

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

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри
машинобудування, мехатроніки і
робототехніки
канд. техн. наук., доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА
« _____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

**Розробка технології механічної обробки деталі
гвинт гайка УЯИШ.715152.002**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го курсу
групи ПМ-22з-3
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Максим КУРІПКА

Керівник роботи к.т.н., доцент
_____ Кирил ЩЕРБИНА

Рецензент:

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніка і робототехніка
Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма: Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк

Завідувач кафедри
машинобудування, мехатроніки і
робототехніки
канд. техн. наук., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
Куріпка Максим Валерійович

Тема роботи:

Розробка технології механічної обробки деталі гвинт гайка
УЯИШ.715152.002

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Кирил ЩЕРБИНА

Затверджено наказом ЦНТУ від _____ 2026 року №

Строк подання роботи до захисту

20 червня 2026 р.

Мета та завдання кваліфікації роботи:

Мета підвищення продуктивності технологічного процесу для виготовлення
деталі гвинт гайка УЯИШ.715152.002

Завдання: обґрунтувати актуальність теми та напрямок розрахунків, провести
розрахунок технологічного процесу виготовлення деталі ротор.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	14.04.2026	
2	Виконання загальної частини	28.04.2026	
3	Виконання конструкторської частини	30.04.2026	
4	Розробка креслеників	30.04.2026	
5	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	12.05.2026	
6	Перевірка роботи на академічний плагіат	02.06.2026	
7	Рецензування роботи	12.06.2026	
8	Захист кваліфікаційної роботи	20.06.2026	

Дата видачі завдання
3 лютого 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Максим КУРІПКА

Керівник роботи _____ Кирил ЩЕРБИНА

АНОТАЦІЯ

Куріпка М.В. Розробка технології механічної обробки деталі гвинт гайка УЯИШ.715152.002 : кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. К.К. Щербина; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2026. 59 с.

Креслеників – разом 3 аркушів формату А1

Метою роботи є розробка технологічного процесу виготовлення деталі гвинт гайка УЯИШ.715152.002.

Актуальність роботи полягає в підвищенні продуктивності та зменшення собівартості виготовлення деталі за рахунок використання сучасного обробного обладнання.

В роботі виконано опис вузла та деталі та їх службового призначення, аналіз точності та технологічності, виконано розрахунок режимів обробки, припусків на обробку та нормування операцій.

технологічний процес, режими обробки, гвинт гайка , кульково-гвинтовий гідропідсилювач

ANNOTATION

Kurpika M.V. Developmet of machining technology for screw nut UYAISH.715152.002: qualification work for the education level “Bachelor”: specialty 131 Applied Mechanics / Scientific supervisor K.K. Shcherbyna; Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi: CNTU, 2026. 59 c.

Drawings - a total of 3 sheets of A1 format

The aim of the work is to develop a technological process for the manufacture of a screw nut UYAISH.715152.002.

The relevance of the work is to increase productivity and reduce the cost of manufacturing the part through the use of modern machining equipment.

The work describes the assembly and the part and their service purpose, analyzes the accuracy and manufacturability, calculates the machining modes, machining allowances and rationing of operations.

technological process, machining modes, screw and nut, ball-screw hydraulic booster

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

Розробка технології механічної обробки деталі гвинт гайка УЯИШ.715152.002

КРБ.ПМ.26.03.33.00.00

Виконав здобувач вищої освіти 4-го
курсу групи ПМ-22з-3
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна
механіка»

_____Максим КУРІПКА

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____Кирил ЩЕРБИНА

Кропивницький –2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. Загальна частина	8
1.1. Характеристика вузла та деталей, обраних для проектування технологічних процесів.....	8
1.2. Аналіз точності та технологічності деталей.....	18
2. Технологічна частина.....	21
2.1. Аналіз діючих технологічних процесів.....	21
2.2. Вибір заготовок та способу їх виготовлення.....	21
2.3. Вибір методів обробки поверхонь деталей.....	23
2.4. Розробка маршрутів виготовлення деталей.....	26
2.5. Вибір технологічних баз.....	28
2.6. Розробка структури технологічних операцій і вибір обладнання для їх здійснення.....	29
2.7. Вибір затискних пристроїв.....	40
2.8. Вибір різальних інструментів.....	42
2.9. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів.....	43
2.10. Визначення припусків та операційних розмірів деталей.....	45
2.11. Визначення режимів різання.....	48
2.12. Технічне нормування операцій.....	52
Висновки.....	55
Література.....	56

ВСТУП

Основною стратегічною метою розвитку машинобудівного комплексу держави є забезпечення внутрішнього ринку конкурентоспроможною наукоємною продукцією та експансія на глобальні високотехнологічні ринки. Досягнення визначених показників потребує системної трансформації галузі в ефективну, високотехнологічну сферу промисловості, що базується на принципах індустрії 4.0 та здатна оперативного адаптуватися до динамічних вимог світової економіки через активне впровадження інновацій та інтеграцію в міжнародну систему розподілу праці.

Реалізація зазначеної стратегії передбачає впровадження комплексу техніко-організаційних заходів, серед яких пріоритетними є реновація основних фондів шляхом технічного переоснащення і модернізації існуючих потужностей, а також інтеграція прогресивних технологій цифрового моделювання (CAD/CAM/CAE), автоматизованих систем керування та гнучких виробничих модулів. Важливими складовими цього процесу є стимулювання внутрішнього попиту через розвиток суміжних галузей та формування сприятливого кадрового середовища шляхом залучення висококваліфікованих інженерних фахівців. Системне застосування зазначених підходів сприятиме нарощуванню обсягів виробництва, розширенню номенклатури виробів та зміцненню експортного потенціалу національного сектору.

У межах даної кваліфікаційної роботи передбачається проектування та впровадження конструктивно обґрунтованих затискних пристроїв для обробки деталей типу «рейка-поршень» на верстатах із числовим програмним керуванням (ЧПК). Застосування спеціалізованого оснащення дозволить мінімізувати похибки базування, суттєво підвищити точність позиціонування та знизити витрати допоміжного часу, що в сукупності забезпечить інтенсифікацію технологічного процесу та зростання загальної продуктивності виготовлення виробу.

1. Загальна частина

1.1. Характеристика вузла та деталі, обраної для проектування технологічного процесу

Кульково-гвинтовий гідропідсилювач моделі ШВГУ 700 (рис. 1.1) являє собою механогідравлічний агрегат, інтегрований у систему рульового керування для трансформування та ампліфікації керуючого моменту, прикладеного оператором до рульового колеса.

Функціональне призначення даного вузла полягає у забезпеченні прецизійного позиціонування керованих коліс транспортного засобу шляхом конвертації вхідного зусилля у вихідний механічний рух через кінематичний ланцюг, що складається з кульково-гвинтової передачі (КГП) та гідравлічного виконавчого механізму.

Робочий цикл пристрою базується на принципі взаємодії гвинтової пари з циркулюючими тілами кочення, що дозволяє досягти високого показника ККД, мінімізувати втрати на тренування та забезпечити високу плавність ходу за мінімального люфту.

Гідравлічний контур системи дозволяє суттєво демпфувати навантаження на рульовому колесі, покращуючи маневреність та динамічні характеристики транспортного засобу, зокрема в режимах низьких швидкостей та значних кутів повороту. Конструктивне виконання гідропідсилювачів серії ШВГУ 700 оптимізоване для експлуатації у складі рульових систем транспортних засобів із розрахунковою швидкістю руху до 60 км/год.

Технічні характеристики вузла забезпечують необхідний запас втомної міцності, довговічність прецизійних поверхонь та стабільність функціонування в умовах інтенсивних знакозмінних механічних і гідравлічних навантажень.



Рис. 1.1. Кульково-гвинтовий гідропідсилювач ШВГУ 700

Процес керування реалізується за допомогою комбінованої механогідравлічної трансмісії, що інтегрує механічні передавальні механізми з гідравлічним контуром підсилення зусилля. Така архітектура забезпечує необхідну передачу керуючого впливу з одночасною ампліфікацією потужності за рахунок гідравлічної енергії робочого середовища. Для детального аналізу конструктивної компоновки, ідентифікації функціональних зв'язків та дослідження динаміки робочих процесів розглянемо гідрокінематичну схему пристрою. Дана схема візуалізує взаємодію механічних ланок із гідравлічними виконавчими елементами, відображаючи шляхи проходження потоків рідини, розподіл тиску в магістралях та кінематичну послідовність передачі моменту в різних режимах експлуатації. (рис. 1.2).

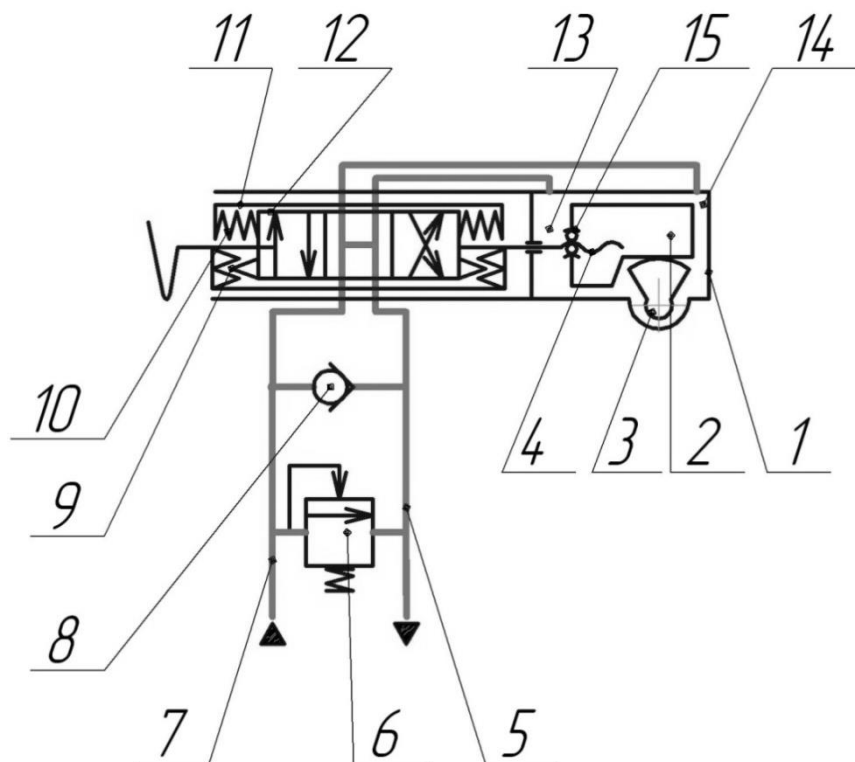


Рис. 1.2. Гідрокінематична схема ШВГУ:

1 – картер; 2 – рейка-поршень; 3 – вал-сектор; 4 – кульково-гвинтова передача; 5 – магістраль зливу; 6 – запобіжний клапан; 7 – магістраль напору; 8 – зворотній клапан; 9 – муфта; 10 – пружний елемент; 11 – зовнішній золотник; 12 – внутрішній золотник; 13, 14 – опозитні порожнини; 15 – гайка кульково-гвинтової передачі.

Кульково-гвинтовий механізм з гідропідсиленням моделі ШВГУ 700 класифікується як інтегрований механогідравлічний агрегат двосторонньої дії. Функціональна архітектура пристрою забезпечує синергію механічних передач та гідравлічного привода для генерації та ампліфікації вихідного крутного моменту. Моноблочне компонування основних вузлів у єдиному корпусі (картері) 1 дозволяє мінімізувати масогабаритні характеристики системи та підвищити жорсткість конструкції.

Конструктивна специфікація ШВГУ 700 охоплює наступні функціональні блоки та елементи:

Гідравлічний розподільник стежного типу: прецизійна пара, що складається із зовнішнього 11 та внутрішнього 12 золотників, оснащена торсіонними пружними

елементами 10 та обмежувальною муфтою 9, яка детермінує діапазон кутового зміщення золотникової пари.

Гідравлічні комунікації: напірна 5 та зливна 7 магістралі, що забезпечують циркуляцію робочої рідини в контурі.

Клапанна апаратура: запобіжний клапан 6, призначений для обмеження максимального робочого тиску в системі, та зворотний клапан 8, що запобігає кавітаційним явищам та забезпечує функціонування пристрою за негативних перепадів тиску.

Виконавчий механізм: рейкова передача у складі рейки-поршня 2 та зубчастого вала-сектора 3, що здійснює перетворення поступального руху в кутове переміщення.

Перетворювальний механізм: високоефективна кульково-гвинтова передача (КГП), утворена ходовим гвинтом 4 та інтегрованим гвинтовим каналом у рейці-поршні 2.

Гідравлічні камери: опозитні робочі порожнини 13 та 14, сформовані шляхом герметичного розділення внутрішнього об'єму картера 1 поршневою групою на дві ізольовані зони високого та низького тиску.

Принцип функціонування механогідравлічного агрегату ШВГУ базується на алгоритмі подвійної дії, що поєднує гідростатичний привід та механічну передачу. У номінальному режимі експлуатації генерація вихідного зусилля реалізується переважно за рахунок перепаду тиску робочого середовища, який детермінує прецизійне переміщення рейки-поршня 2 у внутрішній порожнині картера. Трансляція поступального руху рейки в кутове зміщення вала-сектора 3 здійснюється через зубчасте зачеплення, при цьому кульково-гвинтова передача (КГП) виконує функцію механічного зворотного зв'язку, забезпечуючи стежну відповідність між вхідним сигналом та вихідною координатою.

У разі деградації або повної відмови гідросистеми (аварійний режим) пристрій переходить на пряму механічну трансляцію моменту. Зусилля від вхідного вала через гвинт 4 та муфту 9 передається безпосередньо на рейку-поршень 2. Для мінімізації гідравлічного опору в цьому режимі ініціюється розкриття зворотного

клапана 8: під дією розрідження в порожнині, об'єм якої зростає, клапан забезпечує вільне перетікання робочої рідини між опозитними камерами 13 та 14 за замкненим контуром, нівелюючи ефект гідравлічного замикання.

Процес розподілу робочої рідини здійснюється прецизійною золотниковою парою. Взаємне кутове зміщення внутрішнього 12 та зовнішнього 11 золотників (у межах конструктивного зазору муфти 9) формує гідравлічні канали для спрямування потоку з напірної магістралі 5 до відповідної робочої порожнини (13 або 14). Виникаючий гідростатичний тиск ініціює переміщення рейки-поршня 2, тоді як із протилежної камери відбувається примусове витіснення рідини в зливну магістраль 7.

Кінематична узгодженість системи підтримується жорстким механічним зв'язком зовнішнього золотника 11 із гвинтом 4. Синхронна зміна їх кутового положення в процесі переміщення рейки-поршня замикає контур стежного керування, що гарантує високу статичну та динамічну точність відпрацювання вхідного впливу.

Динамічні характеристики керування ШВГУ визначаються часовою кореляцією між вхідним сигналом (кутовим зміщенням внутрішнього золотника 12) та кінематичною реакцією вихідної ланки (вала-сектора 3). Гістерезис та фазове запізнення в даному ланцюзі детермінують експлуатаційну точність системи. Час релаксації золотникового механізму до нейтрального положення є функцією жорсткості пружного елемента 10 та амплітуди кута вільного ходу, обмеженого муфтою 9. Гіпертрофовані значення цих параметрів призводять до зниження динамічної точності через інерційність відпрацювання виконавчим органом керуючого впливу.

Оптимізація прецизійності системи досягається шляхом мінімізації кута вільного ходу муфти 9 та інтенсифікації жорсткості пружних елементів 10, що забезпечує операційну реактивність повернення розподільника у вихідний стан після припинення силового впливу на вхідну ланку.

На рис. 1.3 представлена конструктивна архітектура агрегату. Картер 1 має ортогональну Т-подібну конфігурацію, утворену спряженням двох циліндричних

об'ємів. У робочій порожнині інтегровано гвинт 2 у зборі з ротором 3 та поршневою групою 4, які спільно з гайкою 5 формують кульково-гвинтову передачу з високим ККД. Рейка-поршень 6, кінематично пов'язана з гайкою, входить у зачеплення з валом-сектором 7, утворюючи силову рейкову передачу. Опорні вузли вала-сектора виконані на базі прецизійних роликів підшипників 8, що мінімізує момент тертя при повороті. Ротор 3 функціонує як первинна ланка системи: на його зовнішній поверхні виконані евольвентні поздовжні шліци 9, що спрягаються зі шліцами 10 на внутрішньому діаметрі гвинта 2, утворюючи жорстке шліцьове з'єднання для передачі крутного моменту.

Резюмуючи, гідропідсилювач моделі ШВГУ 700 є прецизійним механогідролічним пристроєм з високою енергетичною щільністю та багаторівневою надійністю. Можливість збереження функціональності при деградації гідролічного контуру забезпечує необхідну живучість системи, що робить дану конструкцію оптимальною для застосування в рульових керуваннях спеціалізованої техніки.

Отже, внутрішня циліндрична поверхня гвинта 2 функціонує як зовнішній золотник, тоді як прецизійна зовнішня поверхня ротора 3 виконує роль внутрішнього золотника гідророзподільника. Така конструктивна конвергенція забезпечує високу компактність агрегату, мінімізацію масогабаритних характеристик та підвищену функціональну точність контуру керування.

До основного картера 1 кріпиться автономний корпус гідророзподільника 11, у якому інтегровано систему каналів для циркуляції робочого середовища: напірні 12 та зливні 13 магістралі, а також технологічні порожнини для розміщення запобіжної та зворотньої клапанної апаратури. Системна герметичність забезпечується комплексом ущільнювальних елементів 14, які нівелюють внутрішні витоки та зовнішню ексфільтрацію рідини, що є критичною умовою для підтримання номінального гідростатичного тиску в робочих камерах.

З точки зору геометричної конфігурації, рейка-поршень виконана у формі порожнистого циліндра, внутрішній діаметр якого спряжений із зовнішнім діаметром гайки кульково-гвинтової передачі. На зовнішній твірній поверхні

рейки-поршня прецизійно нарізано два ряди зубців для формування рейкового зачеплення з валом-сектором. Жорстка фіксація гайки відносно рейки-поршня реалізована за допомогою клинового з'єднання, що гарантує безлюфтову передачу зусилля та високу втомну міцність вузла.

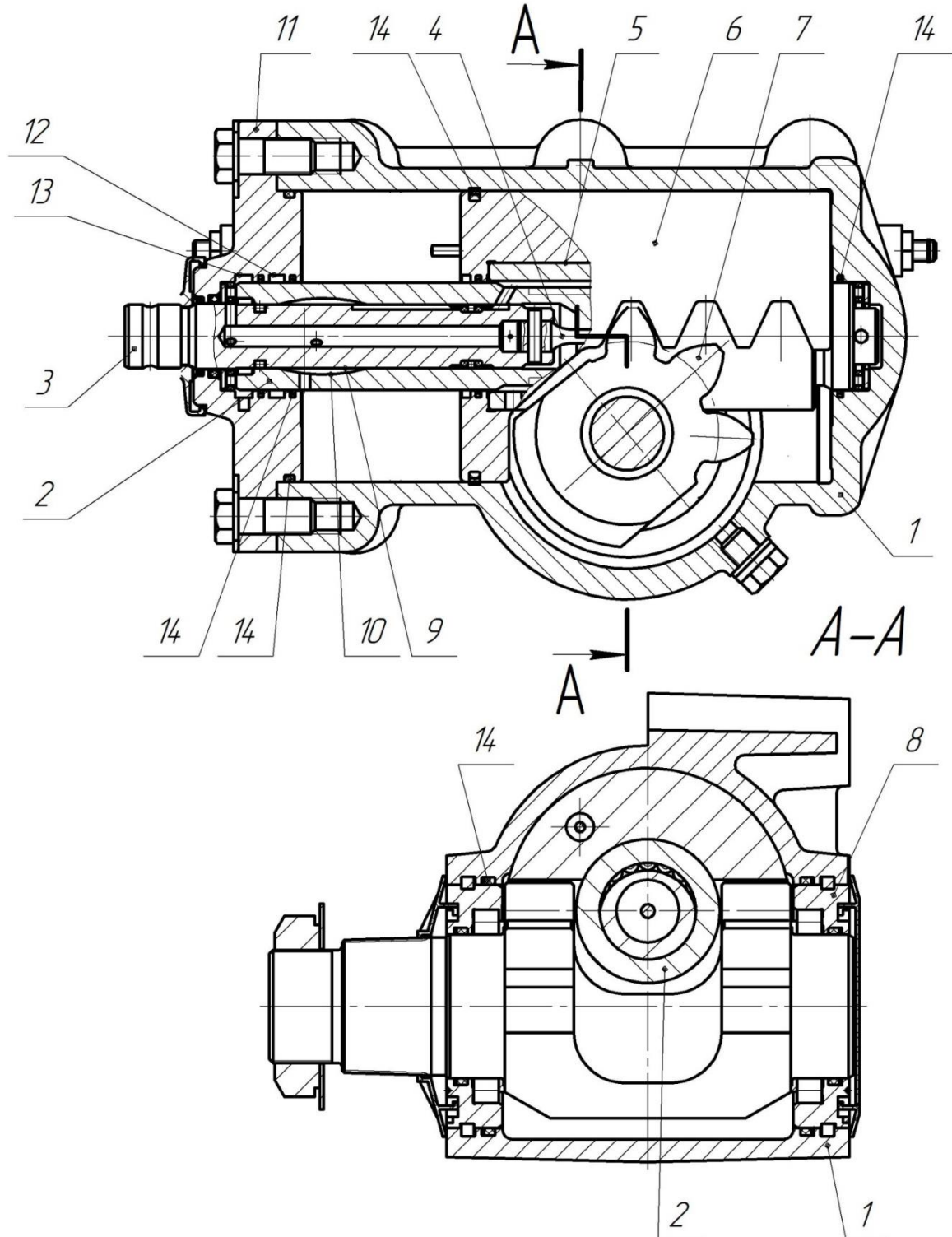


Рис. 1.3. Конструктивне виконання ШВГУ

Внутрішня порожнина гайки містить гвинт, кінематично пов'язаний із рульовим валом через торсіонний елемент, що виконує роль пружного датчика моменту. Рульовий вал жорстко інтегрований з ротором 3, формуючи вхідну ланку системи ШВГУ, при цьому гвинт одночасно виступає активним елементом розподілу потоків робочої рідини, що замикає стежний цикл керування.

Для забезпечення високого ресурсу та реверсивності кульково-гвинтової передачі (КГП) між гвинтовими поверхнями гвинта та гайки інтегровано антифрикційні елементи — сталеві прецизійні кульки, що функціонують у режимі двох незалежних замкнених контурів рециркуляції. Крайні точки кожної робочої канавки сполучені через напрямні вкладиші, які утворюють зворотні канали для безперервного потоку тіл кочення. Під час кутового зміщення гвинта кульки здійснюють планетарний рух по спіральній траєкторії, послідовно проходячи через вхідний вкладиш, систему рециркуляції та повертаючись у зону активного силового контакту через вихідний вкладиш. Дана архітектура замкненого циклу мінімізує коефіцієнт тертя, нівелює ефект заклинювання та гарантує високу плавність ходу механізму.

Кінематичне перетворення здійснюється за наступним алгоритмом: обертальний момент гвинта трансформується у прямолінійне поступальне переміщення гайки, жорстко інтегрованої з рейкою-поршнем. Це лінійне переміщення ініціює кутовий поворот вала-сектора через зубчасте рейкове зачеплення. Кінцевий вихідний момент із вала-сектора передається на рульову сошку, яка здійснює силовий вплив на привід рульової трапеції для повороту керованих коліс транспортного засобу.

Деталь «Гвинт гайка УЯИШ.715152.002» за класифікаційними ознаками належить до деталей типу «втулка» з елементами кульково-гвинтової передачі. Основними технологічними базами для більшості операцій механічного оброблення виступають площини торців та внутрішній прецизійний отвір. Оскільки переважна більшість поверхонь деталі є функціонально активними (робочими), технологічний процес їх виготовлення має забезпечувати високі якості точності та параметри шорсткості.

Конструктивна взаємодія деталі в складальній одиниці реалізується за такою схемою: зовнішня циліндрична поверхня гайки спрягається з внутрішнім діаметром рейки-поршня, що має форму порожнистого циліндра. Кінематичний зв'язок між гайкою та рейкою-поршнем забезпечується за допомогою клинового з'єднання, що гарантує жорсткість та відсутність відносних переміщень. На одній із граней рейки-поршня розташовані два ряди зубців, які формують зачеплення з валом-сектором.

Внутрішній функціонал деталі забезпечує роботу кульково-гвинтової гідропередачі (КГГП):

У порожнині гайки розташований ходовий гвинт, який через торсіонний вал жорстко сполучений із ротором-розподільником.

Для інтенсифікації ресурсу та забезпечення повної реверсивності механізму в гвинтові канали інтегровано два незалежні замкнені потоки тїл кочення (кульок).

Рециркуляція кульок реалізується через спеціальні вкладиші-напрямні, що замикають контур кожної гвинтової канавки.

Технологічний цикл спрацювання вузла полягає в трансформації обертального моменту гвинта у поступальне переміщення гайки та рейки-поршня вздовж центральної осі. Під час руху кульки безперервно циркулюють через вкладиші, повертаючись у робочу зону контакту. Поступальний рух рейки-поршня через зубчасту передачу ініціює кутове зміщення вала-сектора, що призводить до повороту рульової сошки та, як наслідок, зміни положення керованих коліс транспортного засобу.

Ескізи деталі гвинт гайка представлений на рис. 1.4.

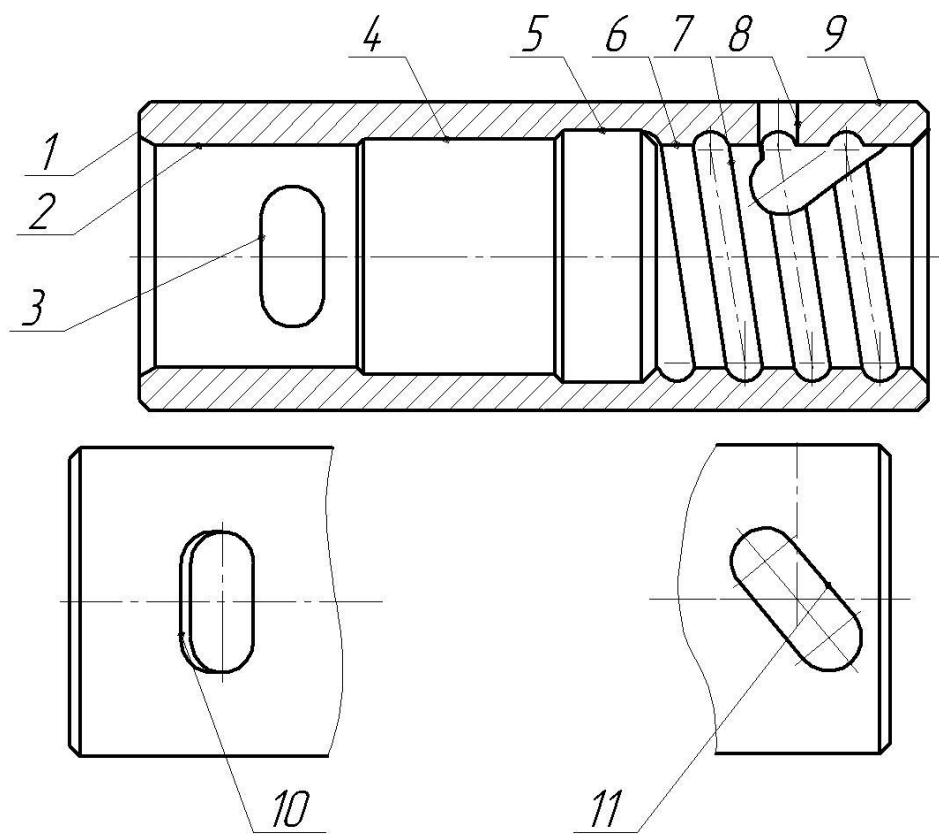


Рис. 1.4. Ескіз деталі гвинт-гайка

1.2. Аналіз точності та технологічності деталі

Для проведення по елементного аналізу параметричної точності виконавчих поверхонь розроблено конструкторсько-технологічні ескізи деталей «гвинт-гайка» (рис. 1.4). На ескізах ідентифіковано поверхні, що підлягають механічній обробці, а результуючі дані аналізу точності систематизовано в таблиці 2.1.

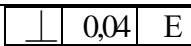
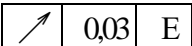
Результати метрологічного аналізу свідчать, що геометричні параметри деталей задані в обсязі, достатньому для проектування технологічного процесу. Простановка лінійних та кутових розмірів виконана за комбінованим методом. Номінальні значення розмірів узгоджуються з нормальними рядами чисел (ДСТУ/ГОСТ), проте виявлено окремі відхилення, що не повною мірою відповідають стандартним рядам квалітетів, що потребує додаткового технологічного обґрунтування.

Показники прецизійності деталі «гвинт гайка» Критичними з точки зору функціонування кульково-гвинтової пари є:

- Гвинтова канавка 7: діаметр $\varnothing 47,8$ мм з особливо низьким параметром шорсткості Ra 0,2 мкм, що критично для мінімізації моменту тертя кочення. Зовнішня циліндрична поверхня 9: $\varnothing 58,5_{-0,46}$ мм, шорсткість Ra 1,6 мкм. Конструктивне виконання деталей забезпечує безперешкодний доступ різального та контрольно-вимірювального інструментів до всіх поверхонь, що обробляються. Технологічність конструкцій дозволяє застосовувати типові методи лезової та абразивної обробки на універсальному та спеціалізованому обладнанні з використанням стандартної номенклатури інструментального оснащення.

Таблиця 1.1

Параметри точності деталей

Позначення поверхні	Назва поверхні	Розмір з відхиленнями, заданими від даної поверхні	Квалітет точності	Точність відносних поворотів, відстаней, розміщення поверхонь	Точність форми	Шорсткість поверхні	Вагомість поверхні, як конструкторської
1	2	3	4	5	6	7	8
Гайка УЯИШ.715152.003М							
1	Торець	151 ^{-0,25}	H11			1,6	4
2	Отвір	Ø42,5 ^{+0,25}	H12			1,6	4
3	Пази	27 ^{+0,5} 12 ^{+0,07} R6	H10			2,5	3
4	Отвір	Ø45 ^{+0,5}	-			1,6	4
5	Карман	Ø48,3 ^{+0,2} 15 ^{+0,4}	-			6,3	3
6	Отвір	Ø42,7 ^{+0,52}	-			2,5	4
7	Гвинтова канавка	Ø42,7 ^{+0,1} Ø47,8	H10			0,2	1
8	Отвір	Ø7,5 ^{+0,09}	H11			3,2	2
9	Зовнішня циліндрична поверхня	Ø58,5 ^{-0,046}	h8			1,6	1
10	Похила поверхня	15 ⁰ R4	-			2,5	5
11	Пази	30 ^{+0,084} 12 ^{+0,07} R6	H10			2,5	3

Аналіз технологічності конструкції деталі «Гайка УЯИШ.715152.003М» дозволяє зробити висновок про її повну відповідність вимогам сучасного автоматизованого виробництва.

Геометрична конфігурація деталі характеризується наявністю поверхонь правильної форми, що забезпечує отримання заготовки з раціональними припусками та стабільними фізико-механічними властивостями. Більшість поверхонь, що підлягають механічній обробці, мають відкритий контур, що

гарантує вільне підведення різального інструменту та безперешкодний доступ засобів технічного контролю. Конструктивне розташування та морфологія основних технологічних баз дозволяють реалізувати ефективні схеми базування та закріплення, що істотно спрощує структуру технологічного процесу.

Найбільшу технологічну складність становить обробка внутрішньої прецизійної гвинтової канавки. Дана операція потребує застосування спеціалізованого різального інструменту (мітчиків для КПП або спеціальних різців) та суворого дотримання параметрів кінематичної точності й шорсткості поверхні для забезпечення номінального контакту з тілами кочення.

Основні висновки щодо технологічності:

Доступність поверхонь: Конструкція забезпечує високу маневреність інструменту; відсутні важкодоступні зони або «глухі» отвори зі складною геометрією.

Обґрунтованість допусків: Точність виконавчих поверхонь відповідає їх функціональному призначенню; для невідповідальних елементів призначено 14-й квалітет (IT14), що дозволяє застосовувати методи продуктивної чорнової обробки.

Дотримання принципів базування: В основу технологічного процесу закладено принципи єдності та постійності баз, що мінімізує похибки базування та суттєво знижує ймовірність виникнення технічного браку.

Комплексний аналіз конструктивно-технологічних параметрів деталі Гайка УЯИШ.715152.003М підтверджує її високу технологічність, що дозволяє використовувати як універсальне обладнання, так і високоефективні верстати з ЧПК.

2. Технологічна частина

2.1 Аналіз діючого технологічного процесу

Аналіз чинного технологічного процесу механічної обробки деталі «Гайка УЯИШ.715152.003М» на базовому підприємстві підтверджує його здатність забезпечувати встановлені параметри точності та якісні показники згідно з технічними вимогами.

У межах існуючого процесу реалізовано принцип суміщення (єдності) конструкторських і технологічних баз. Механічна обробка на всіх етапах — від чорнового до фінішного — здійснюється у спеціалізованому оснащенні. Базування деталі виконується за комбінованою схемою: по зовнішній циліндричній поверхні (подвійна напрямна база) та осьовому упору, що гарантує необхідну співвісність та перпендикулярність поверхонь.

Нинішній технологічний цикл базується на використанні спеціалізованого високопродуктивного обладнання. Проте застосування жорсткого технологічного оснащення, спроектованого виключно під дану номенклатуру виробів, призводить до низької гнучкості виробництва: переналагодження ліній на випуск інших одиниць продукції потребує значних часових та фінансових витрат.

2.2. Вибір заготовок та способу їх виготовлення

Вибір методу отримання заготовок для деталей машинобудування є багатофакторним завданням, що базується на аналізі функціонального призначення та конструктивної складності виробу, фізико-механічних властивостей матеріалу, технічних умов експлуатації та техніко-економічних показників виробництва. Для раціонального проектування заготовки необхідно забезпечити комплексний підхід, оскільки між геометричними параметрами, матеріаломісткістю та наступною трудомісткістю механічної обробки існує детермінований взаємозв'язок.

Матеріалом для виготовлення деталі гвинт гайка згідно з технічним завданням є конструкційна легована сталь марки 20ХГНР (ДСТУ/ГОСТ 4543).

Таблиця 2.4

Хімічний склад матеріалу деталі гайка

Марка матеріалу	Вміст елементів, %			
	C	Si	Mn	Cr
Сталь 20ХГНР ГОСТ4543-71	0,15-0,21	0,17-0,37	0,5-0,8	0,7-1,0

Таблиця 2.5

Механічні властивості матеріалу деталі гайка

Марка матеріалу	δ_T	δ_B	Твердість, НВ
	МПа	МПа	
Сталь 20ХГНР ГОСТ 4543-71	80	100	240...300

Сталь 20ХГНР використовується для деталей, які працюють при великих
Враховуючи конструктивну форму деталі гайка та її службове призначення,
обираємо метод отримання заготовки з прутка.

Пруток, який максимально наближений до розмірів деталей, дозволяє з
найменшими витратами виготовляти вироби.

Заміна прутка на сортовий прокат (з осьовим отвором) дає можливість
виготовляти деталі з меншими припусками на обробку центрального отвору.

На підставі аналізу деталі гайка по кресленню, довідковій літературі, обираємо
два види отримання відливки: пруток та сортовий прокат.

Щоб остаточно переконатись в правильності вибраного методу отримання
заготовки, проведемо вартісний аналіз двох варіантів.

Вартість заготовки з прутка визначається за формулою:

$$S_{заг} = QS - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх}}{1000},$$

де: Q - маса заготовки;

S - ціна 1 кг матеріалу заготовки;

q - маса деталі;

$S_{відх}$ - вартість 1т відходів.

$$S_{заг1} = 2,7 \cdot 28 - (2,7 - 1,1) \cdot \frac{2600}{1000} = 71,44 \text{ грн.}$$

Вартість заготовки при сортовому прокаті:

$$S_{заг} = QS - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх}}{1000},$$

$$S_{заг2} = 1,74 \cdot 28 - (1,74 - 1,1) \cdot \frac{2600}{1000} = 47,06 \text{ грн.}$$

$$E_3 = (71,44 - 47,06) \cdot 7500 = 182850 \text{ грн.}$$

Виходячи з цього, остаточно приймаємо метод отримання заготовки деталі гайка – сортовий прокат.

2.3. Вибір методів обробки поверхонь

Сучасна теорія технології машинобудування розглядає процес розроблення раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі як цілеспрямований багатоетапний пошук. Побудова ефективного технологічного процесу вимагає системної інтеграції даних про виріб і базується на комплексному врахуванні низки чинників: конструктивно-експлуатаційних (параметри конструкції, функціональне призначення, специфіка матеріалу), технологічних (наявні виробничі ресурси та засади управління середовищем), а також організаційно-економічних, що включають критерії економічної доцільності та об'єктивні виробничі обмеження.

Визначальну роль у проектуванні відіграє вибір оптимального маршруту обробки кожної окремої поверхні деталі, оскільки саме цей етап детермінує структуру міжопераційних переходів та фінальні показники точності. Базовим концептом для вирішення цього завдання є формування допустимої множини технологічних маршрутів. Вона створюється шляхом порівняльного аналізу варіантів обробки для гарантованого забезпечення заданого квалітету точності (IT) та параметра шорсткості (Ra) згідно з конструкторською документацією. При цьому обов'язково враховується закон копіювання похибок, що дозволяє оцінити технологічну спадковість і закономірності перенесення геометричних

відхилень від вихідної заготовки до отриманої поверхні на кожному наступному переході.

Для практичної реалізації цього підходу застосовуються формалізовані алгоритми, що спираються на типові послідовності формоутворення (точіння, шліфування, шліцефрезерування тощо), які регламентовані нормативно-технічними матеріалами. Оцінка здійснюється за критеріями економічної точності з використанням аналітичних таблиць, що містять емпіричні дані щодо досяжних параметрів для кожного методу обробки з огляду на тип обладнання, режими різання та фізико-механічні властивості матеріалу. Таким чином, синтез оптимального маршруту обробки елементарних поверхонь є критично важливим етапом проектування, від якого безпосередньо залежить виконання технічних умов до готової деталі та рівень загальної техніко-економічної ефективності машинобудівного виробництва.

Загальне уточнення розраховується за формулою:

$$\varepsilon_3 = \delta_3 / \delta_d,$$

де: δ_3 - допуск на розмір поверхні заготовки, яка підлягає неодноразовій механічній обробці;

δ_d - допуск на розмір тієї ж поверхні, після її обробки.

Допуск на деталь становить $\delta_d = 0,046$ мм, а допуск на заготовку $\delta_3 = 0,74$ мм.

Вибираємо два маршрути обробки поверхні.

Перший маршрут відповідає базовому технологічному процесу. Він складається з:

- точіння чорного $\delta_1 = 0,46$ мм
- точіння напівчистового $\delta_2 = 0,19$ мм
- точіння чистового $\delta_3 = 0,062$ мм
- точіння тонкого $\delta_4 = 0,09$ мм

Другий маршрут складається з:

- точіння чорнове $\delta_1 = 0,54$ мм

- точіння нормальне $\delta_2 = 0,22$ мм

- шліфування $\delta_3 = 0,046$ мм

Загальне уточнення $\varepsilon_{\text{заг}} = 16,09$.

Розрахунки маршрутів обробки інших поверхонь деталі гвинт гайка наведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

Таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь деталі гайка
УЯИШ.715152.003М

Позначення поверхні	Допуск на поверхню по кресленню, δ_d мм	Шорсткість поверхні, мкм	Допуск на заготовку по поверхні, δ_2 мм	Загальне уточнення ε_3	Можливі технологічні маршрути обробки поверхні		Економічні допуски на проміжні методи обробки	Частинні коефіцієнти уточнення	$\Pi\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \dots \varepsilon_i$
					№	Зміст маршруту			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,25	1,6	0,4	1,6	1	Точіння чорнове	0,35	1,14	1,6
						Точіння чистове	0,3	1,17	
						Шліфування	0,25	1,2	
					2	Точіння чорнове	0,3	1,33	1,64
						Точіння чистове	0,25	1,2	
5	0,16	6,3	0,62	3,87	1	Розточування чорнове	0,39	1,58	3,87
						Розточування напівчистове	0,25	1,56	
						Розточування чистове	0,16	1,56	
					2	Розточування чорнове	0,39	1,58	3,89
						Розточування чистове	0,16	2,44	
9	0,046	1,6	0,74	16,09	1	Точіння чорнове	0,19	3,89	16,09
						Точіння чистове	0,074	2,58	
						Шліфування	0,046	1,61	
					2	Точіння чорнове	0,46	1,61	16,1
						Точіння напівчистове	0,19	2,42	
						Точіння чистове	0,062	3,06	
						Точіння тонке	0,046	1,35	

Як видно з розрахунків, для всіх поверхонь оптимальним є маршрут №1, при якому $\varepsilon_{\text{заг}} < \Pi\varepsilon_i$

2.4 Розробка маршруту виготовлення деталей

Формування загального технологічного маршруту обробки деталі базується на принципах раціонального синтезу попередньо визначених маршрутів формоутворення її окремих поверхонь. Цей процес здійснюється з урахуванням заданих параметрів точності та якості, регламентованого типу виробництва, а також технічного рівня і функціональних можливостей доступного металорізального устаткування. Важливою умовою такого синтезу є суворе дотримання конструктивно-технологічних обмежень, що впливають із технічних вимог до виробу, зокрема системи допусків і посадок, нормативних параметрів шорсткості та комплексних розмірних зв'язків, які зафіксовані в конструкторській документації.

Документальне подання спроектованого маршруту обробки реалізується у формі суворо впорядкованої послідовності технологічних операцій. Кожна з цих операцій підлягає подальшій деталізації шляхом лаконічного опису змісту складових технологічних переходів із обов'язковим зазначенням типу або конкретної моделі технологічного обладнання, призначеного для їх виконання. Подібний формалізований підхід гарантує повну узгодженість технологічного процесу з вихідними фізико-механічними характеристиками заготовки та виступає запорукою беззаперечного досягнення проектних показників точності й експлуатаційної якості готової деталі.

Розроблені маршрути обробки наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8

Маршрутний технологічний процес	
1	2
базовий	проектуючий
Гайка УЯИШ.715152.003М	
001 Транспортна Електрокар Транспортувати пруток на дільницю механічної обробки	001 Транспортна Електрокар Транспортувати прокат на дільницю механічної обробки
005 Відрізна Відрізний BS-250-SSV Відрізати заготовку.	005 Відрізна Відрізний BS-250-SSV Відрізати заготовку.

1	2
010 Токарна Токарний 16К20 Підрізати торець, точити фаску, зацентрувати отвір, свердлити отвір, розсвердлити отвір, зенкувати фаску.	010 Токарна з ЧПУ Токарний з ЧПУ PUMA 2100MS Установ А Точити зовнішню циліндричну поверхню начорно і начисто, точити торець начорно і начисто, точити 2 фаски, розточити отвір начорно і начисто, розточити карман, свердлити 2 отвори, фрезерувати 2 пази, фрезерувати похилі площини в двох пазах. Установ Б Точити зовнішню циліндричну поверхню начорно і начисто, точити торець начорно і начисто, точити 2 фаски, розточити гвинтову канавку, свердлити 5 отворів, розвернути отвір, фрезерувати 2 пази.
015 Токарна Токарний 16К20 Підрізати торець, точити фаску, зенкувати фаску.	
020 Токарна Токарний 16К20 Точити зовнішню циліндричну поверхню.	
025 Токарна з ЧПУ Токарний з ЧПУ 16А20Ф3 Підрізати торець, точити фаски, розточити отвір, карман, розточити отвір, розточити фаску, гвинтову канавку.	
030 Токарна Токарний 16К20 Точити зовнішню циліндричну поверхню.	
035 Токарна з ЧПУ Токарний з ЧПУ 16А20Ф3 Підрізати торець, точити фаску, розточити отвір, розточити карман.	
040 Комплексна з ЧПУ Фрезерний з ЧПУ ИС-500 Зацентрувати 7 отворів, свердлити 7 отворів, розвернути отвір, фрезерувати 4 пази.	
045 Фрезерна Фрезерний ОММ67 Фрезерувати послідовно 2 похилі поверхні в 2 пазах.	
050 Круглошліфувальна Круглошліфувальний 3М151В Шліфувати зовнішню поверхню.	015 Круглошліфувальна Круглошліфувальний 3М151В Шліфувати зовнішню поверхню.
055 Плоскошліфувальна Плоскошліфувальний 3Е711В Шліфувати торцеву поверхню.	020 Плоскошліфувальна Плоскошліфувальний 3Е711В Шліфувати торцеву поверхню.
060 Різьбошліфувальна Різьбошліфувальний 5К822В Шліфувати гвинтову канавку.	025 Різьбошліфувальна Різьбошліфувальний 5К822В Шліфувати гвинтову канавку.
065 Контрольна Стіл контролера Перевірити розміри.	030 Контрольна Стіл контролера Перевірити розміри.
070 Транспортна Електрокар Транспортувати деталі на дільницю зборки.	035 Транспортна Електрокар Транспортувати деталі на дільницю зборки.

2.5 Вибір технологічних баз

Гарантоване забезпечення комплексу технічних вимог до деталі досягається шляхом синтезу раціональної схеми базування заготовки в процесі її механічної обробки. Оптимальна схема базування має забезпечувати високу просторову жорсткість технологічної системи, задану точність орієнтування об'єкта в робочому просторі верстатного пристрою, а також надійність його силового замикання (закріплення) під час дії зусиль різання. Процедура призначення баз ініціюється вибором чорнової технологічної бази для першої операції маршруту, головним завданням якої є підготовка комплекту чистових баз для подальших етапів формоутворення. Ключовим критерієм вибору чорнової бази є необхідність забезпечення максимально рівномірного зняття припуску з найбільш відповідальних і точних поверхонь виробу. Під час подальшого проектування необхідно суворо дотримуватися фундаментальних технологічних принципів суміщення (єдності) та сталості баз. У разі об'єктивної необхідності зміни установів процес зміни баз має підпорядковуватися правилу послідовного переходу від менш точних базових поверхонь до поверхонь із вищим квалітетом точності.

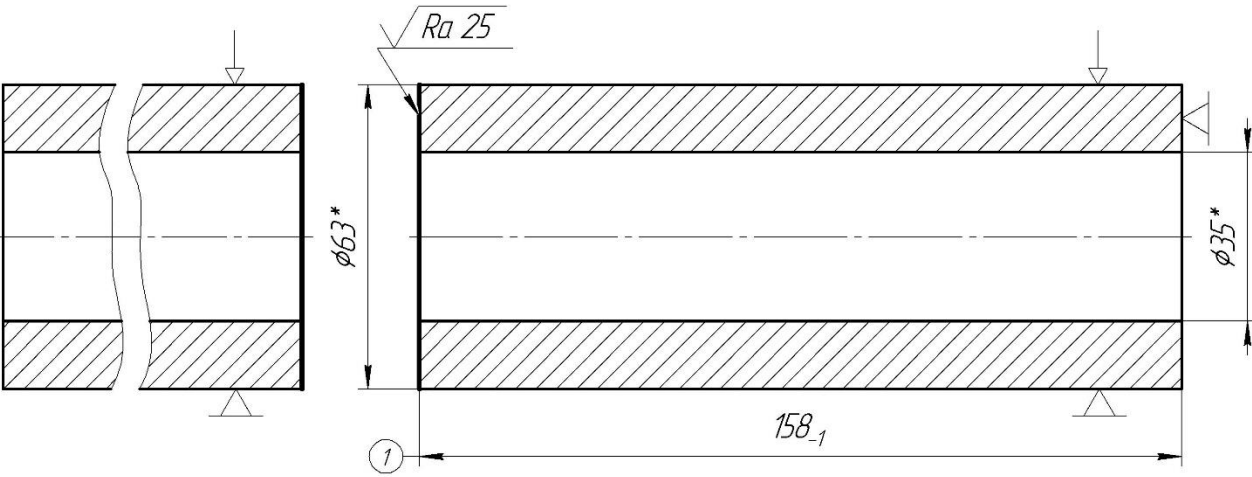
Практична реалізація розробленої схеми базування для деталі типу гвинт гайка передбачає чітко регламентовану послідовність використання технологічних баз на різних етапах обробки. Зокрема, на операції 005 як комплект баз використовуються зовнішня циліндрична та торцева поверхні. Під час виконання операції 010, що реалізується з перевстановленням заготовки у контршпindel верстата, просторова орієнтація здійснюється за аналогічною схемою з використанням зовнішньої циліндричної та торцевої поверхонь. Специфіка операції 015 вимагає використання фасок центрального отвору як технологічних баз. На операції 020 базовими поверхнями знову виступають зовнішня циліндрична та торцева поверхні, тоді як на операції 025 просторова орієнтація деталі здійснюється виключно за зовнішньою циліндричною поверхнею.

2.6. Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір обладнання для їх здійснення

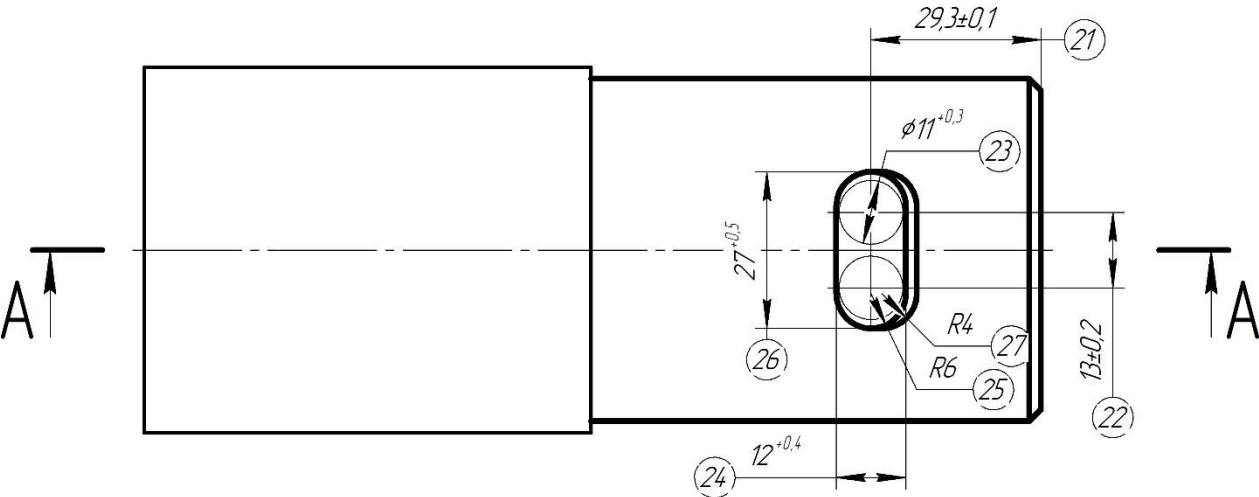
Формування детальної структури кожної технологічної операції здійснюється на базі синтезованого загального маршруту обробки деталі та локальних маршрутів формоутворення її окремих поверхонь. Цей процес супроводжується комплексним аналізом розмірних зв'язків із суворим урахуванням регламентованих параметрів точності, шорсткості та макрогеометричних відхилень (допусків форми та взаємного розташування поверхонь). У межах спроектованого технологічного процесу кожна операція підлягає однозначній ідентифікації із присвоєнням позиційного шифру та стандартизованого найменування. Її змістова частина деталізується через вичерпний опис складових технологічних переходів, застосованих схем базування та номенклатури необхідного металорізального інструменту. Результуюча послідовність і структурний зміст спроектованих операцій систематизовані й наведені у табл. 2.10. Номенклатура типу та конкретних моделей металорізального обладнання визначається відповідно до прийнятих методів механічної обробки, що гарантують досягнення проєктних показників точності та якості поверхневого шару. Критеріями вибору виступають заданий тип організації виробництва (одиничне, серійне чи масове) та масогабаритні характеристики вихідної заготовки. Інформаційною базою для підбору верстатних систем слугують нормативно-довідкові матеріали та спеціалізовані каталоги обладнання [3], які дозволяють проаналізувати такі критичні технічні параметри, як робочий простір верстата, кінематичні характеристики, наявність і покоління систем ЧПК, статична та динамічна жорсткість несучої системи, а також ефективність систем змащування та охолодження. Обрані моделі металорізальних верстатів, призначені для виконання технологічних операцій згідно з прийнятою маршрутною технологією, разом із їхніми паспортними технічними характеристиками систематизовано в табл. 2.11, що підтверджує повну кореляцію між технологічними вимогами до процесу обробки та експлуатаційними можливостями обраного устаткування.

Таблиця 2.10

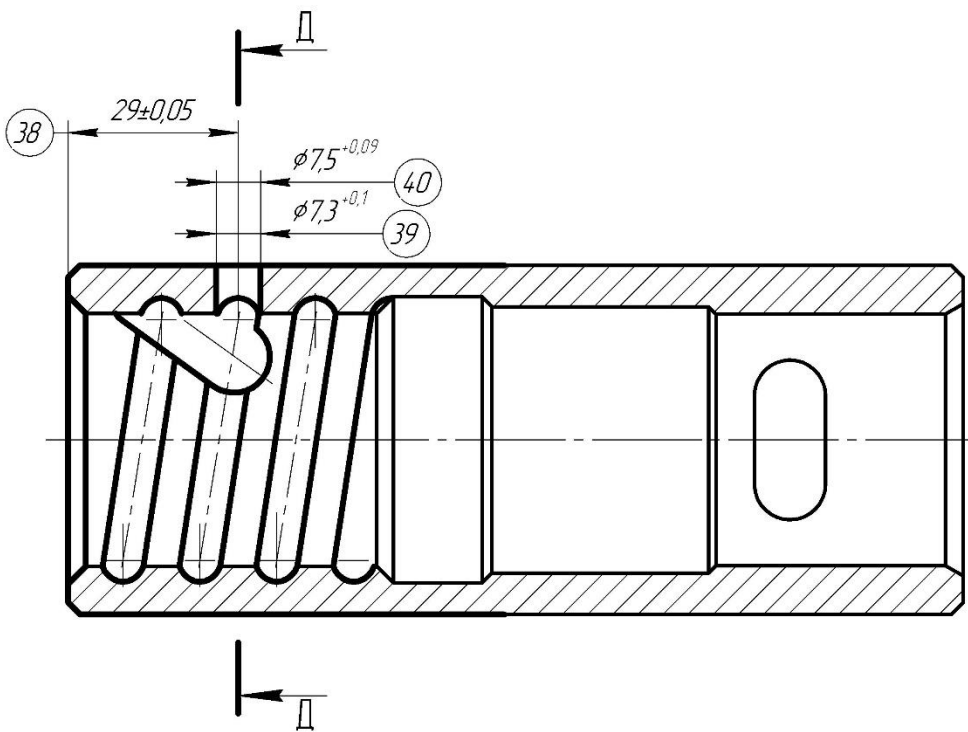
Структура та зміст технологічних операцій обробки гайки УЯИШ.715152.002

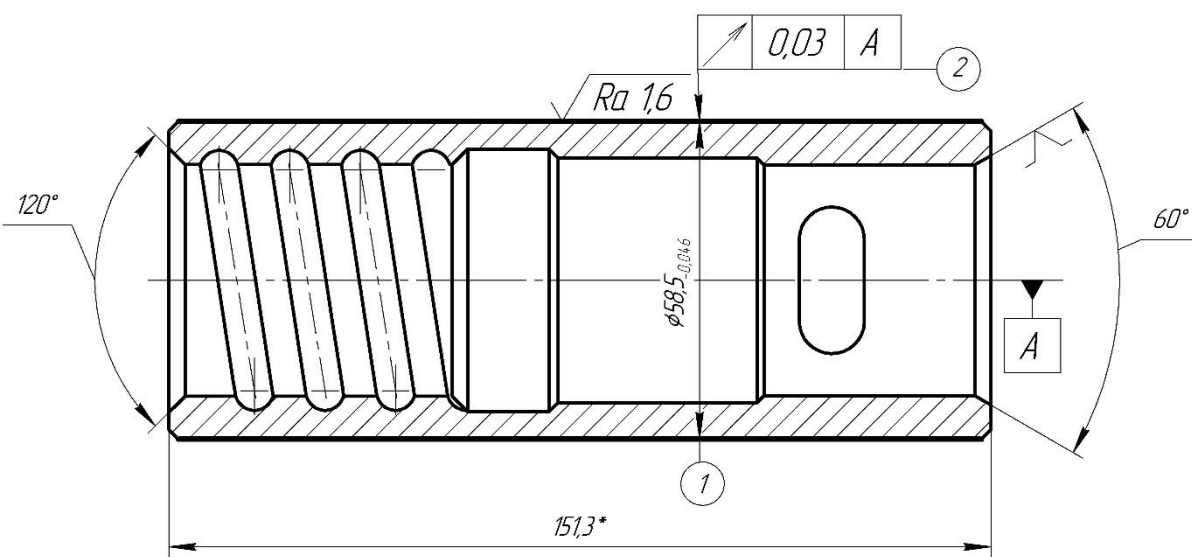
№ та назва операції	Модель верстату, назва	ОПЕРАЦІЙНИЙ ЕСКІЗ	Зміст операції
1	2	3	4
005 Відрізна	BS-250-SSV Відрізний	 <p data-bbox="1433 1165 1713 1204">1. * Розмір для довідок</p>	<p data-bbox="1747 494 2016 566">1. Встановити та закріпити прокат.</p> <p data-bbox="1747 646 2083 718">2. Відрізати заготовку, витримуючи розмір 1.</p> <p data-bbox="1747 766 2083 837">3. Відкріпити та зняти заготовку.</p>

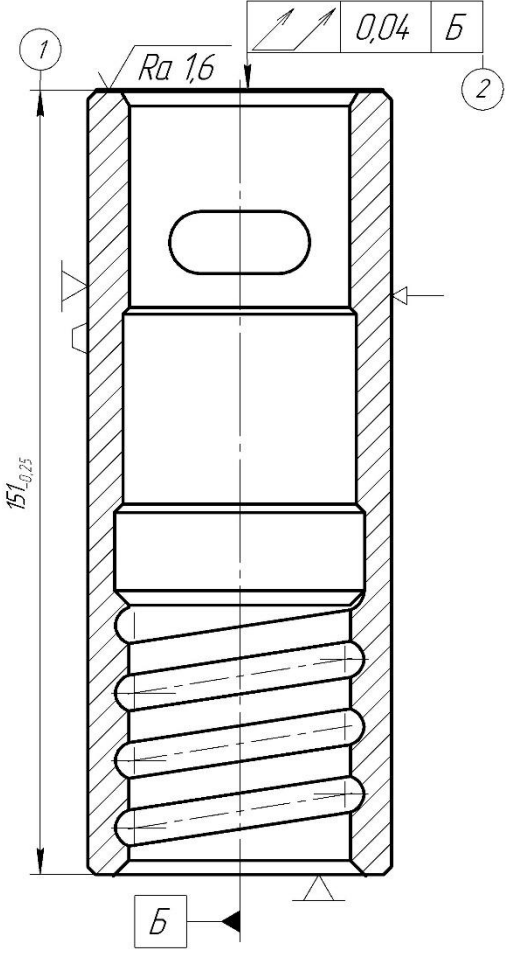
1	2	3	4
010 Токарна з ЧПУ	PUMA 2100MS Токарний з ЧПУ	<p style="text-align: center;">Установ А А-А</p>	<p>Установ А</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити заготовку. 2. Точити зовнішню циліндричну поверхню начорно, витримуючи розміри 1, 2. 3. Точити зовнішню циліндричну поверхню начисто, витримуючи розміри 2, 3, допуск 4. 4. Підрізати торець начорно, витримуючи розмір 5. 5. Підрізати торець начисто, точити фаску, витримуючи розміри 6, 7 6. Розточити отвір начорно, точити фаску, витримуючи розміри 6, 8, 9, 10. 7. Розточити отвір,

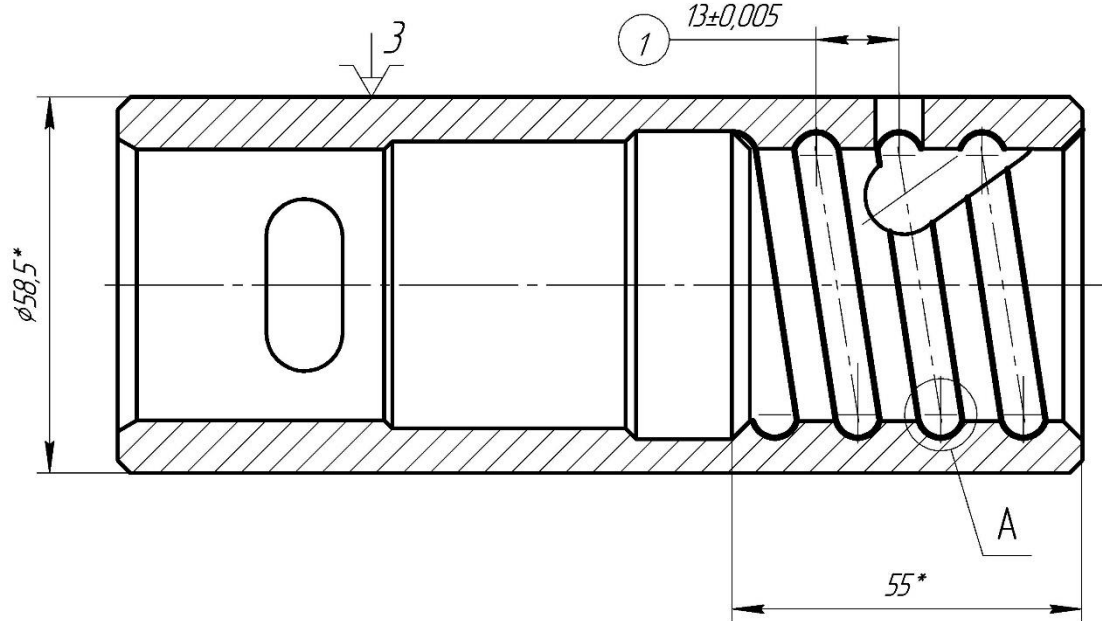
1	2	3	4
			<p>витримуючи розміри 6, 11, 12, 13, 14, 15.</p> <p>8. Розточити карман, витримуючи розміри 16, 17, 18, 19, 20.</p> <p>9. Свердлити послідовно 2 отвори, витримуючи розміри 21, 22, 23.</p> <p>10. Повернути деталь на 180°.</p> <p>11. Повторити перехід 9.</p> <p>12. Фрезерувати паз, витримуючи розміри 21, 24, 25, 26.</p> <p>13. Повернути деталь на 180°.</p> <p>14. Повторити перехід 12.</p>

1	2	3	4
		<p style="text-align: center;"><i>Установ Б</i></p> <p>Technical drawing of a mechanical part labeled "Установ Б". The drawing shows a longitudinal section of a cylindrical component with various features and dimensions. Key features include chamfered ends (2x45° and 3x45°), a threaded section, a central hole, and a chamfered end (45°). Dimensions include diameters of 60 and 59, and various lengths. The detail view shows a chamfered edge with R 3,3, a surface finish of Ra 3,2, and a diameter of 4,05.</p>	<p>15. Фрезерувати похилу площину в пазі, витримуючи розміри 21, 24, 27, 28, 29.</p> <p>16. Повернути деталь на 180°.</p> <p>17. Повторити перехід 15.</p> <p>Установ Б</p> <p>18. Перевстановити та закріпити деталь.</p> <p>19. Точити зовнішню циліндричну поверхню начорно, витримуючи розміри 1, 2, 6.</p> <p>20. Точити зовнішню циліндричну поверхню начисто, витримуючи розміри 2, 3, 6.</p>

1	2	3	4
			<p>21. Підрізати торець начорно, витримуючи розмір 30.</p> <p>22. Підрізати торець начисто, точити фаски, витримуючи розміри 31, 32, 33.</p> <p>23. Розточити гвинтову канавку, витримуючи розміри 34, 35, 36, 37.</p> <p>24. Свердлити отвір, витримуючи розміри 38, 39.</p> <p>25. Розвернути отвір, витримуючи розміри 38, 40.</p> <p>26. Повернути деталь на 45°, витримуючи розмір 41.</p>

1	2	3	4
015 Круглошліфувальна	3М151В Круглошліфувальний	 <p>Technical drawing of a cylindrical grinding wheel. The drawing shows a cross-section of the wheel with a diameter of $\varnothing 58.5_{-0.016}$ and a length of 151.3^*. The wheel has a chamfered end with a 60° angle. The surface finish is $Ra 1,6$. A circular runout tolerance of $0,03$ is specified for feature A. The wheel is mounted on a shaft with a diameter of 120°. The drawing includes a dimension line for the length, labeled 1, and a note: $1. * \text{Размер для довідок}$.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати зовнішню поверхню, витримуючи розмір 1, допуск 2. 3. Відкріпити та зняти деталь.

1	2	3	4
020 Плоскошліфувальна	3E711 Плоскошліфувальний		<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати торець, витримуючи розмір 1, допуск 2. 3. Відкріпити та зняти деталь.

1	2	3	4
025 Різбошліфувальна	5K822В Різбошліфувальний		<p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Шліфувати гвинтову канавку, витримуючи розміри 1, 2.</p> <p>3. Відкріпити та зняти деталь.</p>

1	2	3	4
		<p style="text-align: center;">A</p> <p style="text-align: center;"><i>Профіль гвинтової канавки в нормальму перерізі</i></p> <p style="text-align: center;">$0,17 \pm 0,005^*$ <i>ексцентриситет профілю</i></p> <p style="text-align: center;">$Ra0,2$</p> <p style="text-align: center;">$R3,81^{+0,012^*}$</p> <p style="text-align: center;">$R3,81^{+0,012^*}$</p> <p style="text-align: center;"><i>Куля 7,144[*]-10</i> <i>ГОСТ 3722-81</i></p> <p style="text-align: center;">$\phi 40,5^*$</p> <p style="text-align: center;">$0,17 \pm 0,005^*$</p> <p style="text-align: center;">$\phi 42,7^*$</p> <p style="text-align: center;">$\phi 45,55 \pm 0,015$</p> <p style="text-align: center;">$\phi 47,8^*$</p> <p style="text-align: center;">$45^\circ \pm 10'^*$</p> <p style="text-align: center;">$45^\circ \pm 10'^*$</p> <p style="text-align: center;">$5,052^*$</p> <p style="text-align: right;"><i>1. * Розмір для довідок</i></p>	

Визначення оптимального типу та конкретної моделі металорізального устаткування здійснюється суворо відповідно до прийнятих методів формоутворення поверхонь, регламентованих параметрів точності та встановленого типу організації виробництва з обов'язковим урахуванням масогабаритних характеристик вихідної заготовки. Безпосередній підбір моделей верстатних систем, а також ідентифікація та аналіз їхніх технічних (паспортних) характеристик виконуються на базі актуальних спеціалізованих каталогів і нормативно-довідкових джерел.

Вибрані верстати наведені у таблиці 2.11.

Таблиця 2.11

Металорізальні верстати для обробки деталей ротор та гайка

№ операції	Модель та найменування верстату	Стисла технічна характеристика				
		Габаритні розміри робочого столу чи макс. Діаметр обробки (мм)	Ряд частот обертання (хв ⁻¹)	Ряд подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри верстату (мм)
1	2	3	4	5	6	7
Гайка УЯИШ.715152.003М						
005	Відрізний BS-250 SSV	-	63-3150	28-790	0,75	2260x1000x1320
010	Токарний з ЧПУ PUMA 2100MS	406	4500		18,5	4030 x1863 x1903
015	Круглошліфувальний 3M151B	200	1590		10	4605x2450x2170
020	Плоскошліфувальний 3E711B	630x200			8	2000x1770x1920
025	Різьбошліфувальний 5K822B	125	6270		5	2330x2490x1710

2.7. Вибір затискних пристроїв

Вибір конструктивного виконання та функціонального типу затискних пристроїв для реалізації кожної технологічної операції базується на комплексному аналізі детермінованої теоретичної схеми базування заготовки та кількісних показників серійності виробництва. В основу проектування

верстатного оснащення покладено принцип забезпечення повної нерухомості деталі під дією динамічних сил різання при суворому дотриманні сталості її просторової орієнтації відносно координатних осей обладнання. Для операцій, що виконуються на токарних та фрезерних оброблювальних центрах із ЧПК, пріоритет надається механізованим затискним пристроям, які інтегруються в автоматизований цикл керування верстатом. Для забезпечення високої точності позиціонування заготовки гвинт гайка та мінімізації похибки закріплення застосовуються прецизійні трикулачкові самоцентрувальні патрони з гідравлічним приводом. Гідравлічна система затиску дозволяє здійснювати тонке регулювання зусилля фіксації, що є критично важливим для уникнення пружних деформацій тонкостінних ділянок деталі при переході від чорнового до чистового оброблення. У процесі базування за зовнішньою циліндричною поверхнею використовується схема з подвійною спрямовувальною базою, що забезпечує збіг осі деталі з віссю обертання шпинделя, а аксіальна фіксація реалізується за допомогою упорів у торцеву площину, що виконує роль опорної бази.

Стисла технічна характеристика та специфікація обраних затискних пристроїв, адаптованих до конкретних технологічних переходів, систематизована в таблиці 2.12. Дане оснащення відповідає вимогам Industry 4.0 щодо швидкості переналагодження та точності повторюваності позиціонування, що дозволяє суттєво скоротити підготовчо-заклучний час і забезпечити стабільність параметрів шорсткості та геометричної точності виконавчих поверхонь у межах встановлених допусків.

Таблиця 2.12

Затискні верстатні пристрої для деталей

Номер операції	Найменування пристрою	Стандарт (код)	Вид приводу
1	2	3	4
Гайка УЯИШ.715152.003М			
005	Тиски верстатні	Спец.	Ручний
010	Патрон	-	Пневматичний
015	Центра, оправка	-	Ручний
020	Призма	-	Ручний
025	Патрон, штатив	-	Ручний

2.8. Вибір різальних інструментів

Вибір номенклатури різального інструменту для кожної технологічної операції базується на комплексному аналізі кінематики обробки, стадії технологічного циклу, структурно-механічних властивостей матеріалу заготовки та параметрів міцності й термостійкості інструментальних матеріалів. У процесі проектування враховується характер взаємодії в зоні різання, динаміка теплових потоків та необхідний період стійкості інструменту, що дозволяє забезпечити стабільність розмірної точності протягом усього циклу виготовлення партії деталей.

У структурі базового технологічного процесу інтегровано як уніфікований інструмент, що відповідає державним стандартам якості (ДСТУ/ГОСТ), так і високопродуктивні інструментальні рішення від провідного світового виробника TaeguTec. Застосування сучасних змінних багатогранних пластин із твердих сплавів із зносостійким PVD- або CVD-покриттям дозволяє інтенсифікувати режими різання, зокрема підвищити швидкість різання (v_c) та подачу (f), одночасно забезпечуючи високу якість обробленої поверхні та прогнозований знос різальної кромки.

Детальна специфікація та технічні характеристики обраного інструментального оснащення, адаптованого для прецизійної обробки виконавчих поверхонь деталі гвинт гайка, систематизовані та наведені у таблиці 2.13. Даний вибір інструменту гарантує досягнення заданих параметрів шорсткості Ra та квалітетів точності при максимальній економічній ефективності операцій.

Ріжучий інструмент для механічної обробки деталі

Номер		Найменування інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Різальна частина	
Операції	Переходу			Матеріал	Стандарт (ГОСТ)
1	2	3	4	5	6
Гайка УЯИШ.715152.003М					
005	2	Полотно	SG-4I6P	-	-
010	2, 3	Різець	BCLCR 1212 K06-SH	TT8115	-
	4, 5	Різець	BCLCR 1212 K06-SH	TT9235	-
	6	Різець	S32T PDZNR 15	TT8125	-
	7	Різець	S25T PTFNR 16	TT8125	-
	8	Різець	S25T SDZCR 07	TT8125	-
	9, 11	Свердло $\phi 11$	SHO3110	TiAlN	-
	12, 14	Фреза $\phi 12$	TE90AX 212-12-06	TT9030	-
	15, 17	Фреза $\phi 8$	TE90AX 108-08-06-C	TT9030	-
	19, 20	Різець	BCLCR 1212 K06-SH	TT8115	-
	21	Різець	BCLCR 1212 K06-SH	TT8115	-
	22	Різець	BCLCR 1212 K06-SH	TT9235	-
	23	Різець канавковий	Спеціальний	K10	-
	24	Свердло $\phi 7,3$	SHO3073	TiAlN	-
	25	Розвертка $\phi 7,5$	TS-S0750-SC	UF14	-
	27, 29	Свердло $\phi 11$	SHO3110	TiAlN	-
	30, 32	Фреза $\phi 12$	TE90AX 212-12-06	TT9030	-
015	2	Круг шліфувальний	1600 x80 x305 25A 40-НСМ2 7К		ГОСТ 2424-83
020	2	Круг шліфувальний	1250 x40 x76 25A 25-НСМ2 7 К		ГОСТ 2424-83
025	2	Круг шліфувальний	140 x10 x13 25A 16-ПСМ1 7 К		ГОСТ 2424-83

2.9. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Вибір контрольно-вимірювальних засобів для метрологічного супроводу технологічних операцій базується на принципах метрологічної сумісності, де похибка вимірювального приладу має співвідноситися з полем допуску контролюваного розміру згідно з установленим коефіцієнтом точності. При підборі інструментарію враховуються не лише номінальні геометричні параметри та квалітети точності поверхонь, а й фізико-механічний стан об'єкта контролю,

зокрема параметри шорсткості Ra, які безпосередньо впливають на достовірність вимірювань. В умовах серійного виробництва пріоритет надається засобам, що забезпечують мінімальну трудомісткість контрольних операцій та високу відтворюваність результатів.

Таблиця 2.13

Ріжучий інструмент для механічної обробки деталі

Номер		Найменування інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Різальна частина	
Операції	Переходу			Матеріал	Стандарт (ГОСТ)
1	2	3	4	5	6
Гайка УЯИШ.715152.003М					
005	2	Полотно	SG-4I6P	-	-
010	2, 3	Різець	BCLCR 1212 K06-SH	TT8115	-
	4, 5	Різець	BCLCR 1212 K06-SH	TT9235	-
	6	Різець	S32T PDZNR 15	TT8125	-
	7	Різець	S25T PTFNR 16	TT8125	-
	8	Різець	S25T SDZCR 07	TT8125	-
	9, 11	Свердло $\phi 11$	SHO3110	TiAlN	-
	12, 14	Фреза $\phi 12$	TE90AX 212-12-06	TT9030	-
	15, 17	Фреза $\phi 8$	TE90AX 108-08-06-C	TT9030	-
	19, 20	Різець	BCLCR 1212 K06-SH	TT8115	-
	21	Різець	BCLCR 1212 K06-SH	TT8115	-
	22	Різець	BCLCR 1212 K06-SH	TT9235	-
	23	Різець канавковий	Спеціальний	K10	-
	24	Свердло $\phi 7,3$	SHO3073	TiAlN	-
	25	Розвертка $\phi 7,5$	TS-S0750-SC	UF14	-
27, 29	Свердло $\phi 11$	SHO3110	TiAlN	-	
30, 32	Фреза $\phi 12$	TE90AX 212-12-06	TT9030	-	
015	2	Круг шліфувальний	1600 x80 x305 25A 40-НСМ2 7К		ГОСТ 2424-83
020	2	Круг шліфувальний	1250 x40 x76 25A 25-НСМ2 7 К		ГОСТ 2424-83
025	2	Круг шліфувальний	140 x10 x13 25A 16-ПСМ1 7 К		ГОСТ 2424-83

Для забезпечення комплексної перевірки деталей «Ротор» та гвинт гайка застосовується комбінація універсальних засобів лінійно-кутових вимірювань, таких як цифрові штангенінструменти та мікрометричні прилади, а також

спеціалізованих калібрів-пробок та калібрів-кілець для контролю взаємного розташування поверхонь і параметрів різьби. Окрему увагу приділено методам неруйнівного контролю профілю гвинтової канавки, де точність кроку та радіуса профілю визначає функціональну надійність усього вузла кульково-гвинтової передачі. Повний перелік обраних технічних засобів контролю з їхніми метрологічними характеристиками систематизовано в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14

Вимірювальний інструмент і контрольні пристрої для деталей

Номер		Параметр деталі, який контролюється	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт на конструкцію
Операції	Переходу			
1	2	3	4	5
Гайка УЯИШ.715152.003М				
005	2	158. ₁	Штангенциркуль ШЦЦ-II-250-0,05	ГОСТ 166:2009
010	3	$\phi 59_{-0,1}$	Калібр-скоба Мікрометр МК-50-1	УЯИШ 766563011 ГОСТ 6507-90
	4	156. _{0,3}	Штангенциркуль ШЦЦ-II-250-0,05	ГОСТ 166:2009
	5	154,6. _{0,4}	Штангенциркуль ШЦЦ-II-250-0,05	ГОСТ 166:2009
	6	$\phi 40^{+0,3}$	Штангенглибиномір ШГ-160-0,05	ГОСТ 162-90
	7	41,8 \pm 0,3 96,3 \pm 0,3 $\phi 42,5^{+0,25}$ $\phi 45^{+0,5}$	Штангенглибиномір ШГ-160-0,05 Калібр-пробка	ГОСТ 162-90 УЯИШ 401412005-05
	8	$\phi 48,3^{+0,15}$	Штангенциркуль ШЦЦ-II-250-0,05	ГОСТ 166:2009
	9, 11	$\phi 11^{+0,3}$	Штангенциркуль ШЦЦ-I-125-0,1	ГОСТ 166:2009
	20	$\phi 59_{-0,1}$	Калібр-скоба Мікрометр МК-50-1	УЯИШ 766563011 ГОСТ 6507-90
	21	153,1. _{0,3}	Штангенциркуль ШЦЦ-II-250-0,05	ГОСТ 166:2009
	22	151,3. _{0,05}	Штангенциркуль ШЦЦ-II-250-0,05	ГОСТ 166:2009
	24	$\phi 7,3^{+0,09}$	Штангенциркуль ШЦЦ-I-125-0,1	ГОСТ 166:2009
	25	$\phi 7,5^{+0,1}$	Штангенциркуль ШЦЦ-I-125-0,1	ГОСТ 166:2009
	27, 29	$\phi 11^{+0,3}$	Штангенциркуль ШЦЦ-I-125-0,1	ГОСТ 166:2009
	30, 32	30 ^{+0,084} 12 ^{+0,07}	Калібр Калібр-пробка	УЯИШ 766567001-01 УЯИШ 401412003-01
015	2	$\phi 58,5_{-0,046}$	Профілометр М-283	ГОСТ 19300-73
020	2	151. _{0,25}	Штангенциркуль ШЦЦ-II-250-0,05 Профілометр М-283	ГОСТ 166:2009 ГОСТ 19300-73

2.10. Визначення припусків та операційних розмірів деталей

Після завершення етапу проектування плану обробки виконавчих поверхонь та деталізації маршрутної технології здійснюється аналітичний розрахунок припусків на механічне оброблення. В основу обчислень покладено детерміновану методику професора В.М. Кована, яка базується на

диференційованому врахуванні факторів, що впливають на формування якості поверхневого шару на кожному технологічному переході. Даний метод дозволяє оптимізувати матеріаломісткість заготовки та мінімізувати енерговитрати на видалення надлишкового шару металу, забезпечуючи при цьому гарантоване досягнення заданих геометричних параметрів.

Аналітичне визначення припусків реалізується для ключової функціональної поверхні — зовнішнього циліндричного сегмента 10, що характеризується високими вимогами до точності та якості. Розрахунковий алгоритм передбачає послідовне підсумовування мінімального припуску, який повинен компенсувати висоту мікронерівностей R_z , глибину дефектного шару після попереднього переходу T_i , а також сумарні просторові відхилення ρ та похибки установк. Такий підхід гарантує, що на фінішній стадії обробки (шліфуванні) буде знято рівномірний шар матеріалу, достатній для виправлення всіх геометричних спотворень, накопичених на попередніх етапах термічної та механічної підготовки.

Мінімальний припуск на точіння чорнове:

$$2Z_{\min} = 2(R_z + T + \rho)$$

$$2Z_{\min} = 2(31,5 + 30 + 40) = 2 \cdot 101,5 \text{ мкм};$$

Мінімальний припуск на чистову обробку:

$$2Z_{\min} = 2(8 + 20 + 30) = 2 \cdot 58 \text{ мкм};$$

Мінімальний припуск на шліфування:

$$2Z_{\min} = 2(0,8 + 15 + 25) = 2 \cdot 40,8 \text{ мкм}$$

Максимальний припуск на точіння чорнове:

$$2Z_{\max 1} = 2Z_{\min 1} + \delta_0 + \delta_1$$

$$2Z_{\max 1} = 2 \cdot 101,5 + 100 + 80 = 2 \cdot 281,5 \text{ мкм};$$

Максимальний припуск на чистову обробку:

$$2Z_{\max 1} = 2 \cdot 58 + 50 + 70 = 2 \cdot 178 \text{ мкм};$$

Максимальний припуск на шліфування:

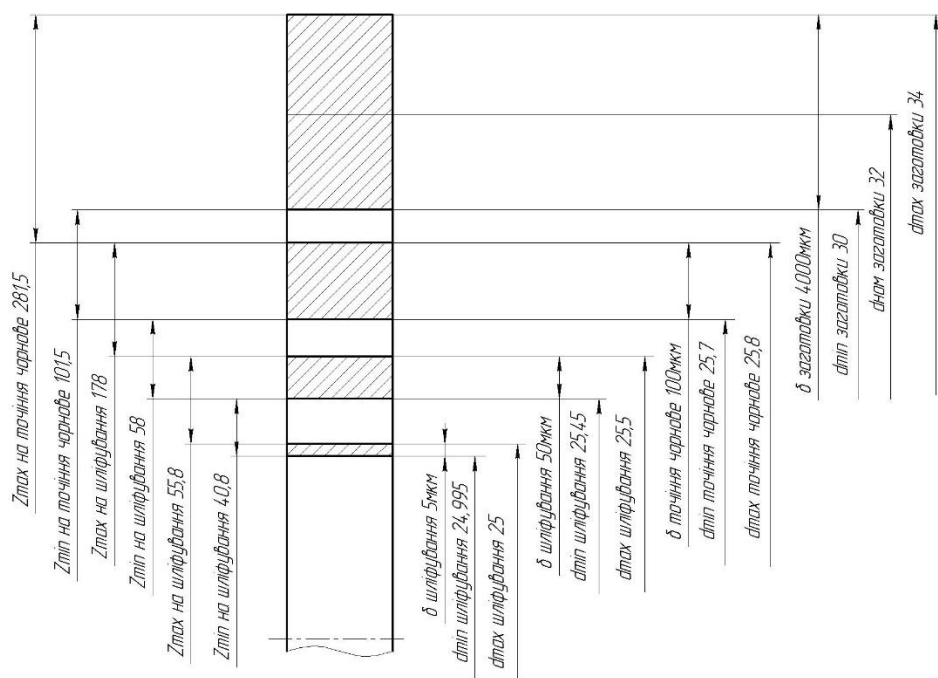
$$2Z_{\max 1} = 2 \cdot 40,8 + 5 + 10 = 2 \cdot 55,8 \text{ мкм}$$

Таблиця 2.15

Карта розрахунку припусків на обробку поверхні

Технологічні переходи	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск $2Z_{\min}$, мкм	Розрахунковий мінімальний розмір, мм	Допуск на виготовлення δ , мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	T	ρ				d_{\min}	d_{\max}	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	150	250	1820	-	30	4000	30	34	-	-
Точіння чорнове	31,5	30	40	2·101,5	25,8	100	25,7	25,8	101,5	281,5
Чистова обробка	8	20	30	2·58	25,45	50	25,45	25,5	58	178
Шліфування	0,8	15	25	2·40,8	24,995	5	24,995	25	40,8	55,8

Схему графічного розташування припусків і допусків для поверхні 10 деталі гвинт гайка $\varnothing 25-0,005$ представлена на рис. 2.1.

Рис. 2.1. Схема припусків на обробку поверхні $\varnothing 25-0,005$

На решту поверхонь деталей ротор і гайка припуски визначаємо за довідковими таблицями. Вибрані величини припусків подаємо у вигляді таблиці 2.16.

Таблиця 2.16

Зведена таблиця припусків на обробку деталей гайка УЯИШ.715152.002

№ пов-ні	Найменування поверхні	Припуск Z_{min} , мм	Технологічний допуск, мм
1	2	4	5
Гайка УЯИШ.715152.002			
1	Торець	7	0,25
2	Отвір	3,75	0,25
3	Пази	6	0,07
4	Отвір	1,25	0,5
5	Карман	1,65	0,15
6	Отвір	0,1	0,2
7	Гвинтова канавка	2,2	0,1
8	Отвір	3,75	0,09
9	Зовнішня циліндрична поверхня	2,25	0,046
11	Пази	6	0,07

2.11. Визначення режимів різання

Визначення параметрів процесу механічної обробки базується на комплексному застосуванні розрахунково-аналітичного та таблично-нормативного методів. Для 030 фрезерної операції деталі «Ротор» реалізується повний цикл аналітичних обчислень згідно з методикою, викладеною у профільному джерелі [27]. Даний підхід передбачає послідовне визначення глибини різання t , подачі на зуб фрези s_z та розрахункової швидкості різання v з урахуванням динамічних коефіцієнтів, що корелюють із фізико-механічними властивостями матеріалу заготовки та стійкістю інструментальної сталі або твердого сплаву.

Для всього іншого комплексу технологічних операцій механічного оброблення деталі гвинт-гайка елементи режимів різання встановлюються на основі верифікованих нормативних даних, заводських стандартів та спеціалізованих технологічних довідників. Такий диференційований підхід дозволяє поєднати наукову точність при розрахунку критично важливих переходів із високою ефективністю проектування технологічного процесу в цілому. Усі детерміновані величини, включаючи частоту обертання шпинделя n , швидкість подачі v_f та основний технологічний час T_o , систематизовані та занесені до зведеної таблиці 2.18.

Приймаємо необхідні величини режимів різання:

- подача – 0,08 мм/зуб (табл. 33 [26])
- подача S_o – 24 мм/об (табл. 37 [26])
- глибина різання – 3,1 мм
- довжина обробки – 62 мм
- Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v,$$

де: $C_v = 46,7$, $q = 0,45$, $x = 0,5$, $y = 0,5$, $u = 0,1$, $p = 0,1$, $m = 0,33$ (табл. 39 [27]);

T - період стійкості інструменту. $T = 80$ хв. (табл. 40 [27])

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv},$$

де: K_{mv} - коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу (табл. 2 [27]). $K_{mv} = 0,4$;

K_{nv} - коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки (табл. 5 [27]). $K_{nv} = 0,9$;

K_{uv} - коефіцієнт, який враховує матеріал інструменту (табл. 6 [27]). $K_{uv} = 1$

$$K_v = 0,4 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,36$$

$$V = \frac{46,7 \cdot 8^{0,5}}{80^{0,33} \cdot 8^{0,5} \cdot 0,08^{0,5} \cdot 3^{0,1} \cdot 3,1^{0,1}} \cdot 0,36 = 31,5 \text{ м/хв.}$$

- Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 31,5}{\pi \cdot 8} = 1040 \text{ об/хв.}$$

- Колова сила різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot (S_z)^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot k_{mp},$$

де: $C_p = 68,2$, $x = 0,68$, $y = 0,72$, $u = 0,1$, $q = 0,86$, $w = 0$ (табл. 41 [27])

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 8^{0,68} \cdot 0,08^{0,72} \cdot 2,7^{0,1} \cdot 3}{8^{0,86} \cdot 1040^0} \cdot 1 = 366,6 \text{ Н}$$

- Крутний момент:

$$M_k = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{366,6 \cdot 8}{2 \cdot 100} = 14,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

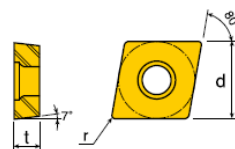
- Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{366,6 \cdot 31,5}{1020 \cdot 60} = 1,83 \text{ кВт}$$

Визначення параметрів обробки для технологічних переходів, де інтегровано інструментальні рішення південнокорейської корпорації TaeguTec, здійснюється на основі верифікованих інженерних рекомендацій, наведених у спеціалізованих каталогах виробника [8, 17, 25, 28]. Технічна документація містить детерміновані діапазони значень подачі f , глибини різання a_p та лінійної швидкості різання v_c , що оптимізовані під конкретні геометрії пластин та фізико-хімічні властивості оброблюваного матеріалу. На основі цих базових показників виконується аналітичний перерахунок частоти обертання шпинделя n з подальшою корекцією фактичної швидкості різання відповідно до технічних характеристик обраного металорізального обладнання.

Процес вибору режимів реалізується через аналіз цифрових баз даних офіційного ресурсу TaeguTec, що дозволяє враховувати найактуальніші модифікації інструментальних сплавів. Нижче наведено науково обґрунтовану методику встановлення режимів різання для переходу з токарної операції з ЧПК 010, що полягає у фінішному обробленні зовнішньої циліндричної поверхні деталі гвинт гайка. Оскільки технологічна задача вимагає високої якості поверхні та дотримання жорстких квалітетів точності, відповідно до каталожного ідентифікатора (рис. 2.2) обрано прецизійну різальну пластину ромбічної форми SSMT 09T302 FA. Даний інструментальний матеріал оснащений інноваційним CVD-покриттям марки TT8115, яке характеризується підвищеною термостійкістю та низьким коефіцієнтом адгезії, що критично важливо для стабільного перебігу чистового точіння легованих сталей.

Позитивные ромбические пластины с углом в плане 80° и задним углом 7°



P Углеродистая сталь, 0.45%
M Аустенитная нержавеющая сталь
K Высокопрочный чугун
N Алюминий
S Жаропрочный сплав
H Закаленная сталь

Пластины	Обозначение	Рекомендуемые режимы резания		Сплав и скорость резания, Vc (м/мин)																						
		Подача (мм/об)	ap (мм)	Кермет		CVD покрытие						PVD покрытие				Без покрытия										
				PV3010	CT3000	TT1300	TT7310	TT8115	TT8125	TT8135	TT9215	TT9225	TT9235	TT5100	TT7100	TT5080	TT8020	TT9020	TT9080	P20	K10	K20				
 Чистовая	CCMT 060202 FA	0.05 - 0.15	0.1 - 1.5																							
	060204 FA	0.05 - 0.15	0.1 - 1.5	360																						
	09T302 FA	0.05 - 0.15	0.1 - 2.0																							
	09T304 FA	0.05 - 0.20	0.1 - 2.0																							
	09T308 FA	0.10 - 0.25	0.2 - 2.0																							
 Чистовая	CCMT 060204 FG	0.05 - 0.15	0.3 - 1.5																							
	09T304 FG	0.07 - 0.20	0.4 - 2.0	360	340																					
	09T308 FG	0.10 - 0.25	0.6 - 2.0	290	270																					
	120408 FG ✓	0.10 - 0.25	0.6 - 2.0																							

Рис. 2.2. Рекомендовані режими різання при обробці різцями ф. TaeguTec

Приймаємо необхідні величини режимів різання:

- подача - 0,15 мм/об
- глибина різання - 0,95 мм
- швидкість різання - 310 м/хв.

Розраховуємо частоту обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 310}{3,14 \cdot 59} = 1673,3 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_o = 1670$ об/хв.

- Дійсна швидкість різання:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D \cdot n_o}{1000} = \frac{3,14 \cdot 59 \cdot 1670}{1000} = 309 \text{ м/хв.}$$

За аналогічним принципом призначаються режими різання для всіх інших переходів механічної обробки поверхонь гвинт гайка, що виконуються з використанням інструменту компанії TaeguTec.

Режими різання на операціях механічної обробки деталей

Номер		t, мм	S _{мм/об} S _{мм/хв}	V м/хв	n, хв. ⁻¹	t _о , хв
опе- рації	пере- ходу					
1	2	3	4	5	6	7
Гайка УЯИШ.715152.003М						
005	2	-	0,2	25	250	0,25
010	2	1,05	0,15	310	1620	0,33
	3	0,95	0,15	309	1670	0,33
	4	2	0,1	309	1670	0,2
	5	1,4	0,2	309	1670	0,2
	6	2,5	0,16	309	2460	0,42
	7	1,25	0,15	339	2400	1,38
	8	1,65	0,15	340	2240	0,22
	9, 11	5,5	0,2	39	1150	0,13
	12, 14	6	0,04	30	800	0,47
	15, 17	1,5	0,01	20	800	0,7
	19	1,05	0,15	310	1620	0,32
	20	0,95	0,15	309	1670	0,33
	21	1,5	0,1	309	1670	0,2
	22	1,8	0,2	309	1670	0,2
	23	2,2	0,16	15	600	3,13
	24	3,65	0,15	9	400	0,2
	25	0,1	0,08	10	400	0,2
	27, 29	5,5	0,08	17	500	0,3
30, 32	8,15	0,1	18	500	2,7	
015	2	0,25	0,03	37	200	21,5
020	2	0,3	0,02	37	200	4
025	2	0,35	0,02	37	200	15

2.12. Технічне нормування операцій

Норми часу на виконання операцій в масовому та серійному виробництві визначають розрахунково-аналітичним методом.

Виконуємо розрахунок норм часу на 010 токарну з ЧПУ операцію обробки деталі гайка УЯИШ.715152.003М.

Штучний час:

$$T_{шт} = (T_{ца} + T_{доп} \cdot K_{тв}) \cdot \left(1 + \frac{t_{тo} + t_{опг} + t_{від}}{100} \right),$$

де: T_{ца} – час циклу автоматичної роботи верстату за програмою, хв:

$$T_{ца} = t_o + T_{мд}$$

де: t_O – основний час на обробку однієї деталі, хв;

ТМД – машинно-допоміжний час за програмою:

час на зміну інструмента – 0,0025 хв;

час на підведення та відведення інструмента – 0,034 хв;

- час технологічних пауз: перевстановлення деталі в контршпінделі – 0,3 хв. і

т.п.), хв;

- поворот деталі на заданий кут (переходи 10, 13, 16, 26, 28, 31) – 0,017 хв.

$$T_{MD} = 0,0025 \cdot 15 + 0,067 \cdot 24 + 0,3 + 0,017 \cdot 6 = 2,05 \text{ хв.}$$

$$T_{ца} = 15,86 + 2,05 = 17,91 \text{ хв.}$$

ТДОП – допоміжний час, хв:

$$T_{ДОП} = T_{Д.В.} + T_{Д} + T_{Д.ВИМ.}$$

де: ТД.В. – час на встановлення та зняття деталі (стор. 55 [18]), ТД.В. = 0,26

хв;

ТД – допоміжний час, пов'язаний із операцією (стор. 79 [18]), хв;

$$T_{Д} = 0,32 + 0,15 + 0,03 = 0,5$$

ТД.ВИМ. – допоміжний неперекриваємий час на вимірювання (стор. 80, карта 15 [19]), хв;

$$T_{Д.ВИМ.} = 0,16 \cdot 5 + 0,1 + 0,13 \cdot 2 = 1,16$$

$$T_{ДОП} = 0,26 + 0,5 + 1,16 = 1,92$$

KtB - поправочний коефіцієнт на час виконання ручної допоміжної праці в залежності від партії оброблюваних деталей (стор. 50 [19]) KtB = 0,71;

t_{TO} – час на технічне обслуговування робочого місця (стор. 90 [19]);

торг - час на організаційне обслуговування робочого місця;

твід - час на відпочинок.

$$t_{TO} + t_{орг} + t_{від} = (T_{ца} + T_{ДОП}) \cdot 0,14 = (17,91 + 1,92) \cdot 0,14 = 2,78 \text{ хв.}$$

$$T_{шт} = (17,91 + 1,92 \cdot 0,71) \cdot \left(1 + \frac{2,78}{100}\right) = 20,3$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт.к} = t_o + T_{доп} + t_{ГО} + t_{орг} + \frac{T_{пз}}{n}$$

де: $T_{пз}$ – підготовчо-заклучний час, (стор. 98 [19]) хв.

$$T_{пз} = 4 + 2 + 4 + 0,3 + 7 + 0,3 \cdot 16 + 1 + 0,3 = 24 \text{ хв.}$$

n - розмір партії, $n = 625$ шт.

$$T_{шт.к} = 15,86 + 1,92 + 2,78 + \frac{23,4}{625} = 20,59$$

Результати розрахунків норм часу по всім операціям механічної обробки деталей гвинт гайка зводимо в таблицю 2.18.

Таблиця 2.18

Норми часу на обробку деталей

№ операції	t_o , хв.	$t_{доп}$, хв.	$t_{ГО}$, хв.	$t_{орг.об.}$, хв.	$t_{від}$, хв.	$T_{шт}$, хв.	$T_{пз}$, хв.	$T_{шт.к}$, хв.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гайка УЯИШ.715152.003М								
005	0,25	0,8	0,1	0,1	0,1	1,21	12	1,27
010	15,86	1,92	2,78			20,3	24	20,59
015	21,5	0,95	2,02			22,9	10	24,49
020	4	1,6	0,3	0,3	0,3	5,65	8	6,21
025	15	1,3	1,14			17,3	14	17,46

Висновки

В кваліфікаційній роботі на тему: «Розробка технології механічної обробки деталі гвинт гайка УЯИШ.715152.002»

Спроектовані технологічні процеси механічного оброблення гарантують детерміноване досягнення встановлених технічних кондицій виробу, зокрема нормативних параметрів точності лінійних розмірів, геометричних форм та мікрогеометрії (шорсткості) робочих поверхонь. Впроваджена технологічна архітектура базується на експлуатації прецизійного металорізального обладнання з високим ступенем автоматизації. Це дозволяє забезпечити операційну гнучкість виробничої системи, її адаптивність до динамічної зміни номенклатури та реалізацію інтенсифікованих режимів різання при збереженні регламентованого періоду стійкості інструментального оснащення та мінімізації похибок, що виникають внаслідок перебазування.

Застосування багатоцільових верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК) ініціювало структурну оптимізацію виробничої інфраструктури. Завдяки високій концентрації операцій в межах одного автоматизованого циклу досягнуто суттєвої редукації парку необхідного устаткування та оптимізації чисельності виробничого персоналу без втрати пропускної спроможності дільниці. Дана стратегія сприяла вивільненню виробничих площ, що створює передумови для подальшої диверсифікації та технічного переоснащення підприємства.

Економічна ефективність цифрового керування проявляється у зниженні собівартості одиниці продукції за рахунок підвищення точності позиціонування виконавчих органів, скорочення підготовчо-заключного часу на переналагодження та мінімізації технологічного браку. Зазначений підхід забезпечує стабільну продуктивність і повністю корелює з принципами ресурсоефективного високоточного машинобудування в межах концепції Industry 4.0.

Перелік використаних джерел

1. Годунко М.О. Основи 3D моделювання і робототехніки: Навч. посіб. для проведення практичних занять / М.О. Годунко, А.І. Гречка. – К. : 7БЦ, 2024. – 42 с.
2. Апаракін А.Р. Синтез схем навантаження силових елементів кулькогвинтового гідропідсилювача з аксіальною структурою приводу / А.Р. Апаракін, П.М. Єрьомін, В.А. Мажара // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – Вип. 9 (40). - Ч. II. – С. 23-31.
3. Мажара В.А. Система автоматизованого проектування технологічного оснащення / В.А. Мажара, К.К. Щербина, А.М. Артюхов, С.А. Тененика, І.С. Шестаков // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.
4. Мажара В. А. Контрольно-вимірювальні пристрої. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи студентами денної та заочної форми навчання напрямку «Інженерна механіка» з профілюванням за спеціальністю «Технологія машинобудування». – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 48 с.
5. Мажара В. А. Технологічна оснастка. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи студентами денної форми навчання напрямку «Інженерна механіка» з профілюванням за спеціальністю «Технологія машинобудування». – Кіровоград: КНТУ, 2009. – 44 с.
6. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту по кафедрі «Технологія машинобудування» для студентів спеціальності 8.090202 /Уклад. І.І. Павленко та ін. – Кіровоград: КДТУ, 2002. – 40с.
7. Кривошея А.В. Дослідження впливу процесу зубохонінгування алмазними черв'ячними хонами на параметри шоркості зубчатих коліс / А.В. Кривошея, Є.О. Пащенко, В.Є. Мельник, К.К. Щербина // Опір матеріалів і теорія споруд. – Київ: КНУБА, 2021. – Вип. 106. – С. 296-311.

8. Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Пастернак С.І., Короткий Є.В. Кінематика формоутворення циліндричних зубчастих коліс з заданим профілем дисковим інструментом // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, сер. Машиностроение. – 2005. – № 46. – С. 104-108.
9. Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Пастернак С.І. Математичне моделювання законів руху дискового інструменту при обробці зубчастих коліс довільного профілю // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, сер. Машиностроение. – 2006. – № 49. – С. 104-108.
10. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / К. К. Щербина та ін., – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. 16с.
11. Боровик О. В., Малашин М. О. Довідник з креслення. Стандарти ISO : навчально-методичний посібник. Хмельницький: Видавництво НАДПСУ. 2014. 104 с.
12. ДСТУ ISO 128-1:2005 Технічні Кресленики. Загальні принципи оформлення. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
13. ДСТУ EN ISO 10209:2018 Технічна документація на продукцію. Словник термінів щодо технічних креслеників, визначення виробів і відповідної документації. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2008.
14. ДСТУ ISO 5457:2006 Документація технічна на вироби. Розміри та формати. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2008.
15. ДСТУ ISO 5455:2005 Кресленики технічні. Масштаби. [Чинний від 2006-07-01]. Київ, 2006.
16. ДСТУ ISO 3098-0:2006 Документація технічна на вироби. Шрифти. Загальні вимоги. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2006.
17. ДСТУ ISO 128-20:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи подавання. Частина 20. Основні положення про лінії. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.

- 18.ДСТУ ISO 128-21:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 21. Лінії, виконані автоматизованим проектуванням. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 19.ДСТУ ISO 128-22:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 22. Основні положення та правила застосування 27 ліній виносок і полиць ліній-виносок. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 20.ДСТУ ISO 128-24:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 24. Лінії на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 21.ДСТУ ISO 128-30:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 30. Основні положення про види. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 22.ДСТУ ISO 128 34:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 34. Види на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 23.ДСТУ ISO 128-40:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 40. Основні положення про розрізи та перерізи. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 24.ДСТУ ISO 128-44:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 44. Розрізи та перерізи на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2006-07-01]. Київ, 2005.
- 25.ДСТУ ISO 128 50:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 50. Основні положення про зображення розрізів і перерізів. [Чинний від 2006-07-01]. Київ, 2006.
- 26.ДСТУ EN ISO 1302:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Познака зовнішньої текстури в технічній документації на продукцію. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
- 27.ДСТУ ISO 129 1:2007 Кресленики технічні. Проставлення розмірів і допусків. Частина 1. Загальні принципи. [Чинний від 2009-07-01]. Київ, 2010.

- 28.ДСТУ ISO 286-1-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок. [Чинний від 2003-10-01]. Київ, 2003. 28
- 29.ДСТУ EN ISO 2692:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Визначення геометричних допусків. Вимоги щодо максимуму матеріалу (MMR), мінімуму матеріалу (LMR) та взаємодії (RPR). [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
- 30.ДСТУ ISO 2768-1:2001 Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.
- 31.ДСТУ ISO 2768-2:2001 Основні допуски. Частина 2. Допуски геометричні для елементів без спеціального позначення допусків. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.
- 32.ДСТУ ISO 5458-2001 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Встановлення геометричних допусків. Позиційні допуски. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.
- 33.ДСТУ EN ISO 5459:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Геометричні допуски. Бази та системи баз. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
- 34.ДСТУ ISO 7083:2009 Кресленики технічні. Умовні позначки геометричних допусків. Співвідношення та розміри. [Чинний від 2011-07-01]. Київ, 2015.
- 35.ДСТУ ISO 10578:2014 Кресленики технічні. Допуски орієнтування та розташування. Виступне поле допуску. [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015.
- 36.ДСТУ EN ISO 6433:2018 Кресленики технічні. Позначення деталей. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
- 37.ДСТУ EN ISO 7200:2005 Розроблення технічної документації. Графи у штампах та основних написах. [Чинний від 2006-10-01]. Київ, 2007.
- 38.ДСТУ ISO 7573:2006 Кресленики технічні. Специфікація. [Чинний від 2001-06-27]. Київ, 2008.