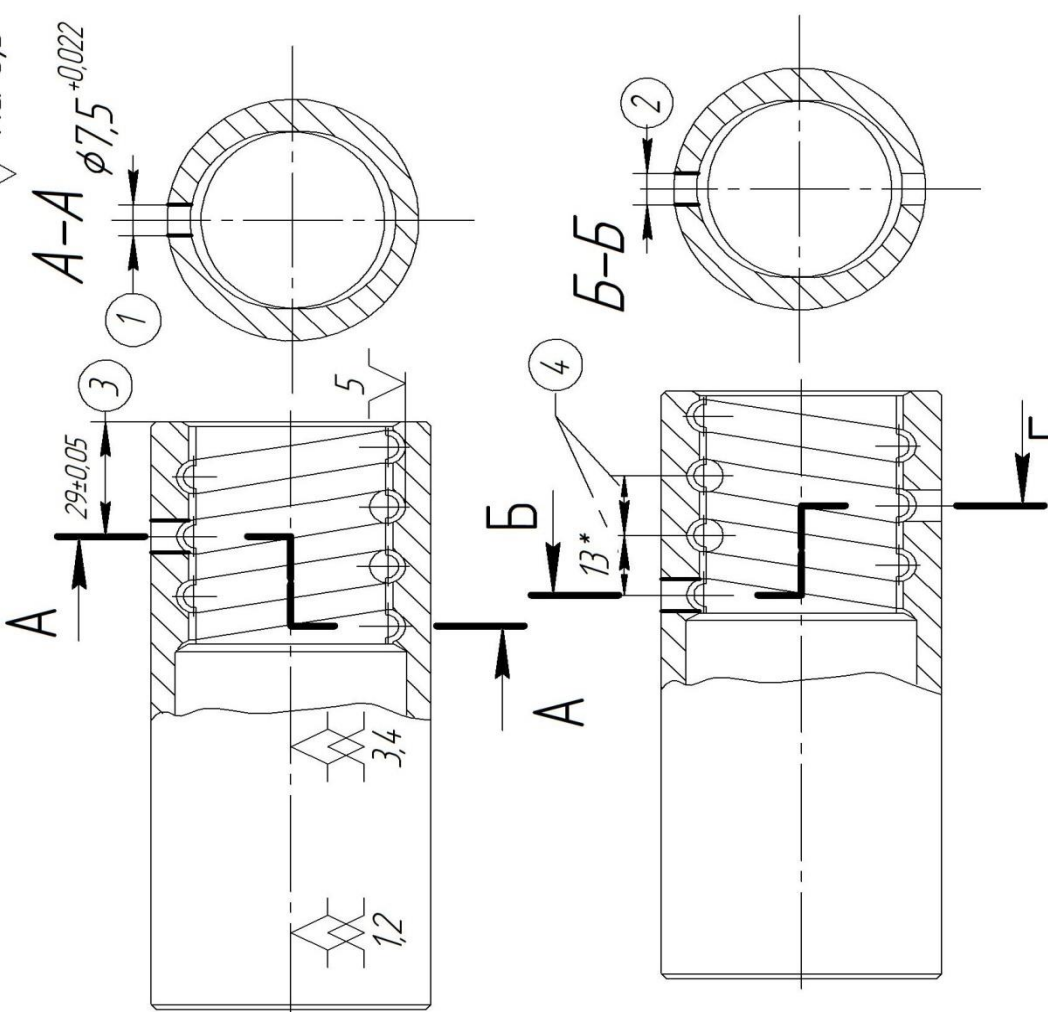
Розроблення структури та змісту операцій технологічного процесу механічної обробки заданої деталі здійснюється на основі обраних методів і маршрутів обробки, запропонованих технологічних схем виготовлення деталі, а також з урахуванням загальних вимог до проєктування технологічних процесів.

Структуру технологічного процесу наведено в таблиці 3.5.

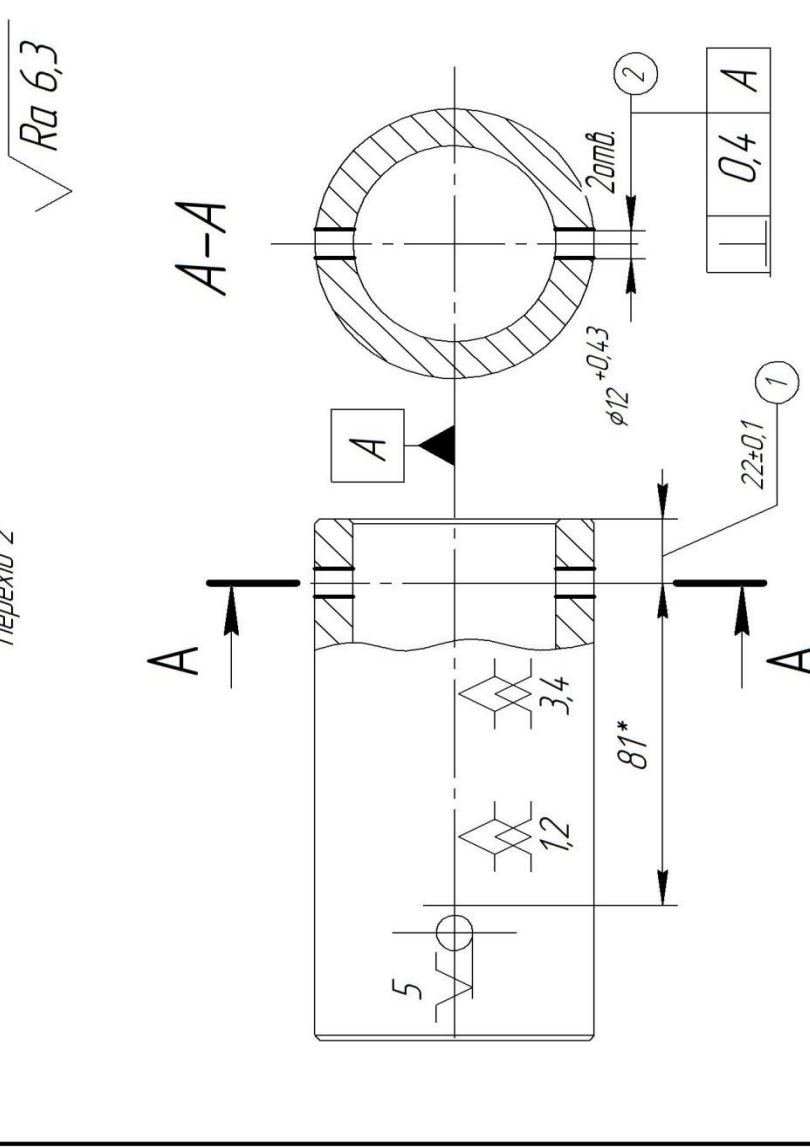
Структура техпроцесу деталі спецгайка

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Операційний ескіз та схема базування	Зміст операції
1	2	3	4
005 Токарна з ЧПУ	005 Токарний з ЧПУ HAAS ST-20SS	Переходи 2, 3, 4	1. Встановити і закріпити деталь 2. Точити торці, точити фаску, витримуючи розміри 2, 3 3. Свердли отвір, витримуючи розміри 1, 2 4. Зенкувати фаску, витримуючи розміри 4, 5 5. Зняти деталь

1	2	3	4
010 Токарна з ЧПУ	010 Токарний з ЧПУ HAAS ST-20SS	Переходи 2, 3, 4, 5 $\sqrt{Ra\ 12,5}$	1. Встановити і закріпити деталь 2. Підрізати торець, точити фаску, витримуючи розміри 2, 9, 10, 13 3. Розточити карман, витримуючи розміри 3, 4, 5, 15 4. Точити гвинтову канавку, витримуючи розміри 6, 7, 8, 11, 12 5. Точити зовнішню поверхню, витримуючи розміри 19 6. Зняти деталь

1	2	3	4
015 Фрезерна з ЧПУ	010 Фрезерна з ЧПУ 6P11Ф3-01	Переходи 2, 3  1. Встановити і закріпити деталь 2. Свердлити послідовно отвори, витримуючи розміри 1, 3. 3. Свердлити послідовно отвори, витримуючи розміри 2, 4. 4. Зняти деталь	

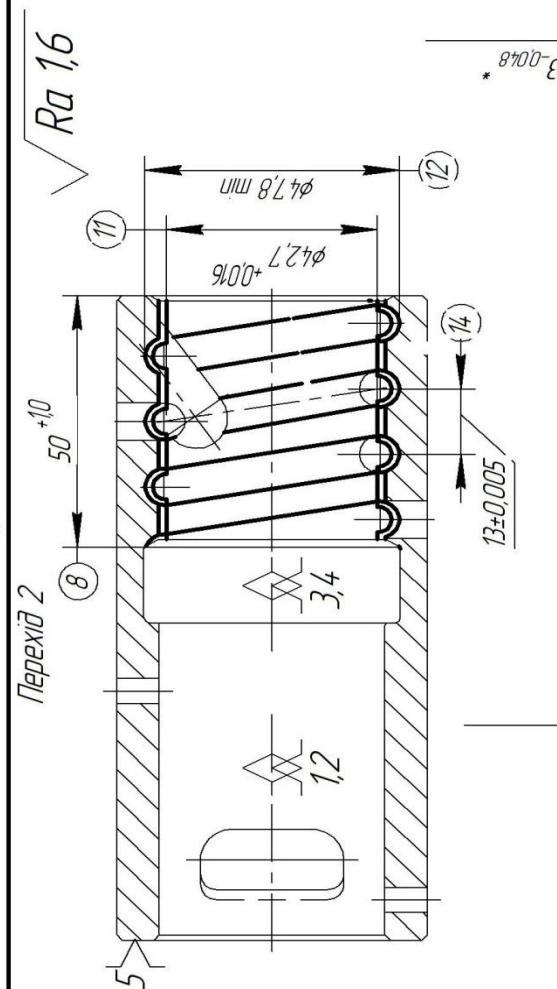
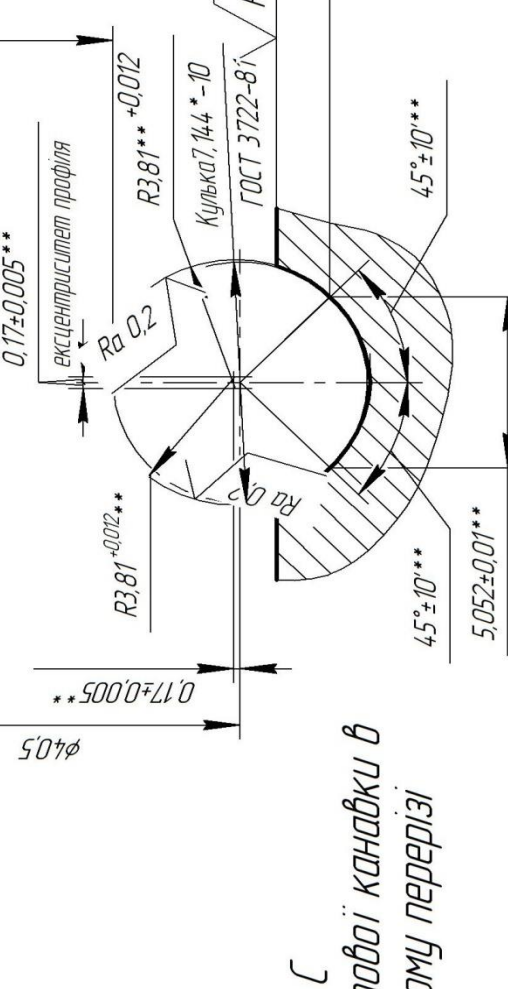
1	2	3	4
020 Фрезерна з ЧПУ	020 Фрезерний з ЧПУ HAAS VF-1	Переходи 2, 3 $\sqrt{Ra\ 6,3}$ Technical drawing of a part with a central slot. Section A-A shows a cross-section with dimensions: 16±0.2, φ12, +0.43, and a 15°±15' chamfer. Section B-B shows a cross-section with dimensions: 27±0.5, R4, R6, and a 15°±15' chamfer. The drawing includes a surface texture symbol and a section line A-A.	1. Встановити і закріпити деталь 2. Фрезерувати два пази послыдовно, витримуючи розміри 1, 2, 3 3. Фрезерувати похилу поверхню, витримуючи розміри 4, 5, 6, 7 4. Зняти деталь

1	025 Фрезерна з ЧПУ	2	Фрезерний з ЧПУ 6P11Ф3-01	3	Перехід 2 	4	1. Встановити і закріпити деталь 2. Свердлити два отвори послідовно, витримуючи розміри 1, 2. 4. Зняти деталь
---	--------------------------	---	---------------------------------	---	---	---	---

1	2	3	4
025 Фрезерна 3 ЧПУ	Обробний центр HAAS VF-1	Перехід 2 $\sqrt{Ra\ 6,3}$ Technical drawing showing a transition (Перехід 2) between two sections of a part. The drawing includes dimensions: a hole of diameter 12 with a tolerance of +0.07, a fillet radius R6, a hole of diameter 30 with a tolerance of +0.084, and a chamfer of 5. The surface finish is specified as $\sqrt{Ra\ 6,3}$. Callouts 1, 2, 3, 4, and 5 indicate specific features.	1. Встановити і закріпити деталь 2. Фрезерувати паз, витримуючи розміри 1, 2, 3, 4, 5. 4. Зняти деталь

1	035 Фрезерна з ЧПУ	2	Обробний центр з ЧПК HAAS VF-1	3	Перехід 2 Technical drawing showing a cross-section A-A and a perspective view of a mechanical part. The cross-section A-A shows a cylindrical part with a diameter of 30 mm and a length of 34 mm. The perspective view shows a complex shape with various dimensions and features. Key features include: a top surface with a radius of R6, a bottom surface with a radius of R6, a central hole with a diameter of 12 mm and a depth of 0.07 mm, a side hole with a diameter of 30 mm and a depth of 0.084 mm, and a series of steps and fillets. Dimensions are given in mm. The drawing is labeled with 'A' and 'Q'.	4	1. Встановити і закріпити деталь 2. Фрезерувати 2 паза послідовно, витримуючи розміри 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11. 4. Зняти деталь
---	--------------------------	---	---	---	---	---	--

1	2	3	4
040 Шліфувальна	Круглошлі- фувальний 3М81	Перехід 2 Technical drawing of a shaft with a transition fit. The shaft has a diameter of 58.5 mm with a tolerance of -0.046 mm. It features a central step with a diameter of 12 mm and a fillet with a radius of 3.4 mm. The drawing includes a cross-section view showing the internal structure and a detail view of the fillet. Surface texture symbols are present: a square root symbol with Ra 1,6 and a square root symbol with 0,02 E.	1. Встановити і закріпити деталь 2. Шліфувати зовнішню поверхню, витримуючи розміри 1, 2. 4. Зняти деталь

1	045 Різьбо- шліфувальна	2	Різьбошлі- фувальний 5822	3	4
		Перехід 2  Різьбошліфувальний 5822 Різьбошліфувальна			
		Профіль гвинтової канавки в нормальному перерізі  Профіль гвинтової канавки в нормальному перерізі			
		1. Встановити і закріпити деталь 2. Шліфувати внутрішню гвинтову поверхню, вирішуючи розміри 1. 4. Зняти деталь			

Для реалізації запропонованого технологічного процесу механічної обробки спеціальної гайки здійснюється вибір відповідного технологічного обладнання. Підбір металорізальних верстатів виконується з урахуванням структури та змісту операцій, застосовуваних методів обробки, а також типу виробництва. Оскільки обробка даної деталі здійснюється в умовах середньосерійного виробництва, використовуване обладнання повинно забезпечувати: скорочення часу обробки; зниження собівартості виготовлення деталі; підвищення коефіцієнтів використання верстатів за часом роботи, встановленою потужністю та основним машинним часом. Обрані металорізальні верстати повністю відповідають зазначеним вимогам і забезпечують ефективну реалізацію технологічного процесу. Стисла технічна характеристика вибраного обладнання наведена в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6.

Металорізальне обладнання для обробки деталі

№ оп.-ції	Назва і модель верстата	Коротка характеристика						Розмірна характеристика		
		Діапазон частот об.шпіндел я,об/хв.	Діапазон подачі мм/хв..	Габаритні розміри верстата,мм	Маса верстата,т	Потужність ел./дв, кВт	Число УРЕ	Мак-ний роз-р оброб. деталі	Мак-ний діам. Свердління,мм	Роз-міри стола
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 010	Токарний з ЧПК HAAS ST20SS	12,5-2000	1,5-600	3360х 1710х 1750	4	10,0	-	1000	-	-
015 025	Фрезерний з ЧПУ 6P11Ф3-01	31,5-1600	повзд. попер. 25-1250 верт. 8,3-416,6	2560х 2260х 2120	4,2	11,0	-	280	-	400х 1600
020 030 035	Фрезерний з ЧПУ HAAS VF-1	31,5-1600	повзд. попер. 25-1250 верт. 8,3-416,6	2560х 2260х 2120	4,2	11,0	-	280	-	400х 1600
040	Кругло-шліфувальний ЗМ81	50-500	0,1-4	4605х 2450х 2170	5,6	10,0	-	700	-	-

3.8. Вибір затискних пристроїв

Для забезпечення заданої точності механічної обробки деталі необхідно здійснити її надійне та стабільне закріплення. З цією метою вибір верстатних затискних пристроїв виконується з урахуванням теоретичної схеми базування, конструктивної форми деталі, застосовуваного методу обробки та типу виробництва.

Затискні пристрої для верстатів з числовим програмним керуванням, як правило, не містять елементів орієнтації або направлення різального інструменту. Водночас вони повинні забезпечувати можливість швидкого переналагодження для обробки іншої деталі аналогічної або близької за геометрією та розмірами.

Стислі технічні характеристики вибраних затискних пристроїв, що використовуються для закріплення деталей, наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7.

Затискні пристрої для деталі спецгайка

№ операції	Найменування пристрою	Стандарт	Рід приводу
1	2	3	4
005	Призма опорна	ГОСТ 12195-66	Ручний
010	Кондуктор	Спец.	Пневматичний
015	Цанговий патрон	Спец.	Пневматичний
020	Цанговий патрон	Спец.	Пневматичний
025	Кондуктор	Спец.	Пневматичний
030	Кондуктор	Спец.	Пневматичний
035	Кондуктор	Спец.	Пневматичний
040	Затискне пристосування	Спец.	Пневматичний
045	Кондуктор	Спец.	Пневматичний
050	Кондуктор	Спец.	Пневматичний
055	Кондуктор	Спец.	Пневматичний
060	Опорні ножі	ГОСТ 4743-68	Ручний

3.9. Вибір різучих інструментів

Вибір різальних інструментів для обробки заданих деталей здійснюється з урахуванням методу механічної обробки, матеріалу деталі, різальних властивостей інструментального матеріалу, а також рівня автоматизації технологічного обладнання і типу металорізального верстата.

Умови експлуатації різального інструменту на верстатах з числовим програмним керуванням істотно відрізняються від умов його роботи на універсальному обладнанні. У зв'язку з цим у технологічних процесах з ЧПК переважно застосовуються інструменти з механічним кріпленням змінних різальних пластин, що забезпечує підвищену зносостійкість, стабільність різання та зручність обслуговування.

Підбір різальних одиниць виконується відповідно до нормативних довідкових таблиць, а основні технічні характеристики обраних інструментів наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8.

Ріжучий інструмент для обробки деталі спецгайка

Номер		Назва інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Ріжуча частина	
Операцій	Переходу			Матеріал	Стандарт
1	2	3	4	5	6
005	1	Фреза дискова	2240-4052	BK8	ГОСТ 9473-80
010	1	Свердло Ø5	ГОСТ 2092-77	P6M5	ГОСТ 19265-78
015	1	Різець торцевий	2342-4136	T15K6	ГОСТ 3882-74
	2	Різець торцевий	2352-4146	T15K6	ГОСТ 3882-74
	3	Різець	2142-4061	T15K6	ГОСТ 3882-74
	4	Різець	2152-4061	T15K6	ГОСТ 3882-74
	5	Різець розточний	2146-4105	T15K6	ГОСТ 19065-80
	6	Різець розточний	2156-4105	T15K6	ГОСТ 19065-80
	7	Різець канавочний	2126-4212	T15K6	ГОСТ 3265-80
	8	Різець розточний	2189-5550	T15K6	ГОСТ 19065-80
020	9	Різець розточний	2109-5550	T15K6	ГОСТ 19065-80
	1	Різець торцевий	2342-4136	T15K6	ГОСТ 3882-74
	2	Різець торцевий	2352-4146	T15K6	ГОСТ 3882-74
	3	Різець	2142-4061	T15K6	ГОСТ 3882-74
	4	Різець	2152-4061	T15K6	ГОСТ 3882-74
025	5	Різець розточний	2146-4105	T15K6	ГОСТ 19065-80
	1	Свердло Ø7,3	ГОСТ 2092-77	P6M5	ГОСТ 19265-78
	2	Розгортка	2371-4024	P6M5	ГОСТ 19265-78
030	1	Свердло Ø7,5	ГОСТ 2092-77	P6M5	ГОСТ 19265-78
035	1	Свердло Ø12	ГОСТ 2092-77	P6M5	ГОСТ 19265-78
040	1	Фрез кінцева	2240-4085	BK8	ГОСТ 9473-80
	2	Фреза	2223-4052	BK8	ГОСТ 9473-80
045	1	Свердло Ø12	ГОСТ 2092-77	P6M5	ГОСТ 19265-78
050	1	Фрез кінцева	2240-4085	BK8	ГОСТ 9473-80
055	1	Фрез кінцева	2240-4085	BK8	ГОСТ 9473-80
060	1	Круг шліфувальний ПП450х50х203 24А	ГОСТ 2424-83	Алмазо-замінник	ГОСТ 8768-78

3.10. Вибір вимірювальних пристроїв

Вибір різальних інструментів для обробки заданих деталей здійснюється з урахуванням методу механічної обробки, матеріалу деталі, різальних властивостей інструментального матеріалу, а також рівня автоматизації технологічного обладнання і типу металорізального верстата.

Умови експлуатації різального інструменту на верстатах з числовим програмним керуванням істотно відрізняються від умов його роботи на універсальному обладнанні. У зв'язку з цим у технологічних процесах з ЧПК переважно застосовуються інструменти з механічним кріпленням змінних різальних пластин, що забезпечує підвищену зносостійкість, стабільність різання та зручність обслуговування.

Підбір різальних одиниць виконується відповідно до нормативних довідкових таблиць, а основні технічні характеристики обраних інструментів наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9.

Вимірювальний інструмент для контролю деталі спецгайка

Номер		Параметр деталі, який контролюється	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт на конструкцію
Операції	Переходу			
1	2	3	4	5
005	2	154,5 ^{-0,3} 3x45 ⁰	Штангенциркуль ШЦ 1-125 ^{-0,05}	ГОСТ 166-89
	3	158 ^{-0,1}	Штангенциркуль ШЦ 1-125 ^{-0,05}	ГОСТ 166-89
	2	Ø91 ^{+0,8}	Штангенциркуль ШЦ 1-125 ^{-0,1}	ГОСТ 166-89
	4	Ø37 ^{+0,6}	Штангенциркуль ШЦ 1-125 ^{-0,1}	ГОСТ 166-89
	5	Ø18,5 ^{+0,2}	Калібр-пробка	СТП 23.113.01.073-78
010	1	▽ 0,0 8 160±0,1	Індикатор Штангенциркуль ШЦ II-250 ^{-0,05}	ГОСТ 9696-82 ГОСТ 166-89
	2	Ø91 ^{+0,8}	Штангенциркуль ШЦ 1-125 ^{-0,1}	ГОСТ 166-89
	3	Ø95 ^{+0,2}	Штангенциркуль ШЦ 1-125 ^{-0,1}	ГОСТ 166-89
015	1	68 ^{+0,1}	Штангенциркуль ШЦ 1-125 ^{-0,1}	ГОСТ 166-89
	2	Ø9 ^{-0,1} Ø91 ^{+0,8} Ø95 ^{+0,2}	Калібр-пробка Штангенциркуль ШЦ 1-125 ^{-0,1} Штангенциркуль ШЦ 1-125 ^{-0,1}	СТП 23.113.01.073-78 ГОСТ 166-89 ГОСТ 166-89
	3	Ø10,5 ^{+0,07}	Калібр-пробка	СТП 23.113. 01.073-78
	4	M12x1,5-6H	Пробка для різі	8222-4015
020	1	Ø113,6 ^{+0,087}	Штангенциркуль ШЦ 1-160 ^{-0,05}	ГОСТ 166-89
	2	Ø113,995 ^{+0,05}	Нутромір	ГОСТ 9244-75

	3	$\varnothing 114^{+0,071}_{+0,036}$	Нутромір	ГОСТ 9244-75						
	4	$\varnothing 41,3^{+0,1}$	Штангенциркуль ШЦ 1-125- _{0,1}	ГОСТ 166-89						
	5	$\varnothing 42,3^{+0,062}$	Штангенциркуль ШЦ 1-125- _{0,1}	ГОСТ 166-89						
	6	$\varnothing 47,8^{+0,062}$	Нутромір	ГОСТ 9244-75						
025	1	$\varnothing 96^{+0,057}$	Штангенциркуль ШЦ II-162- _{0,05}	ГОСТ 166-89						
	2	$\varnothing 97^{+0,022}$	Штангенциркуль ШЦ II-160- _{0,05}	ГОСТ 166-89						
	3	$\varnothing 103^{+0,087}$	Штангенциркуль ШЦ II-160- _{0,05}	ГОСТ 166-89						
030	1	$\varnothing 12 \pm 0,3$ $27 \pm 0,25$	Калібр-пробка Штангенциркуль ШЦ 1-125- _{0,1}	СТП 23.113.01.073-78 ГОСТ 166-89						
	2	$\varnothing 6^{+0,075}$	Калібр-пробка	СТП 23.113. 01.073-78						
	3	<table><tr><td colspan="3">$\varnothing 10^{+0,043}$</td></tr><tr><td>П</td><td>$0,25/10$ 0</td><td>Ж</td></tr></table>	$\varnothing 10^{+0,043}$			П	$0,25/10$ 0	Ж	Калібр-пробка Пристосування для контролю- вання допуску паралельності	СТП 23.113. 01.073-78 Спец.
	$\varnothing 10^{+0,043}$									
П	$0,25/10$ 0	Ж								
4	M8-6H	Пробка для різі	8218-4015							
035	1	M14x1,5-6H	Пробка для різі	8224-4032						
040	1	M20x1,5-6H	Пробка для різі	8230-4035						

3.11. Розрахунок припусків

Величина операційного припуску на механічну обробку істотно впливає на точність, якість поверхні та продуктивність процесу. У межах даної роботи розрахунок припусків і операційних розмірів виконано для поверхні $\varnothing 42_{-0,06}$ деталі спецгайка.

Маршрут обробки поверхні прийнято таким:

- заготовка — $\delta 3 = 3,6$ мм;
- точіння чорнове — $\delta 1 = 0,30$ мм;
- точіння чистове — $\delta 2 = 0,074$ мм;
- шліфування — $\delta 3 = 0,06$ мм.

Розрахунок припусків на обробку поверхні $\varnothing 42$ Н8 виконується шляхом заповнення таблиці припусків і операційних розмірів, у яку послідовно заносяться технологічний маршрут обробки, а також складові елементи припуску для кожної операції.

Як заготовку прийнято штамповку, отриману на ГKM. Обробка поверхні виконується із застосуванням постійних технологічних баз — центрових отворів, що забезпечує стабільність базування та підвищує точність взаємного розташування поверхонь.

Таблиця 3.10

**Розрахунок припусків і граничних розмірів
по технологічним поверхням на обробку поверхні Ø42h8.**

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} ^{ГР}	2Z _{max} ^{ГР}
Заготовка	150	250	1830	-	67,1	3600	67,1	70,7		
Точіння чорнове	50	50	110	2 · 2230	62,63	300	62,63	62,9	4500	7800
Точіння чистове	30	30	73	2 · 210	62,21	74	62,21	62,28	390	620
Шліфування однократне	10	20	37	2 · 133	61,94	60	61,94	62,00	270	280

Оскільки механічна обробка виконується в центрах, похибка встановлення деталі в радіальному напрямку приймається рівною нулю. У зв'язку з цим сумарне відхилення визначається відповідно до методики [2, с. 72].

Залишкове просторове відхилення

Залишкові значення просторового відхилення після окремих етапів обробки становлять:

- після чорнового точіння

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 1830 = 109,8 \approx 110 \text{ мкм};$$

- 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 припусків. Мінімальні значення припусків визначаються за формулою [2, с. 92]:

$$2Z_{\min} = 2(RZ_{i-1} + T_{i-1} + \rho_i - 1).$$

Тоді мінімальні припуски становлять:

- 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

$$2Z_{\min}=2(30+30+73)=2\cdot133 \text{ мкм.}$$

Розрахункові розміри. Розрахункові значення діаметрів визначені як:

$$d_{P2}=61,94+0,266=62,206\approx62,21 \text{ мм;}$$

$$d_{P1}=62,21+0,420=62,63 \text{ мм;}$$

$$d_{P3}=62,63+4,460=67,09 \text{ мм.}$$

Найбільші граничні розміри

Найбільші граничні значення діаметрів становлять:

$$d_{\max3} = 61,94 + 0,06 = 62,00\text{мм;}$$

$$d_{\max2} = 62,21 + 0,074 = 62,28\text{мм;}$$

$$d_{\max1} = 62,6 + 0,3 = 62,9\text{мм;}$$

$$d_{\max3} = 67,1 + 3,6 = 70,7\text{мм;}$$

Граничні значення припусків

Граничні припуски визначаються як:

$$2Z_{\max3}^{\text{ГП}} = 62,28 - 62,00 = 0,28\text{мм} = 280\text{мкм;}$$

$$2Z_{\max2}^{\text{ГП}} = 62,9 - 62,28 = 0,62\text{мм} = 620\text{мкм;}$$

$$2Z_{\max1}^{\text{ГП}} = 70,7 - 62,9 = 0,27\text{мм} = 270\text{мкм;}$$

$$2Z_{\min3}^{\text{ГП}} = 62,21 - 61,94 = 0,27\text{мм} = 270\text{мкм;}$$

$$2Z_{\min2}^{\text{ГП}} = 62,6 - 62,21 = 0,39\text{мм} = 390\text{мкм;}$$

$$2Z_{\min1}^{\text{ГП}} = 67,1 - 62,6 = 4,5\text{мм} = 4500\text{мкм;}$$

Загальні припуски

Загальні значення припусків становлять:

$$2Z_{0\min} = 5160\text{мкм;}$$

$$2Z_{0\min} = 8700\text{мкм;}$$

Перевірка правильності розрахунків

Коректність розрахунків підтверджується виконанням умов:

$$2Z_{\max3}^{\text{ГП}} - 2Z_{\min3}^{\text{ГП}} = 280 - 270 = 10\text{мкм;}$$

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

$$2Z_{\max2}^{\text{ГП}} - 2Z_{\min2}^{\text{ГП}} = 620 - 390 = 230\text{мкм;}$$

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

$$2Z_{\max1}^{\text{ГП}} - 2Z_{\min1}^{\text{ГП}} = 7800 - 4500 = 3300\text{мкм;}$$

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

Отримані результати підтверджують правильність виконаних розрахунків.

Схему розташування припусків наведено на рисунку 3.3.

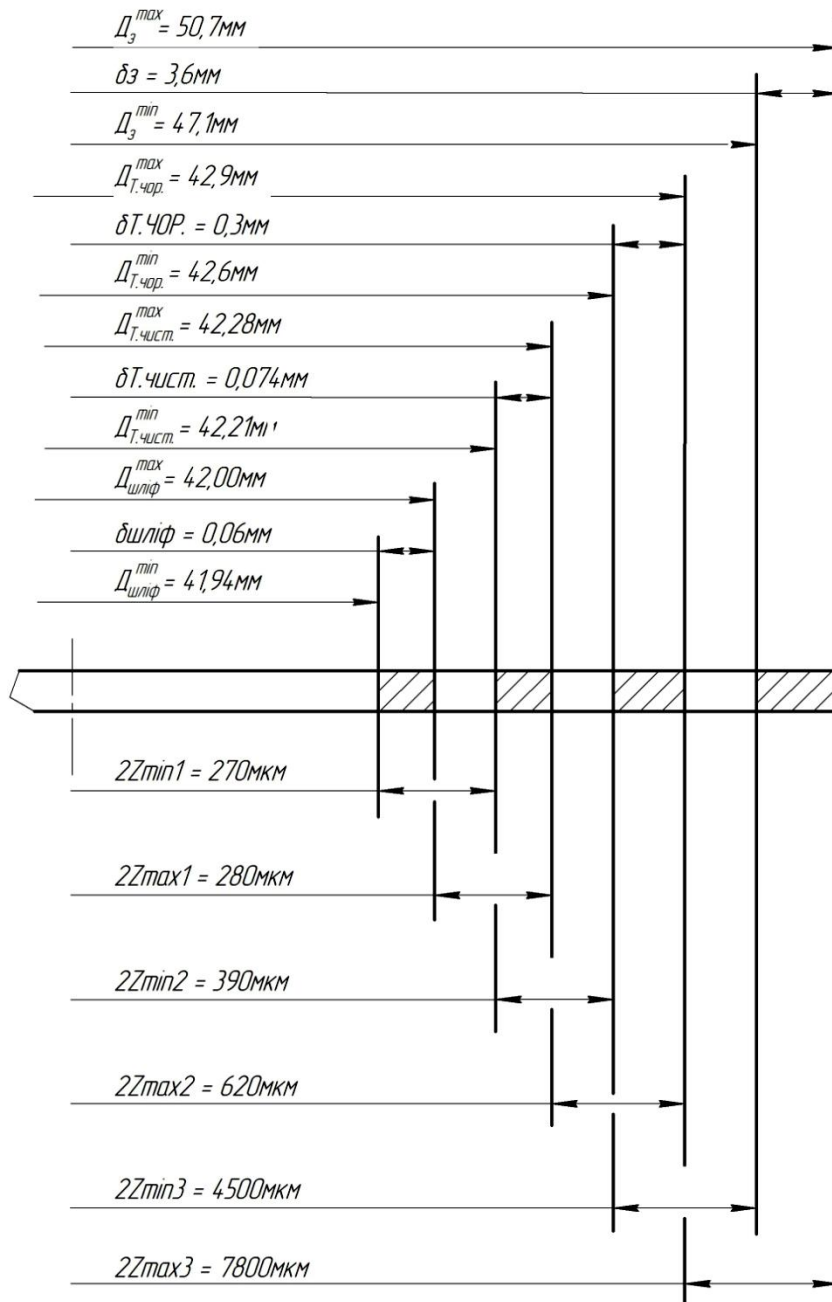


Рис.3.3. Схема графічного розташування припусків і допусків
поверхні Ø42h8

На основі виконаних розрахунків будується графічна схема розташування припусків і допусків для обробки поверхні Ø42h8. Для інших оброблюваних поверхонь заданих деталей припуски та допуски приймаються за табличними нормативними значеннями, після чого відповідні дані заносяться до таблиці 3.11.

Припуски на обробку заданих деталей

№ пов.-ні	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск $Z_{\min}$, мм	Технологічний допуск, мм
1, 1'	Торець	Точити начорно	4	1
		Точити начисто	2	0,2
2	2 отвори	Свердлити отвір	2,5	0,3
4	Фаска	Точити	1	0,2
5	Фаска	Точити	1	0,5
6	Зовнішня циліндрична поверхня	Точити начорно	3	0,8
		Точити начисто	1	0,148
		Шліфувати	0,25	0,046
7	Канавка	Розточити начорно	3	0,15
8	Гвинтова канавка	Розточити начорно	2	0,62
		Розточити начисто	1	0,062
		Розточити тонко	0,35	0,016
		Нарізати гвинтову канавку начорно	1,65	0,2
		Нарізати гвинтову канавку начисто	0,7	0,06
		Шліфувати канавку	0,2	0,016
9	Отвір	Свердлити	3,75	0,36
10	Отвір	Свердлити	3,65	0,09
		Розгорнути	0,5	0,022
11	Паз	Свердлити	6	0,43
		Фрезерувати	6	0,43
		Фрезерувати похилу поверхню	3	0,4
12	Паз	Свердлити	6	0,43
		Фрезерувати	6	0,07

3.12. Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання виконується для операції 010 механічної обробки деталі спецгайка. Як значення глибини різання приймаються максимальні припуски, визначені на попередніх етапах. Подача під час чистової обробки обираються залежно від вимог до параметра шорсткості оброблюваної поверхні та радіуса заокруглення вершини різального інструменту.

Визначення швидкості різання при точінні

Швидкість різання для токарної обробки визначається за емпіричною залежністю:

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

де C_v - враховує фактори, що не входять у формулу;

K_{mv} - коефіцієнт, що враховує вплив фізико - механічних властивостей оброблюємого матеріалу;

K_{nv} - коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхневого шару;

K_{uv} - коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу;

$K_{\varphi v}$ - коефіцієнт, що враховує вплив головного кута в плані;

$K_{\varphi 1v}$ - коефіцієнт, що враховує вплив допоміжного кута в плані;

K_r - коефіцієнт, що враховує вплив радіуса на вершині різця;

m - показник степені, що враховує період стійкості інструменту;

x - показник степені, що враховує глибину різання;

y - показник степені, що враховує величину подачі;

Розрахунок режимів різання для чорнового точіння торця

Вихідні дані:

- період стійкості інструменту $T=50$ хв;
- глибина різання $t=2,2$ мм;
- подача $S=0,6$ мм/об;
- розрахунковий діаметр $d=40$ мм.

Прийняті коефіцієнти (за довідковими даними):

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

Швидкість різання:

$$V=(330*0,64*0,8*0,8*1*1*1)/(50^{0,2}*2,2^{0,15}*0,6^{0,45})=74 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя:

$$n=1000*74/3,14*140=168 \text{ об/хв}$$

Хвилинна подача:

$$S_m = 0.6 \cdot 168 = 101 \text{ мм/хв}$$

Розрахунок режимів різання для свердління

Швидкість різання при свердлінні визначається за формулою:

$$V = (C_v \cdot D^q \cdot K_v) / T_m \cdot S_y$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{uv};$$

де

де K_{iv} - коефіцієнт що враховує глибину свердління;

q – коефіцієнт, що враховує діаметр свердління.

Вихідні дані:

- діаметр свердління $D = 40$ мм;
- подача $S = 0,23$ мм/об;
- період стійкості $T = 45$ хв.

Коефіцієнти (за [17]):

$$C_v = 9.8; K_{mv} = 0,64; K_{iv} = 1; K_{uv} = 1; y = 0.5; m = 0.2; q = 0.4;$$

Швидкість різання:

$$V = (9.8 \cdot 40^{0.4} \cdot 0.64 \cdot 1 \cdot 1) / (45^{0.2} \cdot 0.23^{0.5}) = 17.9 \text{ м/хв};$$

Частота обертання:

$$n = 1000 \cdot 17.9 / 3.14 \cdot 15 = 355 \text{ об/хв};$$

Хвилинна подача:

$$S_m = 0,23 \cdot 355 = 81,6 \text{ мм/хв};$$

Перевірка потужності верстата

Сила різання визначається за формулою:

$$P_z = 10 C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V_n \cdot K_p;$$

де

де $C_p = 300$ - коефіцієнт, що враховує параметри які не увійшли в формулу;

$t = 4$ мм - глибина різання;

$x = 1$ - показник степені, що враховує вплив глибини різання;

$S = 0.6$ мм - подача;

$y = 0.75$ - показник степені, що враховує вплив подачі;

$V = 74$ м/хв - швидкість різання;

$n = -0.15$ - показник степені, що враховує вплив швидкості різання;

$$K_p = K_{mp} * K_{\alpha p} * K_{\beta p} * K_{\gamma p};$$

Прийняті коефіцієнти:

де $K_{mp} = 1,58$ - коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу;

$K_{\alpha p} = 1$ - коефіцієнт, що враховує вплив кута α ;

$K_{\beta p} = 1$ - коефіцієнт, що враховує вплив кута β ;

$K_{\gamma p} = 1$ - коефіцієнт, що враховує вплив кута γ ;

Сила різання:

$$P_z = 10 * 300 * 4 * 0.6^{0.75} * 74^{-0.15} * 1.58 * 1 * 1 * 1 = 6777,3 \text{ Н};$$

Необхідна потужність:

$$N = P_z * V / 1020 * 60 < 30;$$

$$N = 6777,3 * 74 / 1020 * 60 = 8.1 < 30 \text{ кВт};$$

Оскільки $N < 30$ кВт, обробка на верстаті HAAS ST-20SS при прийнятих режимах можлива.

Визначення основного часу

Основний час обробки визначається за стандартною залежністю з урахуванням довжини робочого ходу інструмента.

$$t_0 = \frac{L_{p.x}}{n \cdot S};$$

де: $L_{p.x}$ – довжина робочого ходу кожного інструменту.

$$t_{01} = \frac{70}{168 \cdot 0,23} = 1,81 \text{ хв};$$

$$t_{02} = \frac{7.5}{355 \cdot 0,23} = 0,1 \text{ хв};$$

$$t_{03} = \frac{20}{660 \cdot 0,15} = 0,2 \text{ хв};$$

$$t_{04} = \frac{14}{223 \cdot 1,5} = 0,1 \text{ хв};$$

Сумарний основний час:

$$\Sigma t_0 = 1,81 + 0,1 + 0,2 + 0,1 = 2,21 \text{ хв};$$

Для інших технологічних операцій механічної обробки елементи режимів різання приймаються за довідковими таблицями. Результати вибору наведено в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12.

Режими різання на операціях механічної обробки деталі гайка

Номер		t, мм	S _{мм/об} S _{мм/хв}	V м/хв	n, хв. ⁻¹	t _о , хв
опер	перех					
1	2	3	4	5	6	7
005	1	4	100	38	80	0,8
010	1	2,5	0,19	13,4	500	0,2
015	1	2	0,4	157	800	13,068
	2	1	0,2	224	1000	
	3	3	0,35	130	630	
	4	1	0,16	209	1000	
	5	2	0,15	188	1000	
	6	1	0,09	211	1600	
	7	3,15	0,2	188	1000	
	8	1,65	0,1	22	160	
	9	0,7	0,05	35	200	
020	1	2	0,4	157	800	1,076
	2	1	0,2	224	1000	
	3	3	0,35	130	630	
	4	1	0,16	209	1000	
	5	1	0,09	211	1600	
025	1	3,75	0,19	13,2	500	0,19
	2	0,7	0,5	14,3	710	
030	1	3,75	0,19	13,2	500	0,15
035	1	6	0,25	24	500	0,24
	2	6	0,25	24	500	
040	1	6	194	67	1250	0,56
	2	6	194	67	1250	
	3	4	194	67	1250	
	4	4	194	67	1250	
045	1	6	0,25	24	500	0,24
	2	6	0,25	24	500	
050	1	6	194	67	1250	0,155
055	1	6	194	67	1250	0,155
060	1	0,5	0,3	35	2500	0,17

3.13. Технічне нормування операцій

Розрахунок норм часу виконується для операції 005 технологічного процесу механічної обробки деталі спецгайка.

Визначення автоматичного допоміжного часу.

З урахуванням наближеного характеру розрахунку для нормування автоматичного допоміжного часу використано усереднені дані для конкретного верстата. Приймається час на зміну одного інструмента 12 с, а також час допоміжних швидких переміщень без урахування розгону, гальмування робочих органів верстата та виконання специфічних технологічних прийомів.

Автоматичний допоміжний час визначається за формулою:

$$t_{да} = t_{зм} i + t_{уп}$$

де

де $t_{за}$ – час на заміну інструмента, $t_{зм} = 12$ с;

i – число інструментів;

$t_{пп}$ – час прискорених переміщень, $t_{пп}=57$ с.

Тоді:

$$t_{да} = 14 + 57 = 1,11 \text{ хв}$$

Розрахунок штучного часу

Штучний час визначається за формулою:

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

де $t_{авт}$ - автоматичний (програмний) час, який розрахуємо за формулою:

$$t_{авт} = t_{о а} + t_{в а}$$

де $t_{о}$ – основний час на обробку ($t_{о а} = 3,93$ хв)

$t_{в а}$ - автоматичний допоміжний час ($t_{в а} = 1,11$ хв)

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

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

$t_{д р}$ - допоміжний ручний час не перекриваємий машинним часом

$t_{вст.}$ - час на встановлення та зняття деталі ($t_{вст.}=0.19$ хв)

$t_{закр.}$ - час на закривання та відкривання робочої зони ($t_{закр.}=0.06$ хв)

$t_{вкл.}$ - час на включення та виключення верстату ($t_{вкл.}=0.06$ хв)

$$t_{д.р} = 0.06 + 0.06 + 0.19 = 0.31 \text{ хв}$$

$k=7$ -коефіцієнт, що враховує час на особисті потреби, регламентовані перерви, обслуговування робочого місця.

Отже, штучний час становить:

$$t_{шт} = (5.04 + 0.31) 1.07 = 5.52 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час

Підготовчо-заключний час визначається за формулою:

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

Складова $T_{пз1}$ включає:

- отримання завдання та інструмента — $t_{оз}=9$ хв;
- ознайомлення з документацією — $t_{озн}=2$ хв;
- інструктаж майстра — $t_{інс}=2$ хв;
- встановлення та зняття інструмента — $t_{вс.інст}=1$ хв;
- встановлення та зняття програмоносія — $t_{вс.пр}=1$ хв;
- перевірка зчитувального пристрою — $t_{пер.зч.пр}=1.2$ хв;
- введення програми в пам'ять верстата — $t_{в.пр}=1.4$ хв;
- встановлення нульових координат — $t_{вст.нуля}=2.5$ хв;
- пробна обробка — $t_{пр.обр}=6$ хв.

Сумарно:

$$T_{пз} = 4 + 2 + 2 + 5 \cdot 1 + 1 + 1.2 + 1.4 + 2.5 \cdot 5 + 6 = 35 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час

Штучно-калькуляційний час визначається за формулою:

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

де n - партія запуску $n = 400$

$$t_{шт.к.} = 5.52 + 35/400 = 5.6 \text{ хв}$$

Визначення норм часу для інших операцій технологічного процесу виконується за аналогічною методикою. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13.

Норми часу на обробку гайки

№ опер	t _о	t _{доп}	t _{ГО}	t _{орг.об.}	t _{від}	T _{шт}	T _{пз}	T _{шт.к}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
005	1,88	0,5	0,04	0,04	0,04	2,5	9	2,51
010	0,2	0,6	0,02	0,02	0,02	0,86	5	0,87
015	13,068	5,5	0,06	0,09	0,09	18,808	12	18,83
020	1,076	1,2	0,03	0,04	0,04	1,198	5	1,21
025	0,19	0,5	0,04	0,03	0,02	0,78	6	0,79
030	0,15	1,1	0,03	0,03	0,01	0,38	6	0,39
035	0,24	2,1	0,03	0,05	0,04	2,46	8	2,47
040	0,56	1,3	0,04	0,02	0,02	1,94	6	1,95
045	0,24	2,1	0,02	0,05	0,04	2,45	6	0,024
050	0,155	1,5	0,02	0,03	0,02	1,725	8	1,74
055	0,155	1,5	0,04	0,03	0,02	1,745	6	1,75
060	0,17	1,6	0,03	0,04	0,04	1,88	5	1,89

4. Економічна частина

4.1. Загальні вихідні дані

Для вирішення питання про економічну ефективність модернізованої конструкції в якості бази для порівняння приймаємо робот KUKA KR16, який послужив основою для модернізації.

Використання нової конструкції у роботизованому комплексі з токарним верстатом HAAS ST-20SS сприятиме вирішенню трьох завдань:

- покращення умов праці робітників-операторів, зокрема завдяки усуненню ручної малокваліфікованої праці;
- підвищення продуктивності праці на 10-12% за рахунок економії допоміжного часу (табл. 4.1);
- скорочення потреби в робочій силі.

Крім того, завдяки можливості швидкого переналагоджування промислового робота для виконання різних завдань, підвищується ефективність його використання за рахунок чергування великої номенклатури оброблюваних деталей.

Таблиця 4.1

Зміна структури штучного часу

№ з/п	Норма часу	Базовий варіант	Новий варіант
1.	Цикловий час, хв.	3,11	3,11
2.	Допоміжний час, хв.	0,33	0,07
3.	Оперативний час обробки деталі, хв.	3,44	3,18
4.	Час на обслуговування робочого місця, хв. (6% від оперативного часу)	0,20	0,18
5.	Час на особисті потреби, хв. (4% від оперативного часу)	0,14	-
6.	Штучний час обробки деталі, хв.	3,78	3,36
7.	Час налагодження обладнання, хв.	20	23

Загальні техніко-економічні показники базового та проектного варіантів зведено до табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Загальні вихідні техніко-економічні показники базового та нового верстатів

№ п/п	Показник	Одиниця	Варіанти	
			базовий	проект
1.	Програма виробництва деталей	шт./рік	7500	7500
2.	Штучний час обробки деталі	хв.	3,78	3,36
3.	Площа, яку займає обладнання	м ²	6,27	6,27
4.	Встановлена потужність електродвигунів:			
	- верстата		14,9	14,9
	- робота	кВт	10	13
6.	Категорія ремонтної складності: механічної/електричної частин	УРО	20/18	22/18
7.	Розряд роботи:			
	- оператора	розряд	4	4
	- наладчика	розряд	6	6
8.	Оптова ціна			
	- верстата	грн.	1755000	1755000
	- робота		84200	-

4.2. Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки)

Розрахунок виконуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^m B_i, \quad (4.1)$$

де B_z – витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальні потреби основних робітників, грн.;

B_e – витрати на силову електроенергію, грн.;

B_{mo} – витрати на допоміжні матеріали. грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

B_n – витрати на утримання приміщення, грн.;

B_a – витрати на амортизацію обладнання, грн.;

B_n – витрати на амортизацію обладнання, грн.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальне страхування оператора:

$$B_3 = C_r \frac{T_{шт}}{60} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_c), \quad (4.2)$$

де $T_{шт}$ – штучний час виготовлення деталі, хв.;

K_d, K_c – коефіцієнти додаткової зарплати та відрахувань на соціальне страхування відповідно.

В базовому варіанті:

$$B_{зб} = 77,979 \cdot \frac{3,78}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 6,5928 \text{ грн.};$$

В проектному варіанті:

$$B_{zn} = 77,979 \cdot \frac{3,36}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 5,8603 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію силову:

$$B_e = \frac{N_b \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_d}{\eta_m \cdot \eta_c} \cdot \frac{T_{um}}{60} \cdot C_{ел}, \quad (4.3)$$

де N_b – встановлена потужність електродвигунів роботизованого комплексу, кВт;

K_o – коефіцієнт одночасної роботи моторів ($K_o=0,65...0,8$);

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

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

η_c – середній коефіцієнт корисної дії електродвигунів ($\eta_c=0,86...0,9$);

η_m – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі підприємства ($\eta_m=0,92...0,96$);

$C_{\text{ел}}$ – ціна 1 кВт-год силової електроенергії, грн.

$$B_{\text{ел}}^{\text{баз}} = \frac{24,9 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 0,4}{0,88 \cdot 0,95} \cdot \frac{3,78}{60} \cdot 7,50 = 2,9554 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{ел}}^{\text{пр}} = \frac{27,9 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 0,4}{0,88 \cdot 0,95} \cdot \frac{3,36}{60} \cdot 7,50 = 2,7473 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{\text{мв}} = \frac{M_{\text{гв}} \cdot R_{\text{м}} \cdot T_{\text{шт}}}{60 \cdot 100} \cdot K_{\text{п}}, \quad (4.4)$$

де $M_{\text{гв}}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали на 1 УРО механічної частини всіх типів обладнання, коп.;

$R_{\text{м}}$ – категорія складності ремонту механічної частини обладнання, УРО;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва (для серійного $K_{\text{п}} = 1,0$).

$$B_{\text{дм}}^{\text{баз}} = \frac{79,5 \cdot 20,0 \cdot 3,78}{60 \cdot 100} \cdot 1,0 = 1,0017 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{дм}}^{\text{пр}} = \frac{79,5 \cdot 22,0 \cdot 3,36}{60 \cdot 100} \cdot 1,0 = 0,9794 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_{\text{р}} = \frac{R_{\text{м}} \cdot \Gamma_{\text{вм}} + R_{\text{с}} \cdot \Gamma_{\text{вс}}}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{\text{шт}}}{60}, \quad (4.5)$$

де $\Gamma_{\text{вм}}, \Gamma_{\text{вс}}$ – відповідні річні витрати на всі види ремонту на 1 УРО механічної та електричної частин вузла, грн./рік;

$F_{\text{дрм}}$ – дійсний річний фонд часу роботи верстата (при двозмінному режимі роботи для серійного виробництва – 3950 год.).

$$B_{\text{р}}^{\text{баз}} = \frac{20 \cdot 880 + 18 \cdot 720}{3980} \cdot \frac{3,78}{60} = 0,4874 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{р}}^{\text{пр}} = \frac{22 \cdot 880 + 18 \cdot 720}{3980} \cdot \frac{3,36}{60} = 0,4582 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання приміщення:

$$B_{\text{уп}} = \frac{F_o \cdot K_d \cdot C}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{\text{ум}}}{60}, \quad (4.6)$$

де F_o – виробнича площа, яку займає одиниця обладнання, м²;

K_d – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (на проходи, проїзди, побутові та службові приміщення);

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

$$B_{\text{уп}}^{\text{баз}} = \frac{6,27 \cdot 2,5 \cdot 3,78}{3980 \cdot 60} \cdot 780 = 0,1950 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{уп}}^{\text{пр}} = \frac{6,27 \cdot 2,5 \cdot 3,36}{3980 \cdot 60} \cdot 780 = 0,1733 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію роботизованого комплексу:

$$B_a = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_a}{F_{\text{дрм}} \cdot 100} \cdot \frac{T_{\text{ум}}}{60}, \quad (4.7)$$

де H_a – норма амортизації, %;

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

Балансову вартість обладнання знайдемо за формулою:

$$\Phi_{\text{бал}} = \Pi_{\text{опт}} \cdot (1 + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{ф}}), \quad (4.8)$$

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

$K_{\text{тр}}$, $K_{\text{м}}$, $K_{\text{ф}}$ – відповідно коефіцієнти, які враховують транспортування (0,05...0,1), монтаж (0,04...0,06) та влаштування фундаменту (0,02...0,08).

Таким чином, балансова вартість обладнання:

- верстата:

$$\Phi_{\text{бал.в}} = 1755000 \cdot (1 + 0,08 + 0,06 + 0,05) = 2088450 \text{ грн.},$$

- базового робота:

$$\Phi_{\text{бал.р}}^{\text{баз}} = 84200 \cdot (1 + 0,08 + 0,06 + 0,05) = 100198 \text{ грн.},$$

За попередніми прогнозами вартість робіт з проєктування та модернізації робота складають 5% від його вартості. Таким чином, ціна модернізованого робота складе $84200 \times 1,05 = 88410$ грн., а його балансова вартість:

$$\Phi_{\text{бал.р}}^{\text{баз}} = 88410 \cdot (1 + 0,08 + 0,06 + 0,05) = 105208 \text{ грн.},$$

$$B_a^{\text{б}} = \frac{(2088450 + 100298) \cdot 20 \cdot 3,78}{3980 \cdot 60 \cdot 100} = 6,9292 \text{ грн.},$$

$$B_a^{\text{нр}} = \frac{(2088450 + 105208) \cdot 20 \cdot 3,36}{3980 \cdot 60 \cdot 100} = 6,1731 \text{ грн.}$$

Витрати на налагодження роботизованого комплексу:

$$B_n = C_{\text{гн}} \cdot (1 + K_{\text{д}}) \cdot (1 + K_{\text{с}}) \cdot \frac{T_{\text{нз}} \cdot A}{60 \cdot N_{\text{д}}}, \quad (4.9)$$

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

A – кількість налагоджень за рік;

$T_{\text{нз}}$ – підготовчо-заклучний мас (час налагодження), хв.;

$N_{\text{д}}$ – річна програма випуску деталей, шт./рік.

$$B_n^{\text{баз}} = 103,972 \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot \frac{20 \cdot 12}{60 \cdot 10000} = 0,0558 \text{ грн.},$$

$$B_n^{\text{нр}} = 103,972 \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot \frac{23 \cdot 12}{60 \cdot 10000} = 0,0642 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків зводимо до табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Експлуатаційні витрати (собівартість обробки)

№ п/п	Експлуатаційні витрати	Умовне познач.	Варіанти	
			Базовий	Проектний
1.	Заробітна плата основна, додаткова з відрахуваннями у соціальні фонди	B_z	6,5928	5,8603
2.	Силовa електроенергія	$B_{\text{ел}}$	2,9554	2,7473
3.	Допоміжні матеріали	$B_{\text{дм}}$	1,0017	0,9794
4.	Ремонт обладнання	B_p	0,4874	0,4582
5.	Утримання приміщення	$B_{\text{ун}}$	0,1950	0,1733
6.	Амортизація обладнання	B_a	6,9292	6,1731
7.	Налагодження обладнання	B_n	0,0558	0,0642
Загальна сума		B_e	18,2173	16,4558

4.3. Розрахунок показників економічної ефективності

Річний економічний ефект від проведеної модернізації розрахуємо за формулою:

$$E_p = (B_e^{\text{баз}} - B_e^{\text{пр}}) \cdot N_d - E_n \cdot K_d, \quad (4.10)$$

де N_d – річна програма випуску деталей, шт.;

K_d – додаткові капітальні витрати, грн.

$$K_d = \Phi_{\text{бал.пр}} \cdot Q_{\text{пр}} - \Phi_{\text{бал.б}} \cdot Q_{\text{б}}, \quad (4.11)$$

де $\Phi_{\text{бал.пр}}$, $\Phi_{\text{бал.б}}$ – відповідно балансова вартість обладнання в проектному та базовому варіантах, грн.;

$Q_{\text{пр}}$, $Q_{\text{б}}$ – потреба в обладнанні відповідно в проектному і базовому варіантах.

Потребу в обладнанні визначаємо за формулою:

$$Q_p = \frac{N_d \cdot T_{\text{нор}}}{F_{\text{дрм}} \cdot 60 \cdot \kappa_{\text{с}}}, \quad (4.12)$$

де $\kappa_{\text{с}}$ – коефіцієнт виконання норм (за даними підприємства).

Так потреба в проектному варіанті:

$$Q_{p.\text{пр}} = \frac{7500 \cdot 3,36}{3980 \cdot 60 \cdot 1,01} = 0,11 \quad (Q_{\text{пр}}=1);$$

$$K_d = 105208 \cdot 1 - 100198 \cdot 1 = 5010 \text{ грн.}$$

$$E_p = (18,2173 - 16,4558) \cdot 7500 - 0,16 \cdot 5010 = 12410 \text{ грн.}$$

Строк окупності додаткових капітальних вкладень:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_d}{(B_e^{\text{баз}} - B_e^{\text{пр}}) \cdot N_d}, \quad (4.13)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{5010}{(18,2173 - 16,4558) \cdot 7500} = 0,4 \text{ року} = 4,5 \text{ міс.}$$

Визначимо показники ефективності використання нового роботизованого комплексу (РК) в умовах його застосування для обробки групи однотипних деталей (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Показники ефективності застосування РК для обробки групи деталей

№ з/п	Показник	Формула розрахунку	Базовий варіант	Новий варіант
1.	Середня величина партії деталей, шт.	$n = \frac{N_d}{A}$	$n_o = \frac{7500}{12} = 625$	$n_{np} = \frac{7500}{12} = 625$
2.	Річний обсяг випуску продукції на дільниці (в цеху), шт.	$N_{заг} = \frac{F_{дрм} \cdot \eta \cdot 60}{T_{шт} + \frac{T_{нз}}{n}}$, де η – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання	$\frac{3980 \cdot 0,85 \cdot 60}{3,78 + \frac{20}{625}} = 53248$	$\frac{3980 \cdot 0,85 \cdot 60}{3,36 + \frac{23}{625}} = 59756$
3.	Середня кількість найменувань деталей, які обробляються на РК протягом року	$\frac{\Phi_{дрм} \cdot \eta \cdot 60}{\rho \cdot t_{штнов} + t_{нз} \cdot A}$	$\frac{3980 \cdot 0,85 \cdot 60}{7500 \cdot 3,78 + 20 \cdot 12} = 7$	$\frac{3980 \cdot 0,85 \cdot 60}{7500 \cdot 3,36 + 23 \cdot 12} = 8$
4.	Річний час налагодження обладнання, год.	$T_{нз.p} = \frac{T_{нз} \cdot N_{заг}}{60 \cdot n}$	$\frac{20 \cdot 53248}{60 \cdot 625} = 28,4$	$\frac{23 \cdot 59756}{60 \cdot 625} = 36,7$
5.	Річний час роботи обладнання, год.	$T_{шт.p} = \frac{T_{шт} \cdot N_{заг}}{60}$	$\frac{3,78 \cdot 53248}{60} = 3354,6$	$\frac{3,36 \cdot 59756}{60} = 3346,3$
6.	Розрахункова кількість потрібного обладнання, шт.	$Q_p = \frac{T_{шт.p} + T_{нз.p}}{F_{дрм}}$	$\frac{3354,6 + 28,4}{3980} = 0,85$	$\frac{3346,3 + 36,7}{3980} = 0,85$

7.	Прийнята кількість обладнання, шт.	Q_{np}	$Q_{np.б}=1 (\eta=0,85)$	$Q_{np.нр}=1 (\eta=0,85)$
8.	Прийнята кількість операторів, осіб	$Q_{оп} = \frac{T_{шт.р}}{F_{оп} \cdot \kappa_{вн}}$	$Q_{оп.б} = \frac{3354,6}{1840 \cdot 1} = 1,88$	$Q_{оп.нр} = \frac{3346,3}{1840 \cdot 1} = 1,82$
9.	Кількість наладчиків, осіб	$Q_n = \frac{T_{нал.р}}{F_{дм}}$	$Q_{н.б} = \frac{28,4}{1840} = 0,02$	$Q_{н.нр} = \frac{36,7}{1840} = 0,02$
10.	Економія чисельності основних робітників, %	$E_{ч.оп} = \frac{Q_{оп.б} \cdot 100}{Q_{оп.нр}} - 100$	-	$E_{ч.оп} = \frac{1,88 \cdot 100}{1,82} - 100 = 3,3\%$

Визначимо річний економічний ефект і строк окупності додаткових капітальних витрат в розрахунку на можливий річний обсяг виробництва однотипних деталей дільниці (цеху) із застосуванням РК:

$$E_p = (18,2173 - 16,4558) \cdot 59756 - 0,16 \cdot 5010 = 104500 \text{ грн.};$$

$$T_{ок} = \frac{5010}{(18,2173 - 16,4558) \cdot 59756} = 0,05 \text{ року} = 0,6 \text{ міс.}$$

У підсумку складаємо зведену таблицю техніко-економічних показників проекту (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Підсумкові техніко-економічні показники базового та проектного варіантів

№ п/п	Показники	Одиниця	Базовий варіант	Проект	Зміна, % (+,-)
1.	Потреба в обладнанні РК:				
	-верстатах	шт./рік	1	1	—
	- роботах	шт./рік	1	1	—
2.	Річна програма виробництва умовної деталі	шт./рік	7500	7500	—

3.	Можливий річний обсяг випуску однотипних умовних деталей дільниці (цеху)	шт./рік	53248	59756	+12,2
3.	Штучний час обробки деталі	хв.	3,78	3,36	-11,1
4.	Оптова ціна:				
	- верстата	грн.	1755000	1755000	—
	- робота	грн.	84200	88410	+5,0
5.	Собівартість одиниці обробки	грн.	18,2173	16,4558	-9,7
6.	Орієнтовні витрати на підготовку виробництва, модернізацію, монтаж і відладку	грн.	—	4210	—
7.	Річний економічний ефект в розрахунку:				
	- на програму виробництва умовної деталі (I варіант)	грн.	—	12410	—
	- на можливий річний обсяг однотипних деталей дільниці (цеху) (II варіант)	грн.	—	104500	—
8.	Строк окупності додаткових капітальних витрат:				
	- у I варіанті	місяців	—	4,5	—
	- у II варіанті	місяців	—	0,6	—
9.	Економія чисельності операторів у II варіанті	%	—	3,3	—

Загальні висновки:

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

2. У розробленому технологічному процесі використано промислового робота KUKA KR16 сумісно з верстатом HAAS ST-20SS на токарній операції.

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

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

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

6. Надати відповідні висновки та рекомендації по кожному розділу.

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.

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