

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

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри ММіР
к.т.н., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
« _____ » _____ 2024 р.

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

«Гнучка технологія обробки гвинта з дослідженням процесу алмазного хонінгування отворів в умовах адаптації процесу»
«Flexible screw machining technology with a study of the diamond hole honing process in terms of process adaptation»

Виконав здобувач вищої освіти ІІ-го курсу
групи ПМ-23М-3
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Іван ПОДЛЕСНИЙ

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

Рецензент: к.т.н., доцент
_____ Олег БЕВЗ

Кропивницький – 2024

Центральноукраїнський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Машинобудування, мехатроніка і робототехніка»

Освітнього ступеня магістр

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

“ ” 20 року

З А В Д А Н Н Я **НА КВАЛІФІКАЦІНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Подлесний Іван Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Гнучка технологія обробки гвинта з дослідженням процесу алмазного хонінгування отворів в умовах адаптації процесу.

керівник роботи: Щербина Кирил Костянтинович, доцент канд. техн наук,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу № _____ від “ ” 20 року

2. Строк подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1. Креслення деталі гвинт _____

3.2. Технічні вимоги на виготовлення деталі _____

3.3. Річна програма випуску деталі гвинт – 4800шт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1. Загальна частина _____

4.2. Технологічна частина _____

4.3. Конструкторська частина _____

4.4. Дослідна частина _____

4.5 Організаційна частина _____

4.6 Економічна частина _____

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

Графічний матеріал - 10 л. ф.А4

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна частина	10.10.2024	
2	Технологічна частина	16.10.2024	
3	Конструкторська частина	31.10.2024	
4	Дослідна частина	15.11.2024	
5	Організаційна частина	20.11.2024	
6	Економічна частина	30.11.2024	
7	Розробка презентації	06.12.2024	

Студент

(підпис)

Подлесний І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Щербина К.К.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки на 122 сторінках та графічної частини на 10 листах формату А4.

1. Актуальність роботи. Процесу регулювання радіального розміру під час хонінгування отворів є недостатньо дослідженим

2. Наукова новизна роботи. Проведено дослідження процесу регулювання радіального розміру хонінгувальної головки з врахуванням умов адаптації процесу.

3. Практична цінність роботи. Синтезована конструкція системи регулювання радіального розміру на базі гідростатичного хона.

4. Оцінка найбільш важливої суті роботи виконаної роботи.

Аналіз існуючих конструкцій традиційних хонів з виявленням недоліків у динаміці із-за наявності статичного та кінематичного тертя. Розроблена теоретична система адаптивного керування процесом алмазно-абразивного хонінгування в єдиному функціональному середовищі і обґрунтована доцільність її використання саме для процесів хонінгування та подібних йому, в яких керування радіальним розміром та осциляцією відбувається значно ефективніше при адаптації до зміни сил різання, ніж при активному контролі розмірів.

Всі приведені зміни економічно обґрунтовані.

Ключові слова: хонінгування, система регулювання радіального розміру, хон.

Annotation

The qualification work consists of an explanatory note on 122 pages and a graphic part on 10 sheets of A4 format.

1. Relevance of the work. The process of adjusting the radial dimension during honing of holes is not sufficiently studied

2. Scientific novelty of the work. A study of the process of adjusting the radial size of the honing head has been carried out, taking into account the conditions of process adaptation.

3. Practical value of the work. Synthesised design of a radial dimensional control system based on a hydrostatic hone .

4. Evaluation of the most important essence of the work performed.

Analysis of the existing designs of traditional honing machines with identification of shortcomings in the dynamics due to the presence of static and kinematic friction. A theoretical system of adaptive control of the diamond abrasive honing process in a single functional environment is developed and the feasibility of its application to honing and similar processes is demonstrated, in which the control of radial dimension and oscillation is much more effective when adapting to changes in cutting forces than when actively controlling dimensions.

All the above changes are economically justified.

Key words: honing, radial dimension adjustment system, hon.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1. Загальна частина.....	9
1.1 Аналіз існуючих кінцевих ланок СРРР алмазно-абразивного інструменту для відділкової обробки отворів.....	9
1.1.1. Загальна характеристика кінцевих ланок СРРР.....	9
1.1.2. Аналіз існуючих кінцевих ланок СРРР з дискретною поверхнею різання.....	9
1.1.3. Аналіз існуючих кінцевих ланок СРРР з єдиною поверхнею різання....	18
1.1.4. Класифікація кінцевих ланок СРРР.....	19
1.1.5. Висновки і рекомендації.....	22
1.2. Деталь представник для дослідження процесу хонінгування та гнучкої технології виготовлення.....	23
2. Технологічна частина	25
2.1. Аналіз точності та технологічності деталі.....	25
2.2. Аналіз діючого технологічного процесу.....	30
2.3. Вибір заготовки та способу її виготовлення.....	34
2.4. Вибір методів обробки поверхонь деталі.....	38
2.5. Розробка маршрутів виготовлення деталі.....	41
2.6. Вибір технологічних баз.....	41
2.7. Розробка структури технологічних операцій і вибір обладнання для їх здійснення.....	42
2.8. Вибір затискних пристроїв.....	53
2.9. Вибір різальних інструментів.....	54
2.10. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів.....	56
2.11. Визначення припусків та операційних розмірів деталей.....	60
2.12. Визначення режимів різання.....	66
2.13. Технічне нормування операцій.....	70
3. Дослідна частина.....	72

3.1 Огляд існуючих систем адаптивного керування процесом хонінгування.....	72
3.2 Аналіз узагальненого механізму регулювання радіального розміру з точки зору статичності	74
3.3 Аналіз узагальненого механізму регулювання радіального розміру з адаптивною системою керування з точки зору теорії систем автоматичного регулювання.....	77
3.4 Аналіз і синтез СРРР на базі пружньо деформуємої передавальної ланки та замкнутої гідравлічної системи.....	83
3.4.1 Аналіз конструктивного виконання та принципу дії СРРР на базі ПДПЛ та ЗГС	84
3.4.2 Статичний аналіз СРРР на базі ПДПЛ та ЗГС.....	87
3.4.3 Динамічний аналіз СРРР на базі ПДПЛ та ЗГС.....	88
3.4.4. Розмірний ряд оболонкової форми та НААЗ.....	93
4. Організаційна частина	96
4.1. Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження.....	96
4.2 Розрахунок календарно-планових нормативів.....	97
4.3 Визначення чисельності основних робітників цеху.....	101
5. Економічна частина.....	103
5.1. Аналіз варіантів технологічного процесу.....	103
5.2. Розрахунок планової цехової собівартості деталі.....	111
5.3. Розрахунок планової цехової собівартості деталі.....	113
Висновки.....	116
Список використаних джерел	118

ВСТУП

Головна мета розвитку машинобудування в країні полягає в забезпеченні внутрішнього попиту на машинобудівну продукцію та розширенні її присутності на зовнішніх ринках. Досягнення цієї мети передбачає трансформацію галузі у конкурентоспроможний, високотехнологічний, ефективний та інноваційно орієнтований комплекс, який динамічно розвивається та інтегрується у систему міжнародного розподілу праці.

Для реалізації цього завдання необхідно здійснити заходи у таких ключових напрямках:

- Модернізація підприємств на основі впровадження інноваційних підходів;
- Розробка та інтеграція нових технологій;
- Розвиток внутрішнього ринку машинобудівної продукції;
- Створення сприятливих умов для залучення кваліфікованих фахівців у галузь.

Результати впровадження цих заходів включають збільшення обсягів і номенклатури випуску продукції, розширення експортних можливостей, підвищення конкурентоспроможності виробів та ефективності роботи галузі загалом.

Деталь, що є об'єктом дослідження магістерської роботи, входить до складу кульково-гвинтового гідропідсилювача типу ШВГУ 700, який виготовляється на підприємстві ПАТ НВП «Радій» у місті Кропивницький.

У межах магістерської роботи заплановано розробити технологічний процес механічної обробки деталі гвинт з використанням верстатів із ЧПУ. Основною метою є підвищення продуктивності виготовлення та зниження собівартості продукції.

Передбачено також розробку конструкцій затискного і контрольного пристроїв, а також різального інструменту, що відповідатимуть удосконаленому технологічному процесу. Особлива увага приділяється дослідженню методу хонінгування точних отворів для підвищення якості обробки.

1. Загальна частина

1.1. Аналіз існуючих кінцевих ланок CPPP алмазно-абразивного інструменту для відділкової обробки отворів

1.1.1. Загальна характеристика кінцевих ланок CPPP.

Кінцева ланка системи регулювання радіального розміру (CPRP) є ключовим елементом, що забезпечує регулювання радіального розміру заготовки в процесі обробки. У більшості випадків кінцева ланка CPPP виконується у формі клину. Така конструкція обумовлена необхідністю протидіяти значним силам різання, які виникають під час обробки, зберігаючи компактні габаритні розміри. Водночас кінцева ланка повинна забезпечувати точне і стабільне збільшення радіального розміру.

Для аналізу та класифікації кінцевих ланок CPPP сформульовано ряд вимог, яким вони повинні відповідати:

- Точність і швидкодія: забезпечення мінімальної затримки у виконанні регулювання.
- Максимальна площа контакту між взаємодіючими елементами: зменшення контактних напружень для підвищення довговічності системи.
- Можливість зворотного ходу: забезпечення корекції положення під час обробки без втрати точності.

Окрім того, кінцеві ланки CPPP можуть взаємодіяти з двома типами різальних поверхонь: дискретними (складаються з окремих сегментів) і єдиними (суцільна різальна поверхня).

Таким чином, у подальшому розглянемо різновиди кінцевих ланок CPPP на основі класифікації за типами різальних поверхонь.

1.1.2. Аналіз існуючих кінцевих ланок CPPP з дискретною поверхнею різання

Розглянемо кінцеву ланку виконану з одним конусом розширення з кромковим контактом (1.1.1) [10].

Кінцева ланка CPPP з одним конусом розширення з кромковим контактом має висунуту вперед одноконусну опору. Торець державки висунутий на $1/4$ довжини державки по відношенню до торця корпусу алмазно-абразивного інструменту. Радіальне розсування державок здійснюється одноконусним штоком. За допомогою цих державок можна обробляти отвір, що наближається до торця на 0,5-1,0 мм. Ці державки застосовують для хонінгування глухих отворів.

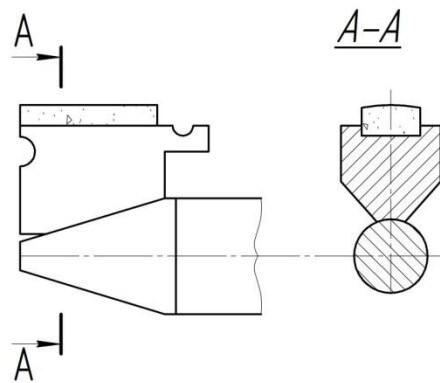


Рис.1.1.1 Кінцева з одним конусом розширення з кромковим контактом

Обумовлена кінцева ланка CPPP має ряд недоліків, а саме: невелику площу контакту між елементами та неможливість зворотного ходу в процесі обробки через наявність статичного і кінематичного тертя в ланці.

Далі розглянемо кінцеву ланку CPPP з одним конусом розширення з площинним контактом. Вона наведена на рис.1.1.2 [10].

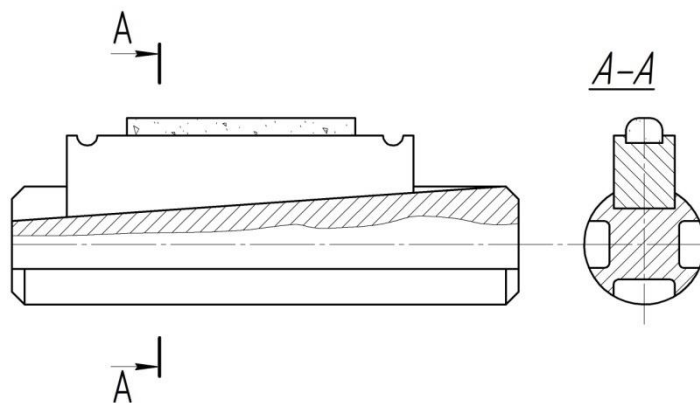


Рис.1.1.2 Кінцева ланки CRRP з одним конусом розширення з площинним контактом

Кінцева ланка CRRP одним конусом розширення з площинним контактом з однією кінцевою нероз'ємною опорою має кут конуса ($1-5^\circ$). У розтискному циліндричному штоку діаметрально розташовані конічні пазы, на які спираються державки. Конічні опорні поверхні пазів повинні бути суворо концентричні зовнішнім циліндричним поверхням штоку. Кути конуса пазів і опорної поверхні державок повинні збігатися і забезпечувати контакт сполучених конічних поверхонь за всією довжиною твірної конуса. Державки цього типу застосовують в прецензійному хонінгуванні з малим зніманням припуску для отримання отворів високої точності.

Дана кінцева ланка має ряд недоліків, а саме: неможливість зворотного ходу через наявність сил тертя, а саме статичної та кінематичної сили тертя.

Кінцева ланка CRRP з одним конусом розширення з сферичним контактом наведена на рис.1.1.3.[10]

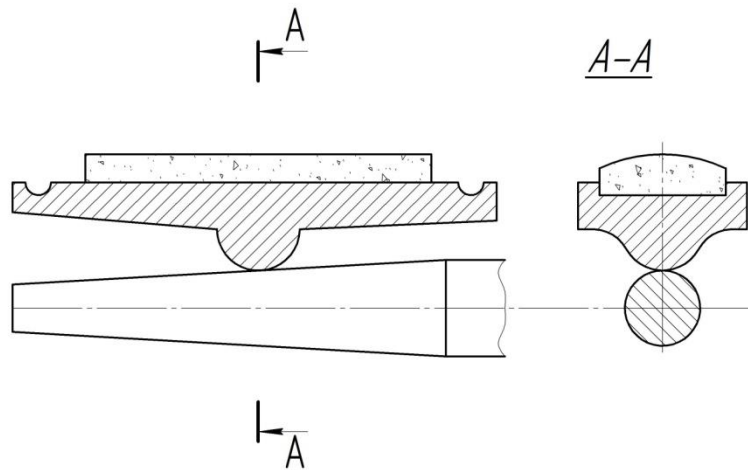


Рис.1.1.3. Кінцева ланка CRRP з одним конусом розширення з сферичним контактом

Кінцева ланка CRRP з одним конусом розширення з сферичним контактом гойдається на одній сферичній опорі, що забезпечує самовстановлення ріжучого бруска на оброблюваній поверхні. Розтискний шток має один конус. Державки пов'язані зі штоком через проміжні пальці, що мають сферичну опору. Подібна конструкція полегшує самовстановлення ріжучих брусків на хонінгуємій поверхні. Цей тип державок застосовується для одночасної обробки декількох довгих отворів, де основне призначення зводиться до підвищення класу чистоти поверхні без істотної зміни циліндричної отвори.

Обумовлена кінцева ланка CRRP не відповідає вимогам, а саме: наявність тертя (статичне та кінематичне) і мала площа контакту між елементами, що може призвести до погіршення геометричної форми оброблюємої деталі.

Розглянемо кінцеву ланку CRRPP з одностороннім клином розширення наведеного на рис.1.1.4. [9,102,103,104,105].

Кінцева ланка CRRP з одностороннім клином складається з одностороннього клину, який служить для розширення корпусу и колодок. На корпусі закріплені алмазні бруски 4 в декілька рядів по радіусу.

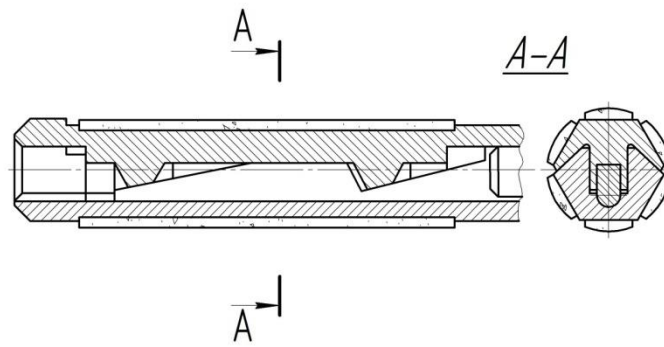


Рис.1.1.4. Кінцева ланка СРРР з одностороннім клином

Обумовлена кінцева ланка СРРР з одностороннім клином призначена для усунення великих геометричних недоліків форми отвору та обробки отворів малих діаметрів.

Дана кінцева ланка має ряд недоліків, а саме: неможливість зворотного із-за наявності сил тертя, а саме статичної та кінематичної сили тертя.

Кінцева ланка СРРР з двома конусами розширення з кромковим контактом наведена на рис. 1.1.5 [9].

Кінцева ланка СРРР з двома конусами розширення з кромковим контактом має дві розтискні конічні опори. Розсувний шток - голчастого типу. Бруски від осьового зміщення утримуються пазом. Кут конусів штока дорівнює $5-8^\circ$. Ріжучі бруски розташовані консольно в нижній частині державок і зміщені від опори на конічному штоку для обробки отворів невеликих діаметрів. Ці державки застосовують для обробки отворів до 10 мм.

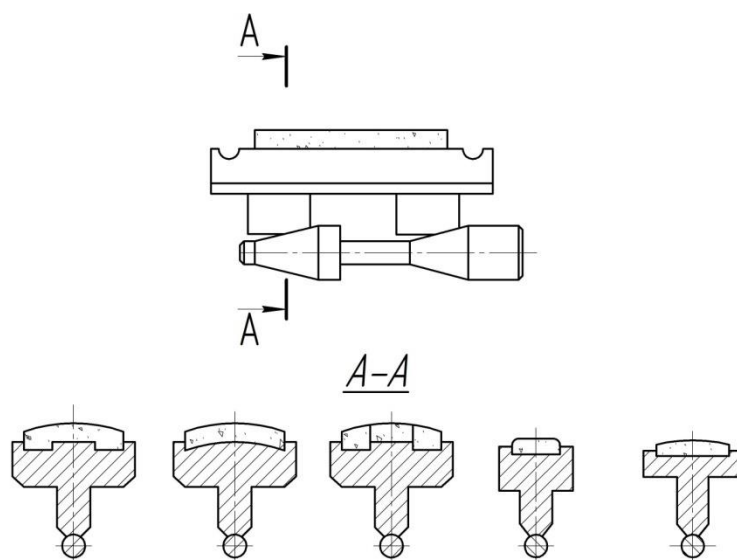


Рис. 1.1.5 Кінцева ланка СРРР з двома конусами розширення з кромковим контактом

Дана кінцева ланка має ряд недоліків, а саме: неможливість зворотного ходу через наявність сил тертя, а саме статичної та кінематичної сили тертя, та недостатній контакт між елементами ланки.

Кінцева ланка СРРР з двома конусами розширення з площинним контактом наведена на рис.1.1.6 [9].

Кінцева ланка СРРР з двома конусами розширення з площинним контактом з однією або двома внутрішніми конічними опорами на штоках з конічними ребрами складна у виготовленні. Всі опорні ділянки штоку повинні лежати на одній конічній поверхні. Подібна конструкція дозволяє збільшити висоту державок і ріжучої частини брусків, поліпшити напрямки державок в пазах хонінгувальних головок. Державки цього типу застосовують в малогабаритних хонінгувальних головках для обробки отворів діаметром до 20 мм.

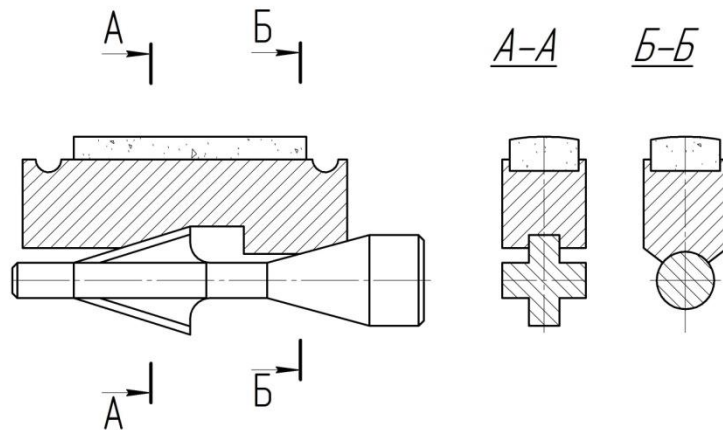


Рис.1.1.6 Кінцева ланка СРРР з двома конусами розширення з площинним контактом

Дана кінцева ланка має ряд недоліків, а саме: неможливість зворотного ходу через наявність сил тертя, а саме статичної та кінематичної сили тертя.

Кінцева ланки СРРР з двома конусами розширення з сферичним контактом наведена на рис. 1.1.7. [9].

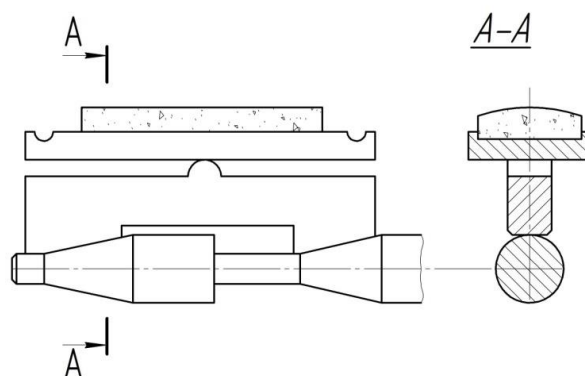


Рис.1.1.7. Кінцева ланка СРРР з двома конусами розширення з сферичним контактом

Кінцева ланка СРРР з двома конусами розширення з сферичним контактом відрізняється від кінцевої ланки СРРР з двома конусами розширення з площинним контактом наявністю двухопорного конуса і обмеженою величиною хитання державки (0,2-0,3 мм). Це сприяє більш рівномірному зносу ріжучих брусків.

Дана кінцева ланка має ряд недоліків, а саме: неможливість зворотного ходу через наявність сил тертя, а саме статичної та кінематичної сили тертя, і недостатнього контакту між елементами.

Кінцева ланка CPPP з багатьма конусами розширення наведена на рис.1.1.8. [9].

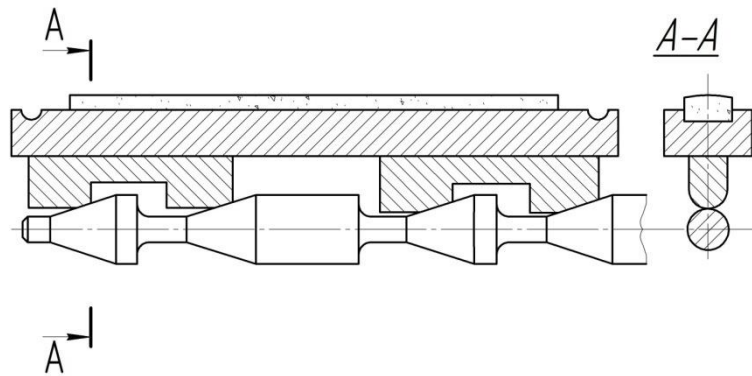


Рис.1.1.8. Кінцева ланка CPPP з багатьма конусами розширення

Кінцева ланка CPPP з багатьма конусами розширення з довгими брусками працює на багатоопорних конусах, розташованих по всій довжині державки. У зв'язку з технологічними труднощами виготовлення цілісних довгих брусків на кожній державці закріплюють декілька складених алмазно-металевих пластин або абразивних брусків. Цю державку застосовують для одночасної обробки декількох співвісних отворів довгими брусками.

Дана кінцева ланка має ряд недоліків, а саме: неможливість зворотного ходу через наявність сил тертя, а саме статичної та кінематичної сили тертя.

Кінцева ланка CPPP з єдиним конусом розширення наведена на рис.1.1.9. [3].

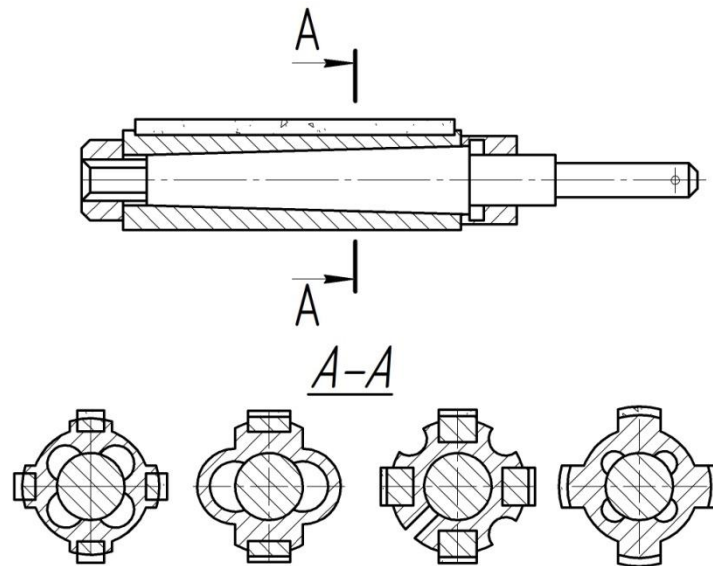


Рис.1.1.9. Кінцева ланка СРРР з єдиним конусом розширення

Кінцева ланка СРРР з єдиним конусом розширення майже не відрізняється від кінцевої ланки СРРР з одним конусом розширення і кромковим контактом. Різниця лише в куті нахилу конусу в кінцевій ланці з єдиним конусом розширення він менший.

Дана кінцева ланка має ряд недоліків, а саме: неможливість зворотного ходу через наявність сил тертя, а саме статичної та кінематичної сили тертя.

Далі розглянемо кінцеву ланку СРРР з гідравлічним розтиском. Вона наведена на рис. 1.1.10 [18].

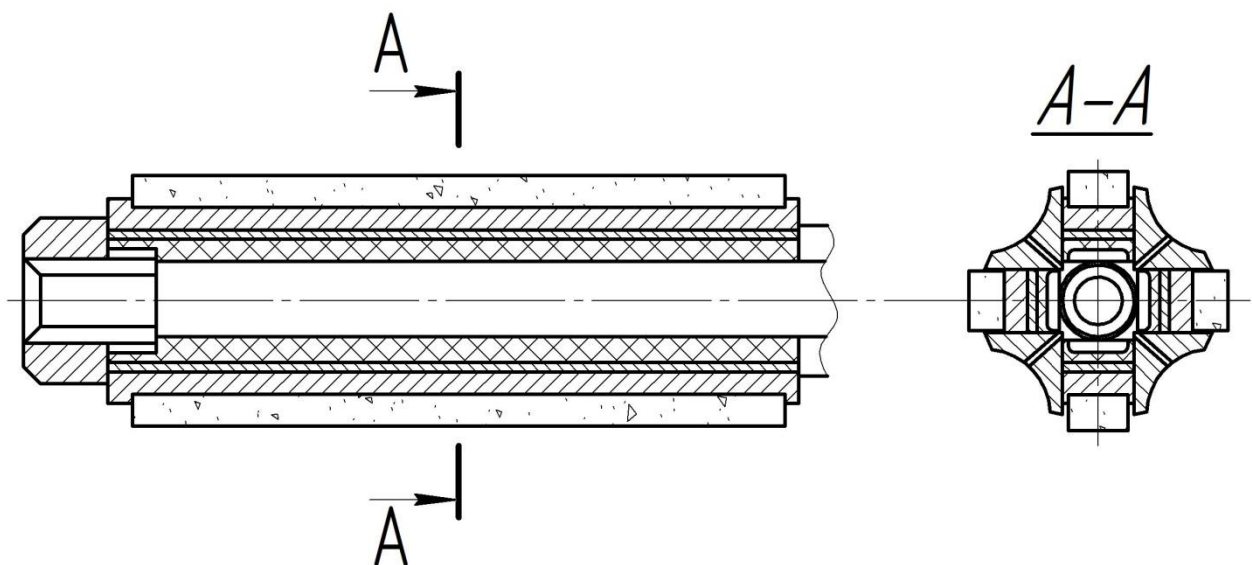


Рис.1.1.10 Кінцева ланка СРРР з гідравлічним розтиском

Кінцева ланка СРРР з гідравлічним ротиском забезпечує притискання брусків до поверхні, що оброблюється тиском робочої рідини, яка подається в середину корпусу. Кінцева ланка СРРР з гідравлічним розтиском складається з корпусу з чотирма пазми, по яким переміщуються в радіальному напрямку колодки з брусками. Робоча рідина підводиться в внутрішню порожнину корпусу через отвір в штуцері. В кожному пазі розташована резиновий поршень подовженої форми, до якого закріплена металічна пластина. На пластину встановлюються колодки з брусками.

Обумовлена кінцева ланка СРРР має один вагомий недолік, а саме: неможливість використання для обробки малих діаметрів, також можливість виникнення сил тертя між поршнем та корпусом, що негативно позначиться на можливості точного регулювання радіального розміру та можливості зворотного ходу в процесі обробки.

1.1.3. Аналіз існуючих кінцевих ланок СРРР з єдиною поверхнею різання

Кінцева ланка СРРР з єдиною поверхнею різання наведена на рис.1.1.11. [3].

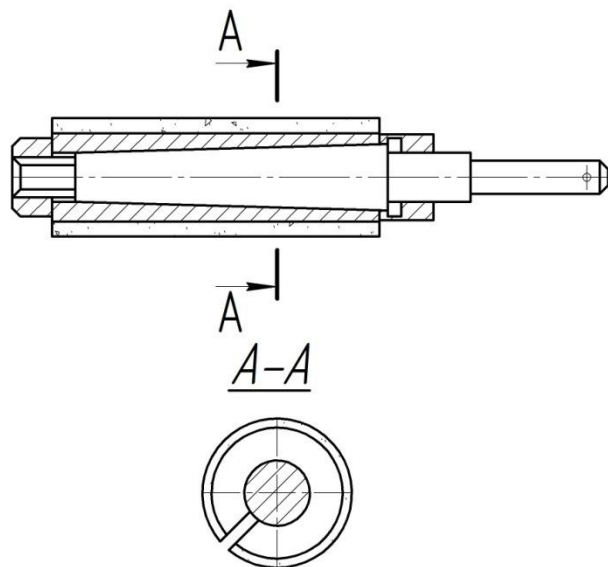


Рис.1.1.11. Кінцева ланка СРРР з єдиною поверхнею різання

. Кінцева ланка СРРР з єдиною поверхнею різання відрізняється від кінцевої ланки СРРР з єдиним конусом розширення лише поверхнею різання.

Дана кінцева ланка має ряд недоліків, а саме: неможливість зворотного ходу через наявність сил тертя, а саме статичної та кінематичної сили тертя.

Отже складемо класифікацію кінцевих ланок і зведемо її до таблиці 1.1.1

1.1.4. Класифікація кінцевих ланок CRRP

Класифікація кінцевих ланок CRRP таблиця 1.

№	Тип кінцевої ланки	Конструктивне виконання кінематичної пари, які утворюють рух розтиску	Ступені вільності	Можливість зворотного ходу	Теоретична форма контакту взаємодіючих поверхонь	Область використання
1	2	3	4	5	6	7
З дискретною поверхнею різання						
1	Кінцева з одним конусом розширення з кромковим контактом Рис.1.3.1	Клиновий у вигляді одного конусу	$\hat{Z}=0$ $\hat{X}\neq 0$ $\hat{Y}=0$ $\bar{Z}=0$ $\bar{X}\neq 0$ $\bar{Y}=0$	Не задовільне внаслідок наявності перехідного процесу від статичного до кінематичного тертя, що супроводжується наявністю нерівномірного руху і фактично не може забезпечити точного зворотного руху	Взаємодія внутрішньої і зовнішньої кінцевої поверхні з переходом на кромковий контакт	Хонінгування глухих отворів
2	Кінцева ланка CRRP з одним конусом розширення з площинним контактом Рис.1.3.2	Клиновий у вигляді одного конусу	$\hat{Z}=0$ $\hat{X}=0$ $\hat{Y}=0$ $\bar{Z}=0$ $\bar{X}\neq 0$ $\bar{Y}=0$	Не задовільне внаслідок наявності перехідного процесу від статичного до кінематичного тертя, що супроводжується наявністю нерівномірного руху і фактично не може забезпечити точного зворотного руху.	Взаємодія поверхонь у площинному контакті.	Прецизійне хонінгування отворів високої точності
3	Кінцева ланка CRRP з одним конусом розширення з	Клиновий у вигляді одного конусу	$\hat{Z}=0$ $\hat{X}\neq 0$ $\hat{Y}\neq 0$ $\bar{Z}=0$	Не задовільне внаслідок наявності перехідного процесу від статичного до кінематичного тертя, що	Взаємодія поверхонь у сферичному контакті	Одночасне хонінгування декількох довгих отворів

	сферичним контактом Рис.1.3.3.		$\bar{X} \neq 0$ $\bar{Y} = 0$	супроводжується наявністю не рівномірного руху і фактично не може забезпечити точного зворотного руху.		при наявності самовстановлення брусків
4	Кінцева ланка СРРР з одностороннім клином Рис.1.3.4.	Клиновий односторонній	$\hat{Z} = 0$ $\hat{X} = 0$ $\hat{Y} = 0$ $\bar{Z} = 0$ $\bar{X} \neq 0$ $\bar{Y} = 0$	Не задовільне внаслідок наявності перехідного процесу від статичного до кінематичного тертя, що супроводжується наявністю не рівномірного руху і фактично не може забезпечити точного зворотного руху.	Взаємодія поверхонь площинного контакту.	Абразивне хонінгування отворів (10-25мм)
5	Кінцева ланка СРРР з двома конусами розширення з кромковим контактом Рис. 1.3.5	Клиновий у вигляді двох конусів	$\hat{Z} = 0$ $\hat{X} \neq 0$ $\hat{Y} = 0$ $\bar{Z} = 0$ $\bar{X} \neq 0$ $\bar{Y} = 0$	Не задовільне внаслідок наявності перехідного процесу від статичного до кінематичного тертя, що супроводжується наявністю не рівномірного руху і фактично не може забезпечити точного зворотного руху.	Взаємодія внутрішньої і зовнішньої конічної поверхні з переходом на кромковий контакт.	Хонінгування роз'єднань поверхонь (шліцевих, шпонкових отворів)
6	Кінцева ланка СРРР з двома конусами розширення з площинним контактом Рис.1.3.6	Клиновий у вигляді двох конусів	$\hat{Z} = 0$ $\hat{X} = 0$ $\hat{Y} = 0$ $\bar{Z} = 0$ $\bar{X} \neq 0$ $\bar{Y} = 0$	Не задовільне внаслідок наявності перехідного процесу від статичного до кінематичного тертя, що супроводжується наявністю не рівномірного руху і фактично не може забезпечити точного зворотного руху.	Взаємодія внутрішньої і зовнішньої конічної поверхні з переходом на комбінований контакт	Хонінгування отворів (до 20 мм)
7	Кінцева ланка	Клиновий у вигляді двох	$\hat{Z} = 0$	Не задовільне внаслідок наявності	Взаємодія зовнішньої	Забезпечення

	СРРР з двома конусами розширення з сферичним контактом Рис.1.3.7.	конусів	$\hat{X} \neq 0$ $\hat{Y} \neq 0$ $\bar{Z} = 0$ $\bar{X} \neq 0$ $\bar{Y} = 0$	перехідного процесу від статичного до кінематичного тертя, що супроводжується на явність не рівномірного руху і фактично не може забезпечити точного зворотного руху.	кінчної поверхні і площинної поверхні	рівномірного зносу брусків по всій поверхні в результаті і само встановлення брусків
8	. Кінцева ланка СРРР з багатьма конусами розширення Рис.1.3.8	Клиновий у вигляді декількох конусів	$\hat{Z} = 0$ $\hat{X} = 0$ $\hat{Y} = 0$ $\bar{Z} = 0$ $\bar{X} \neq 0$ $\bar{Y} = 0$	Не задовільне внаслідок наявності перехідного процесу від статичного до кінематичного тертя, що супроводжується на явність не рівномірного руху і фактично не може забезпечити точного зворотного руху.	Взаємодія внутрішньої і зовнішньої кінчної поверхні с переходом на кромковий контакт	Одночасне хонінгування декількох співвісних отворів довгими брусками
9	. Кінцева ланка СРРР з єдиним конусом розширення Рис.1.3.9	Клин у вигляді конусу	$\hat{Z} = 0$ $\hat{X} \neq 0$ $\hat{Y} = 0$ $\bar{Z} = 0$ $\bar{X} \neq 0$ $\bar{Y} = 0$	Не задовільне внаслідок наявності перехідного процесу від статичного до кінематичного тертя, що супроводжується на явність не рівномірного руху і фактично не може забезпечити точного зворотного руху	Взаємодія внутрішньої і зовнішньої кінчної поверхні с переходом на кромковий контакт	Алмазне розверчування
10	Кінцева ланка СРРР з гідравлічним розтиском Рис.1.3.10	Гідростатичний	$\hat{Z} = 0$ $\hat{X} = 0$ $\hat{Y} = 0$ $\bar{Z} = 0$ $\bar{X} \neq 0$ $\bar{Y} = 0$	Задовільне із-за мінімізованої кількості деталей с статичним і кінематичним тертям.	Взаємодія поверхонь площинному контакті	Одночасне хонінгування декількох співвісних отворів довгими брусками

З єдиною поверхнею різання						
11	Кінцева ланка СРРР з єдиною поверхнею різання Рис.1.3.11.	Клин у вигляді конусу	$\hat{Z}=0$ $\hat{X}\neq 0$ $\hat{Y}=0$ $\bar{Z}=0$ $\bar{X}\neq 0$ $\bar{Y}=0$	Не задовільне внаслідок наявності перехідного процесу від статичного до кінематичного тертя, що супроводжується наявністю не рівномірного руху і фактично не може забезпечити точного зворотного руху	Взаємодія внутрішньої і зовнішньої кінчної поверхні с переходом на кромковий контакт	Алмазне розверчування

1.1.5. Висновки і рекомендації

Висновки:

Майже всі існуючі кінцеві ланки СРРР мають в основі клин, який передбачає наявність роботи в умовах статичного та кінематичного тертя, що може призвести до виникнення нестійкої роботи СРРР в цілому.

Кінцеві ланки СРРР не мають можливості забезпечення точного зворотного ходу в процесі обробки, що ускладнить їх використання в умовах адаптивного керування процесом.

Більшість кінцевих ланок СРРР мають малу площу контакту з алмазно-абразивним брусками, що негативно впливає на здатність інструменту виправляти геометричні недоліки.

Рекомендації:

Дослідити кінцеві ланки СРРР, які працюють в умовах статичного та кінематичного тертя на стійкість.

Забезпечити оптимальну площу контакту між кінцевою ланкою СРРР та алмазно-абразивним бруском.

Забезпечити можливість точного зворотного ходу в процесі обробки.

1.2. Деталь представник для дослідження процесу хонінгування та гнучкої технології виготовлення

Деталь гвинт УЯИШ 716652.701 належить до деталей класу "порожній вал". Основною конструктивною базовою поверхнею гвинта є гвинтова канавка з арковим профілем, яка забезпечує взаємодію гвинта з гайкою через кульки, що утворюють кульково-гвинтову передачу.

Додатково, ключовими конструктивними базами є зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 42-0,062$ на довжині 102 мм, яка слугує для взаємодії з корпусом розподільника. Допоміжною базою виступають поверхня отвору $\varnothing 25+0,016$ і поверхні шести западин, що забезпечують взаємодію з ротором, розташованим у цьому отворі.

Торцеві поверхні гвинта працюють у парі з роликами торцевих підшипників. Матеріалом для виготовлення деталі обрано цементовану сталь марки 18ХГТ, що забезпечує необхідну міцність і зносостійкість.

Гвинтова канавка має замкнену конструкцію. Її початковий і кінцевий сегменти оснащені спеціальними прослабленнями для забезпечення плавного входу і виходу кульок.

На внутрішній циліндричній поверхні центрального отвору розташовано шість радіусних пазів. Крім того, на зовнішній циліндричній поверхні гвинта виконано ряд радіальних отворів, які забезпечують сполучення робочої рідини з каналами рульового механізму.

Ці конструктивні особливості спрямовані на забезпечення високої точності роботи та ефективної взаємодії елементів рульового механізму. Ескізи деталі гвинт представлений на рис.1.2.

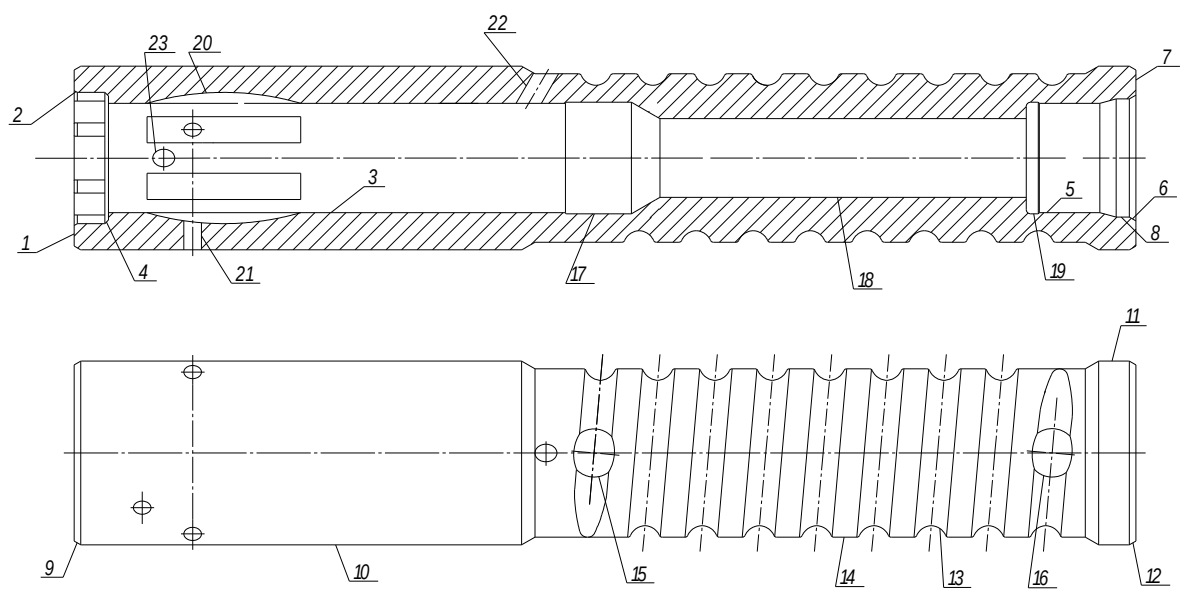


Рисунок 1.2. Ескіз деталі гвинт

2. Технологічна частина

2.1 Аналіз точності та технологічності деталі

Деталь належить до класу тіл обертання з відношенням $L > DL > D$. Такий клас деталей забезпечує високу точність обробки завдяки базуванню по подвійній направляючій та опорній поверхнях. Конструкція деталі включає зовнішні та внутрішні циліндричні поверхні. Частина поверхонь, що формують деталь, класифікується як уніфіковані.

Уніфіковані поверхні – це поверхні, які обробляються за традиційними технологічними процесами. До уніфікованих поверхонь деталі "гвинт" належать:

- Торцеві поверхні (1, 7);
- Отвори (поверхні 5, 8, 18, 21, 22, 23);
- Зовнішні циліндричні поверхні (поверхні 10, 11, 14);
- Канавки (поверхні 17, 19, 25);
- Пази (поверхні 15, 16).

Неуніфіковані поверхні – це поверхні, для обробки яких необхідне застосування спеціальних або нетрадиційних методів. До неуніфікованих поверхонь деталі "гвинт" належать:

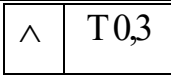
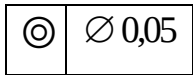
- Поверхні шести шліців (поверхня 24);
- Поверхні шести радіусних пазів (поверхня 20);
- Зовнішня гвинтова поверхня (поверхня 13);
- Внутрішня циліндрична поверхня (поверхня 3).

Перераховані неуніфіковані поверхні потребують застосування спеціалізованих методів обробки, які враховуються у розробленому технологічному процесі.

Таблиця 2.1

Характеристика параметрів точності поверхонь гвинта

№ пов	Найменування поверхні	Розмір з відхиленням	Геометричні відхилення			Шорсткість поверхні, Ra	
			розміщення поверхонь		поверхонь		
1	2	3	4			5	6
1,7	Торцеві поверхні	242 _{-0,1}		0,02	П	—	0,4
2	Фаска	0,7×60°	—			—	1,6
3	Отвір	Ø25 ^{+0,016}	—			—	0,2
4	Фаска	0,8×45°	—			—	3,2
5	Отвір	Ø25H7 ^{+0,021}	—			—	1,6
6	Фаска	1,5×60°	—			—	1,6
8	Отвір	Ø27	—			—	1,6
9	Фаска	1,5×30°	—			—	2,5
10,11	Циліндричні поверхні	Ø42 _{-0,062}		0,03	П	—	0,4
12	Фаска	1,5×30°	—			—	2,5
13	Гвинтова канавка	Ø33,2	—			—	0,2
14	Циліндрична поверхня	Ø38,5h7 _{-0,025}	—			—	2,5
15,16	Пази	35,6 _{-0,5}	—			—	2,5
17	Отвір	Ø25,5	—			—	3,2
18	Отвір	Ø18	—			—	3,2
19	Канавка	Ø25,5	—			—	3,2
20	Пази	38 ₋₁	—			—	2,5
21	Отвір	Ø4	—			—	3,2
22	Отвір	Ø5	—			—	3,2

23	Отвір	Ø4		—	3,2
24	Пази	Ø26,3H11 ^{+0,13} Ø30 ^{+0,15}		—	2,5

Технологічність конструкції — це сукупність властивостей виробу, які визначають його пристосованість до забезпечення оптимальних витрат у процесі виробництва, експлуатації та ремонту при дотриманні заданих показників якості, обсягу випуску й умов виконання роботи. У системі техніко-економічних вимог до промислових виробів технологічність конструкції займає особливе місце, оскільки безпосередньо впливає на ефективність усіх етапів життєвого циклу виробу.

Аналіз технологічності конструкції деталі проводиться з урахуванням умов її виготовлення. У цьому контексті особливості конструкції та встановлені вимоги до якості розглядаються як задачі, що мають бути вирішені виробником із технологічної точки зору.

Відповідно до положень стандарту ГОСТ 14.205-83, технологічність конструкції виробу характеризується його пристосованістю до досягнення оптимальних витрат на виробництво, експлуатацію та ремонт, при цьому забезпечуючи задані показники якості, обсяг виробництва й умови виконання робіт.

До основних показників якості виробу належать:

- безвідмовність функціонування;
- довговічність;
- точність з'єднань;
- рівень шуму;
- безпека;
- коефіцієнт корисної дії (ККД);
- зручність і простота обслуговування;
- ступінь механізації процесів тощо.

Ці параметри є основою для оцінки технологічності конструкції та визначають її придатність до ефективної реалізації у виробничих і експлуатаційних умовах.

2.1.1. Кількісний метод оцінки технологічності

До кількісного методу оцінки технологічності конструкції застосовують показники, які передбачені ГОСТ 14.203-73. Проведемо розрахунок по деяким з цих показників.

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів деталі:

$$K_{це} = \frac{Q_{ye}}{Q_e} \quad (2.1)$$

де $Q_{ye} = 15$ шт. – кількість уніфікованих елементів деталі;

$Q_e = 24$ шт. – загальна кількість конструктивних елементів.

Підставляючи відомі величини в формулу (6), отримуємо:

$$K_{це} = \frac{15}{24} = 0,63$$

При $K_{це} > 0,6$ деталь вважається технологічною

Коефіцієнт точності обробки деталі:

Деталь вважається технологічною по точності, коли коефіцієнт точності обробки $K_{точ} \geq 0,8$. Цей коефіцієнт визначається за формулою:

$$K_{точ} = 1 - 1/A_{cp} \quad (2.2)$$

де A_{cp} – середній квалітет точності обробки, який визначається як :

$$A_{cp} = \frac{\sum A \cdot n_i}{\sum n_i} \quad (2.3)$$

де A – квалітет точності обробки;

n – кількість розмірів, які відповідають даному квалітет, шт.

Підставляючи відомі величини в формулу (2.1.3), отримаємо:

$$A_{cp} = (11 \cdot 14 + 8 \cdot 9 + 4 \cdot 8 + 1 \cdot 5) / 24 = 10,96$$

Підставляючи відомі величини в формулу (2.1.2), отримуємо:

$$K_{точ} = 1 - 1/10,96 = 0,91$$

При коефіцієнті $K_{\text{точ}} > 0,8$ деталь вважається технологічною

Визначимо технологічність по коефіцієнту шорсткості поверхні, який повинен прагнути до нуля:

$$K_{\text{ш}} = Q_{\text{шн}} / Q_{\text{шо}} \quad (2.4)$$

де $Q_{\text{шн}}$ – кількість поверхонь з необґрунтованою шорсткістю, шт.;

$Q_{\text{шо}}$ – загальна кількість поверхонь, які підлягають обробці, шт.

Так як $Q_{\text{шн}} = 0$, то $K_{\text{ш}} = 0$, таким чином деталь може вважатися технологічною.

2.1.2. Якісний метод оцінки технологічності

Якісний метод оцінки технологічності деталі базується на практичних рекомендаціях і аналізі її конструктивних особливостей. У цьому випадку об'єктом аналізу є *гвинт*, що має циліндричну форму та належить до деталей типу "порожній вал".

Усі поверхні деталі характеризуються правильною геометричною формою, яка легко забезпечується на етапі виготовлення заготовки. Більшість оброблюваних поверхонь є легко доступними для механічної обробки. Базові поверхні мають вдало підібрану форму та розташування, що сприяє спрощенню технологічного процесу виробництва.

Проте є певні труднощі в обробці:

- **Гвинтова канавка** на зовнішній поверхні гвинта потребує високої точності виконання. Для цієї операції необхідно використовувати спеціалізований інструмент і забезпечувати суворий контроль точності.
- **Похилі отвори** також створюють додаткові складнощі у виконанні, вимагаючи високої точності та точного налаштування обладнання.

Загалом конструкція деталі оцінюється як технологічна:

- Майже до всіх поверхонь забезпечений вільний доступ ріжучого інструменту.

- Відсутні елементи з необґрунтовано високими вимогами до точності обробки.
- Невідповідальні поверхні обробляються за 14-м квалітетом точності, що оптимізує витрати.
- Для відповідальних поверхонь дотримується принцип єдності баз, що значно знижує ризик виникнення браку.

Таким чином, конструкція деталі в цілому відповідає вимогам технологічності та забезпечує оптимальні умови для її виготовлення.

Проаналізувавши всі вище перелічені фактори, будемо вважати деталь гвинт УЯИШ 716652.701 технологічною.

2.2. Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення деталі гвинт УЯИШ 716652.701

Здійснимо аналіз баз технологічного процесу, який представлений в табл.2.2

Таблиця 2.2

Маршрут обробки деталі гвинт УЯИШ 716652.701

Базовий	Проектуємий
005 Токарний верстат з ЧПК 16K20 Точити зовнішню циліндричну поверхню начорно, точити зовнішню циліндричну поверхню напівчисто.	005 Фрезерно-центрувальний МР021Ф4 Фрезерувати торець, розсвердлити отвір, фрезерувати торець, розсвердлити отвір.
010 Токарний верстат з ЧПК 16K20 Точити зовнішню циліндричну поверхню начорно, точити зовнішню циліндричну поверхню напівчисто.	010 HYUNDAI L150Y Проточити зовнішню циліндричну поверхню 1, розточити отвір 2, проточити зовнішню циліндричну поверхню начисто 3, свердлити отвір 4, точити канавку 5, зенкерувати отвір 6, фрезерувати начірно шліци 7, фрезерувати начисто шліци 7.
015 Токарний верстат з ЧПК 16K20 Точити зовнішню циліндричну поверхню начорно, точити зовнішню циліндричну поверхню напівчисто..	015 HYUNDAI L150Y Точити зовнішню циліндричну поверхню 1, нарізати гвинтову канавку 2.
020 Вертикально-свердлильний 2Н135 Свердлити 3 отвори послідовно.	020 Строгальний верстат 6Б75ВФ1 Довбати послідовно 6 пазів.

025 Токарний з ЧПК 16A20Ф3 Точити внутрішню канавку.	025 Шліфувальний верстат ЗМ227АФ2 Шліфувати отвір, шліфувати торець.
030 Токарний з ЧПК 16A20Ф3 Точити гвинтову канавку аркової форми.	030 Шліфувальний верстат ЗМ227АФ2 Шліфувати поверхню щіців.
035 Фрезерний ПФ2171С5 Фрезерувати 6 щіців послідовно.	035 Вертикально-свердлильний 2Н135 (хонінгування) Розгорнути отвір
040 Прес П4 Калібрувати отвір.	040 Круглошліфувальний верстат ЗМ152Ф2 Шліфувати зовнішню поверхню, Шліфувати зовнішню поверхню,
045 Строгальний верстат 6Б75ВФ1 Довбати послідовно 6 пазів.	045 Різьбошліфувальний верстат 5832 Шліфувати гвинтову поверхню
050 Фрезерний 6Т80 Фрезерувати пази від вихідного шліфувального круга.	
055 Вертикально-свердлильний 2Н135 Розгорнути отвір.	
060 Вертикально-свердлильний 2Н135 Розгорнути отвір.	
065 Токарний з ЧПК 16A20Ф3 Розточити отвір і конічну поверхню.	
070 Вертикально-свердлильний 2Н135 Розгорнути отвір.	
075 Внутрішньошліфувальний ЗМ227 Шліфувати отвір.	
080 Внутрішньошліфувальний ЗМ227 Шліфувати поверхню щіців.	
085 Круглошліфувальний верстат ЗМ152Ф2 Шліфувати зовнішню поверхню.	
090 Круглошліфувальний верстат ЗМ152Ф2 Шліфувати зовнішню поверхню.	
095 Різьбошліфувальний верстат 5832 Шліфувати гвинтову поверхню.	

Проведемо аналіз базового технологічного процесу за штучним часом і коефіцієнтом за таб.2.2

Таблиця 2.3

Характеристика операцій базового технологічного процесу

№ опер.	Верстат	Штучний час $T_{шт}, \text{хв}$	Час обробки програми $T_N = T_{шт} \cdot N, \text{год}$	Коефіцієнт завантаження $K_3 = T_N / F_{др}$
1	2	3	4	5
001	Стрічково-розрізна пила BS-250 SSV	1,5	7500	2,02
002	Шліфувальний 3Б634	0,5	2500	0,67
005	Токарний 16К20	8,5	42500	11,45
010	Токарний 16К20	9,3	46500	12,53
015	Токарний 16К20	4,52	22600	6,09
020	Вертикально-свердлувальний 2Н125	1,2	6000	1,61
025	Токарний з ЧПК 16А20Ф3	1,84	9200	2,47
030	Токарний з ЧПК 16А20Ф3	10	50000	13,47
035	Фрезерний ГФ2171С5	2,5	12500	3,36
040	Прес П4	2,46	12300	3,31
045	Стругальний 6Б75ВФ1	15,31	76550	20,62
050	Фрезерний 6Т80	3	15000	4,04
055	Вертикально-свердлувальний 2Н125	1,5	7500	2,02
060	Вертикально-свердлувальний 2Н125	1,5	7500	2,02
065	Токарний з ЧПК 16А20Ф3	7,13	35650	9,60
070	Вертикально-свердлувальний 2Н125	2,5	12502	3,36
075	Внутрішньошліфувальний 3М227	1,126	5630	1,51
080	Внутрішньошліфувальний 3М227	180	900000	242,52
085	Круглошліфувальний 3М152	1,1	5500	1,48
090	Круглошліфувальний 3М152	2,7	13500	3,63
095	Різьбошліфувальний 3К228	2,8	14000	3,77

Технологічний процес виготовлення деталі "гвинт" розроблений для забезпечення вимог креслення та виконується у виробничому цеху відповідно до встановлених технічних умов.

Заготівка для виготовлення деталі – це поковка з матеріалу сталь 18ХГТ (відповідно до ГОСТ 4543-71). Під час виготовлення дотримуються принципу єдності технологічних і конструкційних баз. Усі операції – чорнові,

чистові та проміжні – виконуються із використанням спеціальних пристосувань.

- На токарних операціях (010, 015) базування деталі здійснюється по зовнішній циліндричній поверхні з упором у торець.
- На фрезерних (050), свердлильних (055) та строгальних (045) операціях використовуються бази, сформовані за зовнішньою циліндричною поверхнею з упором у торець та отвором, обробленим на токарній операції 015.
- На круглошліфувальних операціях (085, 090) базування здійснюється по центрових отворах з упором в один із торців.

Особливості технологічного процесу:

1. Процес виконується на спеціалізованих високопродуктивних верстатах, зокрема універсальних токарних, фрезерних, шліфувальних та верстатах із числовим програмним керуванням (ЧПК).
2. Застосовуються як стандартні затискні пристрої, так і спеціальне технологічне оснащення, розроблене для виготовлення цієї деталі. Однак переобладнання таких верстатів під інші деталі потребує значних витрат.

Використання ЧПК:

Більшість операцій виконується на верстатах із ЧПК і напівавтоматах. Однак операції 020, 055, 060 та 070 виконуються на універсальних вертикально-свердлильних верстатах. Для підвищення ефективності доцільно впровадити верстати з ЧПК, які забезпечать обробку кількох поверхонь за одну установку, як чорнову, так і чистову.

Неуніфіковані поверхні:

1. Поверхні шести шліців (поверхня 24) обробляються фрезеруванням і калібруванням.
2. Шість радіусних пазів (поверхня 20) довбаються на строгальному верстаті.
3. Зовнішня гвинтова поверхня (поверхня 13) обробляється на токарному оброблювальному центрі.

Оцінка діючого технологічного процесу:

Базовий технологічний процес забезпечує відповідність виробу заданим вимогам точності, продуктивності та собівартості. Він відповідає сучасним стандартам виготовлення аналогічних деталей.

Недоліки базового процесу:

1. Використання прутка як заготовки значно знижує коефіцієнт використання матеріалу та збільшує трудомісткість механічної обробки.
2. Великий штучний час (близько 180 хвилин) для обробки отвору (поверхня 3) на операції 080 (внутрішнє шліфування на верстаті 3М227), що пов'язано з високими вимогами до точності.
3. Значна кількість операцій виконується на універсальних верстатах, які не забезпечують достатньої ефективності обробки.

Для вдосконалення технологічного процесу доцільно збільшити частку операцій на верстатах із ЧПК, що зменшить трудомісткість, підвищить продуктивність та забезпечить вищий рівень автоматизації.

2.3. Вибір заготовки та способу її виготовлення

2.3.1. Вибір заготовки та способу її виготовлення деталі гвинт УЯИШ.716652.701

Метод отримання заготовки визначається призначенням та конструкцією деталі, матеріалом, технічними вимогами, серійністю випуску та ін. Виходячи з цього, для виготовлення заготовки деталі гвинт УЯИШ. 716652.701 найбільш доцільно використовувати технологію гарячого об'ємного штампування (всадку) з трубних заготовок.

Переходи по виготовленню заготовки гвинта представлені на ескізі (Рис. 2.2).

Заготовка труба 45-6 18ХГТ ГОСТ 9941-72

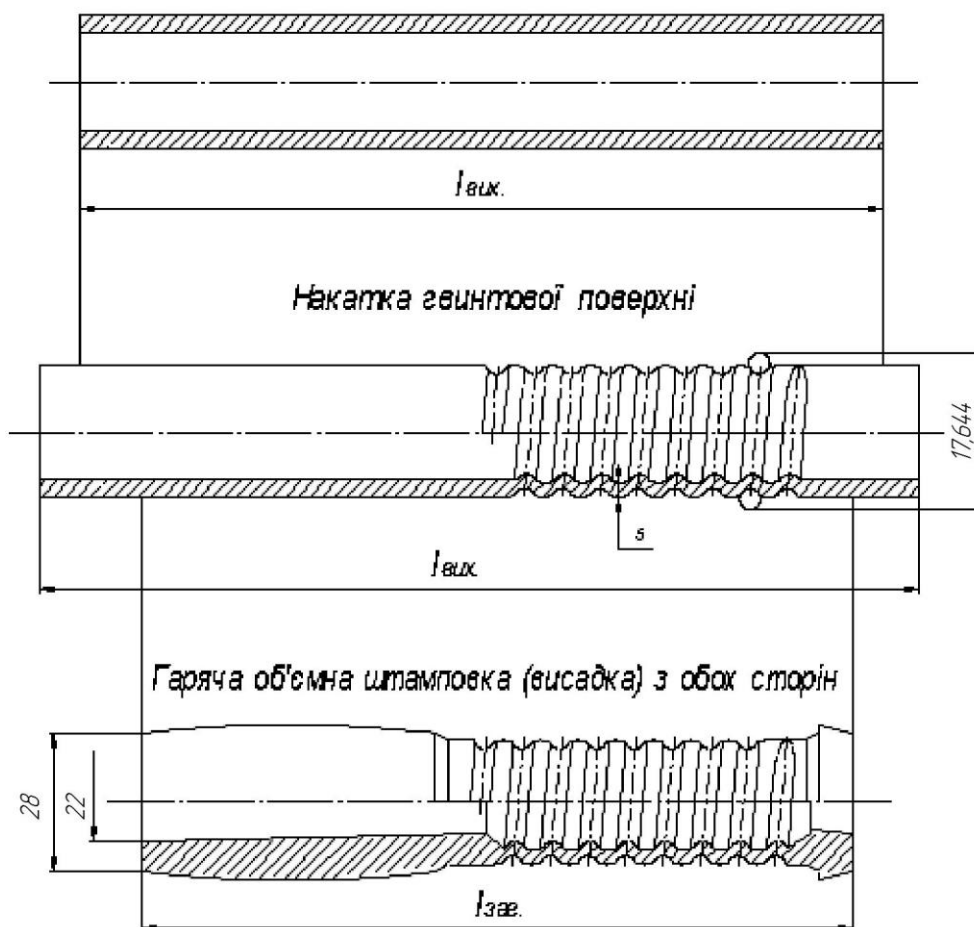


Рис. 2.2. Переходи по виготовленню заготовки гвинта

2.3.2. Хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталі гвинт УЯИШ. 716652.701

В якості матеріалу для виготовлення деталі гвинт УЯИШ. 716652.701 приймаємо конструкційну леговану сталь 18ХГТ за ГОСТ 4543-71. Сумарний вміст легуючих елементів в сталі складає 2,5...10%. Сталь 18ХГТ відноситься до групи хромомарганцевих сталей. Ця марка сталі застосовується, як правило, для валів, які працюють при циклічних навантаженнях.

Основний вид термічної обробки – цементація та нітроцементація, які забезпечують високу зносостійкість робочих поверхонь та досить велику статичну міцність. Після цементації слідує загартування при температурі 880...950°C та охолодження на повітрі, далі – низьке відпускання при 200°C.

Хімічний склад сталі 18ХГТ

Марка сталі	Склад елементів, %				
	C	Mn	Cr	Ti	Si
18ХГТ	0,17...0,23	0,8...1,1	1,0...1,3	≤0,09	0,17-0,37

Таблиця 2.5

Механічні властивості матеріалу деталі

Марка сталі	σ_t , МПа	σ_b , МПа	Твердість НВ	Твердість цементованого шару HRC	Твердість серцевини HRC
18ХГТ	900	1000	156...159	56...62	30...45

Сталь 18ХГТ використовується для деталей, які працюють при великих швидкостях, середніх та високих питомих опорах, при наявності ударних навантажень. Застосовують, коли вимагається висока твердість поверхні та зносостійкість деталей, якщо необхідна досить висока міцність та в'язкість. Вміст хрому в сталі значно зміцнює її та робить важкооброблюваними деталі.

2.3.3. Проектування заготовки

Припуски на обробку та допуски розмірів на поковки сталеві штамповані визначаються по ГОСТ 7505; з вищевказаного джерела визначаємо, що деталь має наступні позначення:

Клас точності поковки – Т4

Група сталі – М2

Ступінь складності – С2

Конфігурація поверхні роз'єму штампа – П (плоска)

Вихідний індекс –10.

Основні припуски на розміри, мм:

2,0 – Ø42 мм та шорсткість поверхні 6,3;

1,0 – Ø25 мм та шорсткість поверхні 0,2;

1,5 – Ø38,5 мм та шорсткість поверхні 2,5;

1,2 – Ø33,2 мм та шорсткість поверхні 0,2;

1,5 – довжина деталі 242 мм та шорсткість поверхні 0,4.

Додаткові припуски, що враховують:

– зміщення по поверхні роз'єму штампа 0,2 мм;

– зігнутість, відхилення від площинності та прямолінійності 0,8 мм.

Розміри поковки та їх допускаємі відхилення:

діаметр $42+(2+0,2+0,8) \times 2 = 48$ мм;

діаметр $25-(1,0+0,2+0,8) \times 2 = 22$ мм;

діаметр $38,5+(1,5+0,2+0,8) \times 2 = 43,5$ мм;

діаметр $33,2+(1,2+0,2+0,8) \times 2 = 37,6$ мм приймаємо 37,5 мм;

довжина $242+(1,5+0,2+0,8) \times 2 = 247$ мм.

Радіус закруглення зовнішніх кутів 2 мм.

Штамповочний нахил 5°.

Допускаємі відхилення розмірів, мм:

$\varnothing 48^{+1,1}_{-0,5}$; $\varnothing 22^{+0,9}_{-0,5}$; $\varnothing 43,5^{+1,1}_{-0,5}$; $\varnothing 37,5^{+0,9}_{-0,5}$; довжина $247^{+2,2}$.

Допуск довжини стержня – 5 мм.

Допускаєма висота заусенця в площині роз'єму матриць – 0,6 мм.

Допускаєма висота торцевого заусенця – 2,0 мм.

Приведемо економічне обґрунтування вибору методу отримання заготовки.

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C}{1000} * Q * k_m * k_c * k_b * k_m * k \right) - (Q - q) * \frac{S_{\text{від}}}{1000}$$

де С - базова вартість 1 т. заготовки, грн.

Q - вага заготовки

q - вага деталі

Свід.-вартість 1 т. відходів, грн.

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{25000}{1000} * 2 * 1 * 0.444 * 0.81 * 1 * 1.09 \right) - (2 - 1.468) \frac{5000}{1000} = 15.09$$

2.4.Вибір методів обробки поверхонь деталі гвинт УЯИШ.716652.701

Сучасний підхід до створення технологічних процесів у машинобудуванні розглядає побудову оптимального технологічного процесу виготовлення деталі як спрямований пошук. Цей процес враховує численні конструктивні, функціональні, економічні аспекти, а також особливості управління та організації виробництва. Одним із ключових чинників, які впливають на оптимізацію, є вибір маршрутів обробки окремих поверхонь деталі.

Вибір маршрутів здійснюється на основі вимог до точності та шорсткості поверхонь, що підлягають обробці, а також характеристик точності заготовки. Враховується копіювання похибок і використовуються типові маршрути обробки поверхонь, доповнені таблицями економічної точності для різних методів обробки.

Позначення та розрахунки:

- Поверхні деталі позначаються відповідно до технологічного креслення.
- Для кожної поверхні, яка потребує кількох етапів механічної обробки, визначається декілька можливих маршрутів.
- Обчислення параметрів обробки виконується згідно з прийнятою методикою [1].
- Чисельні значення економічних допусків і шорсткості поверхонь беруться з джерел [4] і [5].

Результати розрахунків зводяться в таблицю (наприклад, таблиця 2.8), яка дозволяє порівняти ефективність маршрутів та обрати оптимальний варіант.

Цей підхід забезпечує раціоналізацію технологічного процесу, зменшення похибок обробки, оптимізацію витрат та підвищення якості виготовлення деталей.

Як видно з розрахунків, для поверхні 3 оптимальним є маршрут №2, при якому $\varepsilon_{\text{заг}} \leq \Pi \varepsilon_i$, а для поверхні 13 – маршрут №1.

Таблиця 2.8

№ поверхонь	Маршрути обробки	Шорсткість	Економічні допуски		Частні уточнення $\varepsilon_i = \frac{\delta_{i-1}}{\delta_i}$	Загальні уточнення $\varepsilon_{заг} = \frac{\delta_{заг}}{\delta_{дет}}$	Економічна доцільність $\varepsilon_{заг} \leq \prod_{i=1}^M \varepsilon_i$
			Позначення	Чисельне значення			
1	2	3	4	5	6	7	8
3	Маршрут №1						
	Поковка	-	$\delta_{заг}$	1,5	-	187,5	$\varepsilon_{заг} = 9,09 \cdot 3,93 \cdot 2,55 \cdot 1,57 \cdot 1,31 = 187,35$
	Розточування чорнове	6,3	δ_1	0,33	9,09		
	Розточування чистове	3,2	δ_2	0,084	3,93		
	Розточування тонке	1,6	δ_3	0,033	2,55		
	Шліфування чорнове	0,8	δ_4	0,021	1,57		
	Шліфування чистове	0,2	δ_5	0,016	1,31		
	Маршрут №2						
	Поковка	-	$\delta_{заг}$	1,5	-	187,5	$\varepsilon_{заг} = 9,09 \cdot 6,35 \cdot 1,58 \cdot 1,57 \cdot 1,31 = 187,57$
	Зенкерування чорнове	6,3	δ_1	0,33	9,09		
	Зенкерування чистове	3,2	δ_2	0,052	6,35		
	Шліфування чорнове	1,25	δ_3	0,033	1,58		
	Шліфування чистове	0,63	δ_4	0,021	1,57		
	Алмазне розверчування	0,2	δ_5	0,016	1,31		

Продовження табл. 2.8

1	2	3	4	5	6	7	8
1,7	Маршрут №1					10,7	$\varepsilon_{\text{заг}} = 1,72 \cdot 6,21 \cdot 1,60 = 17,09$
	Поковка	-	$\delta_{\text{заг}}$	1,5	-		
	Розточування чорнове	12,5	δ_1	0,87	1,72		
	Розточування чистове	3,2	δ_2	0,14	6,21		
	Шліфування попереднє	0,8	δ_3	0,087	1,60		
5	Поковка	-	$\delta_{\text{заг}}$	1,5	-	4,55	$\varepsilon_{\text{заг}} = 4,55$
	Свердління	3,2	δ_1	0,33	4,55		
8	Поковка	-	$\delta_{\text{заг}}$	1,5	-	3,26	$\varepsilon_{\text{заг}} = 3,26$
	Свердління	3,2	δ_1	0,46	3,26		
17	Поковка	-	$\delta_{\text{заг}}$	1,5	-	4,55	$\varepsilon_{\text{заг}} = 4,55$
	Свердління	3,2	δ_1	0,3	4,55		
14	Маршрут №1						
	Поковка	-	$\delta_{\text{заг}}$	1,5	-	208,3	$\varepsilon_{\text{заг}} = 6,41 \cdot 6,29 \cdot 1,59 \cdot 1,56 \cdot 2,08 = 208,32$
	Обточування чорнове	6,3	δ_1	0,39	6,41		
	Обточування чистове	3,2	δ_2	0,062	6,29		
	Обточування тонке	1,6	δ_3	0,039	1,59		
	Шліфування чорнове	0,8	δ_4	0,025	1,56		
	Шліфування чистове	0,2	δ_5	0,012	2,08		
	Деталь	0,2	$\delta_{\text{д}}$	0,012	-		
	Маршрут №2						
	Поковка	-	$\delta_{\text{заг}}$	1,5	-	208,3	$\varepsilon_{\text{заг}} = 4,03 \cdot 6,2 \cdot 2,56 \cdot 1,56 \cdot 2,08 = 207,55$
Фрезерування чорнове	6,3	δ_1	0,62	4,03			
Обточування чистове	3,2	δ_2	0,1	6,2			
Обточування тонке	1,25	δ_3	0,039	2,56			
Шліфування чорнове	0,63	δ_4	0,025	1,56			
Шліфування чистове	0,2	δ_5	0,012	2,08			

1	2	3	4	5	6	7	8
19	Поковка	-	$\delta_{\text{заг}}$	1,5	-	42,9	42,2
	Розточування чорнове	6,3	δ_1	0,3	5		
	Розточування чистове	3,2	δ_2	0,074	4		
	Шліфування попереднє	0,63	δ_3	0,035	2,11		
21, 22, 23	Поковка	-	$\delta_{\text{заг}}$	1,5	-	20	$\varepsilon_{\text{заг}} = 20$
	Свердління	1,25	δ_1	0,075	20		

2.5. Розробка маршруту виготовлення деталі

2.5.1. Загальні вимоги до технологічного процесу

2.5.1.1 В першу чергу необхідно обробляти поверхні деталі, до яких задана найбільша кількість вимог точності, тобто найбільш значимі конструкторські бази.

2.5.1.2 Від підготовлених на першій операції технологічних баз планують обробку інших поверхонь. В останню чергу повинні оброблюватись найбільш точні та поверхні, що легко пошкоджуються.

2.5.1.3 При проектуванні маршруту обробки необхідно прагнути до скорочення переустановок деталі з верстата на верстат.

2.5.2. Розробка маршруту обробки гвинта УЯИШ.716652.701.

З урахуванням вимог п.2.5.1. в першу чергу на деталі гвинт необхідно обробити торцеві поверхні 1, 7 і поверхні центрових отворів 2, 6. Ці поверхні в подальшому будуть застосовуватись в якості базових. Представлені в табл.2.2.

2.6 Вибір технологічних баз

Вибір технологічних баз починається з визначення чорнової бази — поверхні, що використовується на першій операції технологічного процесу. Її основне призначення полягає у створенні технологічних баз для подальших етапів обробки.

При виборі чорнової бази слід забезпечити рівномірне зняття припуску з найважливіших і найточніших поверхонь деталі. Як правило, для першої чорнової бази обирають поверхню з найбільшою площею. Чорнова база використовується, як правило, лише на початковому етапі обробки.

На наступних етапах механічної обробки важливо дотримуватись **принципів співпадання та постійності баз**. Це забезпечує стабільність обробки і мінімізує накопичення похибок.

Якщо дотримання принципу єдності баз є неможливим, слід використовувати **принцип переходу**: базування має здійснюватися з менш точної поверхні до більш точної. Це дозволяє поступово підвищувати точність обробки, забезпечуючи якість кінцевого виробу.

Деталь гвинт відноситься до типу деталей класу тіла обертання з $L > D$. В якості баз використовуються: подвійна направляюча – зовнішня циліндрична поверхня (або центрові отвори) і опорна поверхня – один із торців деталі. За першу чорнову базу необхідно вибрати зовнішню циліндричну поверхню заготовки гвинта і одну із ступенів в якості опорної (поверхня, яка в подальшому не оброблюється). На послідовних операціях механічної обробки в якості баз можуть застосовуватись поверхні центрових отворів, а також інші поверхні, пов'язані розмірними характеристиками з центровими отворами.

Вибір технологічних баз виконуємо одночасно з розробкою маршруту обробки деталі, який складаємо згідно методичних вказівок.

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

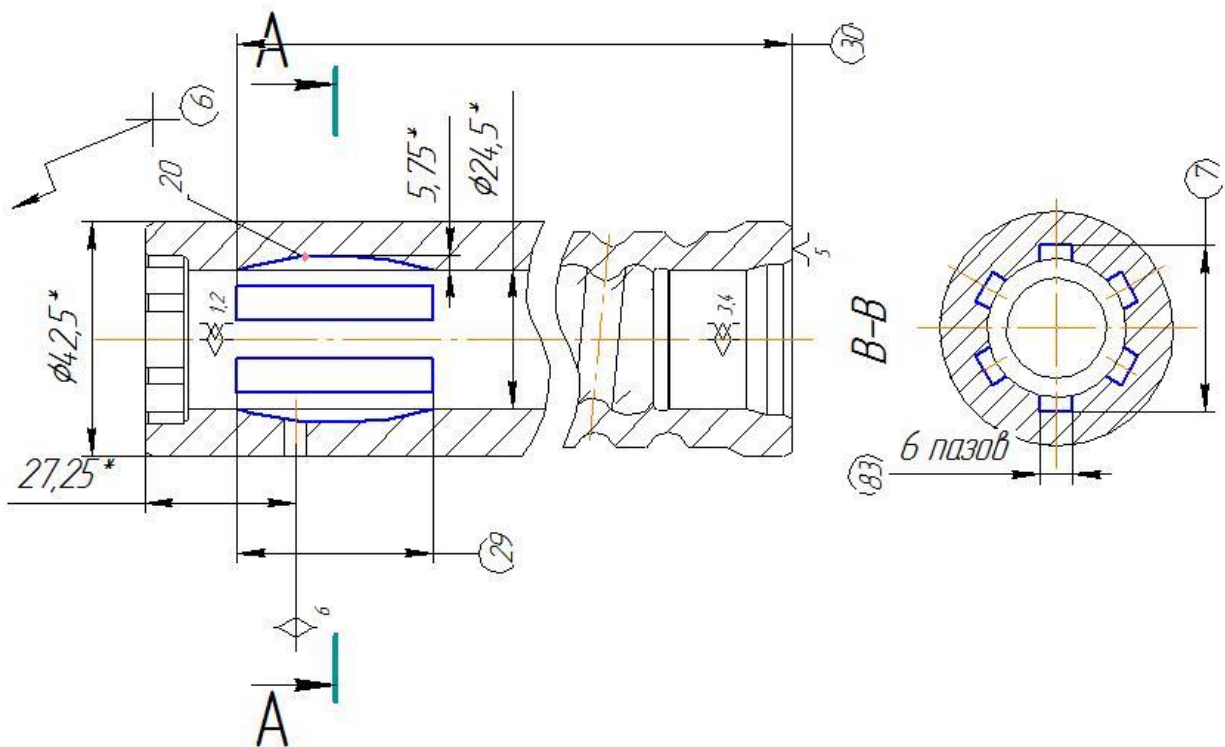
2.7.1 Розробка структури та змісту технологічних операцій деталі гвинт УЯИШ 716652.701

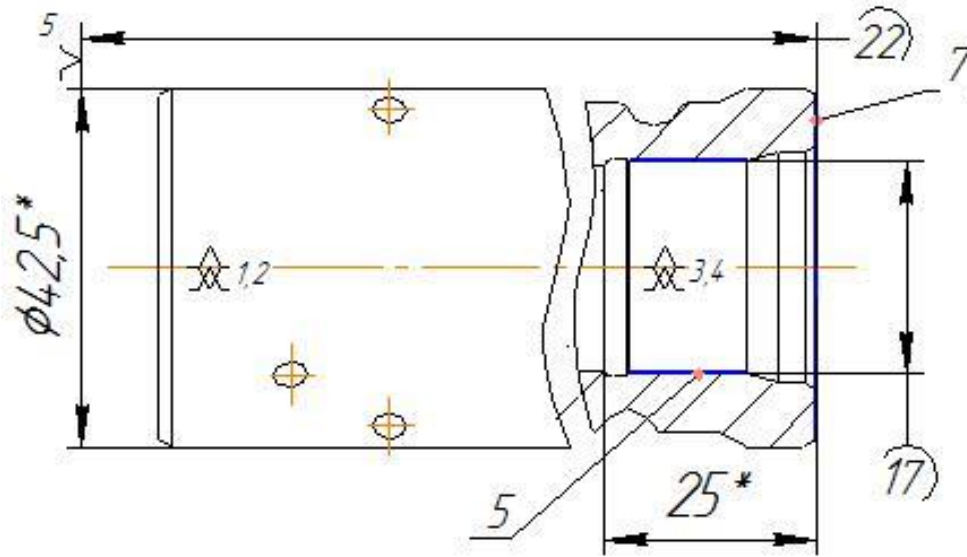
З урахуванням програми випуску деталі в межах 7500 шт на рік, найбільш доцільно застосування гнучкої технології з використанням верстатів з ЧПК. Маршрути обробки деталі відображені в таблиці 2.9.

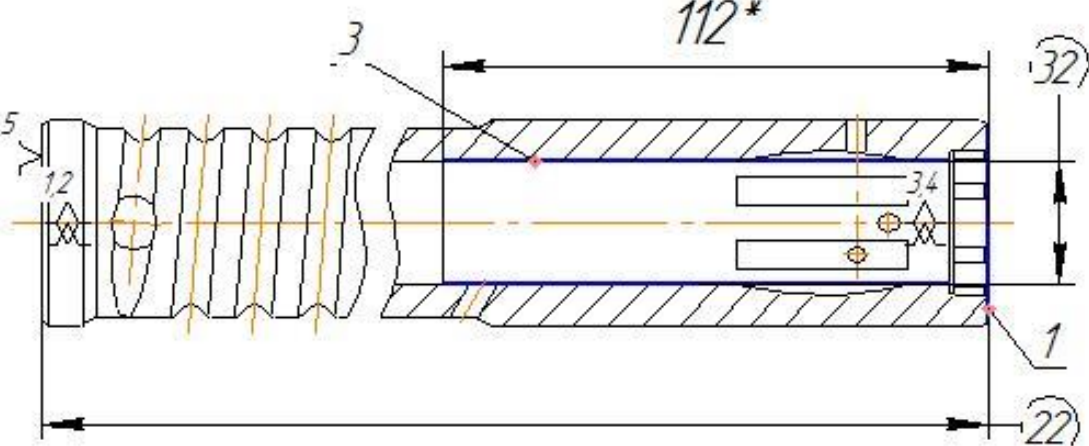
Таблиця 2.13

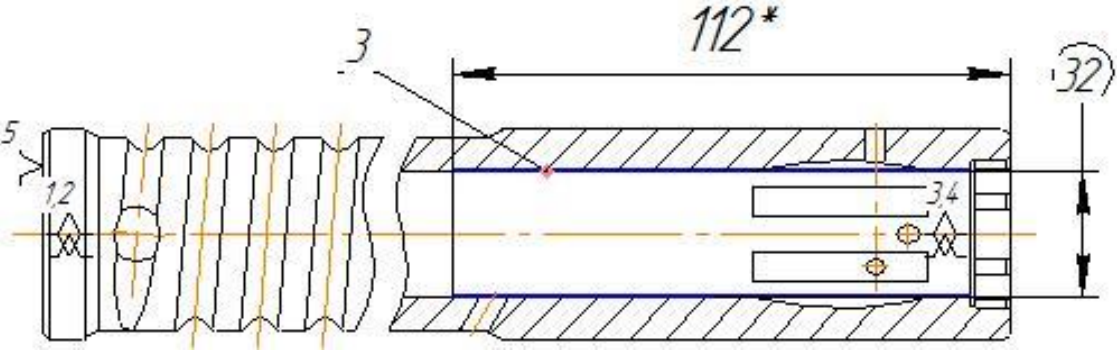
Структура технологічного процесу обробки деталі гвинт УЯИШ 716652.701

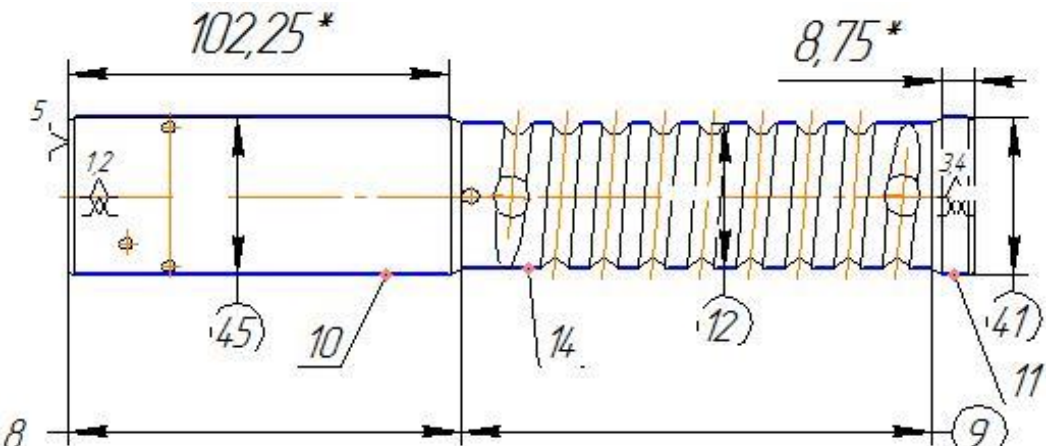
№ операції	Найменування та модель верстату	Схема обробки	Зміст операції
1	2	3	4
005 Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний МР021Ф4	Перехід 02, 03, 04, 05, 06	01. Встановити і закріпити деталь. 02. Фрезерувати торець 7. 03. Розсвердлити отвір начорно 3. 04. Фрезерувати торець 1. 05. Розсвердлити отвір начорно 5. 06. Зенкерувати отвір начисто 3.

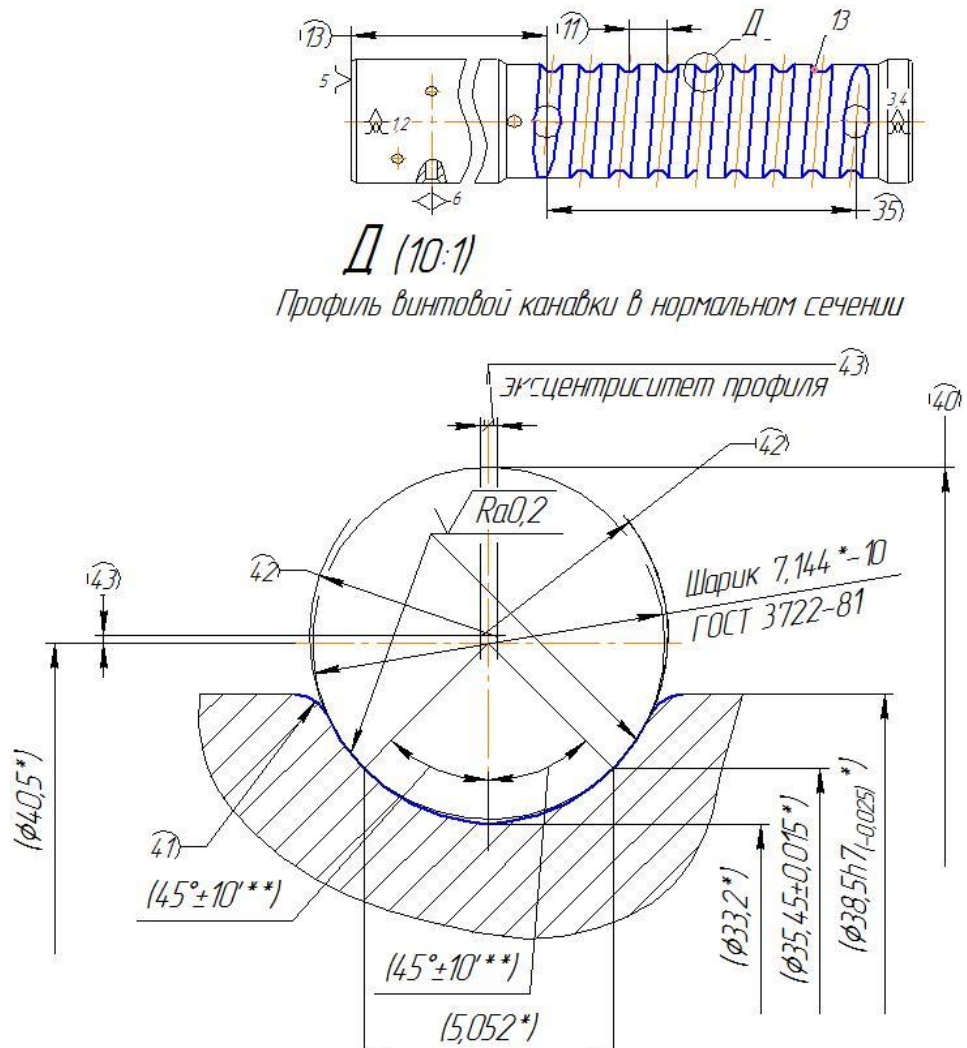
№ операції	Найменування та модель верстату	Схема обробки	Зміст операції
1	2	3	4
020 Строгальна	Строгальний верстат 6Б75ВФ1	Перехід 02 	01. Встановити і закріпити деталь. 02. Довбати послідовно 6 пазів 20.

1	2	3	4
025 Внутрішньо-шліфувальна	Шліфувальний верстат 3М227АФ2	Перехід 02, 03 	01. Встановити і закріпити деталь. 02. Шліфувати отвір 5. 03. Шліфувати торець 7.

1	2	3	4
030 Внутрішньо-шліфувальна	Шліфувальний верстат 3М227АФ2	Перехід 02, 03 	01. Встановити і закріпити деталь. 02. Шліфувати отвір 3. 03. Шліфувати торець 1.

1	2	3	4
035 Алмазне розгортання	Вертикально- свердлильний 2Н135	Перехід 02 	01.Встановити і закріпити деталь. 02. Розгорнути отвір 3.

1	2	3	4
040 Кругло шліфувальна	Кругло- шліфувальний верстат 3М152Ф2	Перехід 02, 03, 04 	01.Встановити і закріпити деталь. 02. Шліфувати зовнішню поверхню 11. 03. Шліфувати зовнішню поверхню 14. 04. Шліфувати зовнішню поверхню 10.

1	2	3	4
045 Різьбо- шліфувальна	Різьбо- шліфувальний верстат 5822	Перехід 02,  $D (10:1)$ Профиль винтовой канавки в нормальном сечении	01.Встановити і закріпити деталь. 02.Шліфувати гвинтову поверхню 13.

Для скорочення часу на розробку маршруту використовуємо технологічне креслення деталі з розміщенням на ньому операційних припусків, номерів оброблюваних та інших поверхонь, номерів розмірів.

2.7.2 Вибір металорізального обладнання

Дана деталь оброблюється в умовах багатосерійного типу виробництва тому обладнання, що використовується при механічній обробці повинно відповідати таким критеріям, як зменшення витрат часу на обробку; зменшення собівартості обробки на верстаті; збільшення використання верстата по часу його роботи, по потужності, по основному часу. Вибрані верстати наведені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Металорізальне обладнання для обробки деталі гвинт УЯИШ 716652.701

№ оп.-ції	Назва і модель верста-та	Коротка характеристика						Розмірна характеристика		
		Діапазон частот об.шпін-деля, об/хв.	Діапазон подачі мм/хв.	Габаритні розміри верста-та, мм	Маса верста-та, т	Потужність ел./дв, кВт	Число УРЕ	Макс роз.-р оброб. деталі	Макс діам. свердління мм	Розміри стола
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005	Фрезерно-центрувальний МР021Ф4	125...712	200...300	2435×1265×1890	3,1	7,5	6	250	30	-
010 015	Токарний верстат HYINDAI L150Y	50...6000	50...200	2405x1650x1870	4,4	15	-	530	240	600
020	Строгальний верстат 6Б75ВФ1	40-2240	10-600	3700×1975×1695	1,45	1,5	-	320	-	200 × 500
025 5-030	Внутрішньо-шліфувальний 3М227АФ2	55-620	0,05-5	3754×4675	4,5	11	25	500	260	-

035	Вертикально-свердильний 2Н135	31,5-1400	повзд. .25-1250 верт. 8,3-416,6	1500×1250×2120	1,5	11,0	13	280	35	400х1600
040	Круглошліфувальний 3М152Ф2	50-500	0,05-5	4600×2400	4,5	7,5	25	700	200	-
045	Різьбошліфувальний 5822	25-500	-	3760×2350×2150	7	10,0	-	700	-	-

2.8. Вибір затискних пристроїв

2.8.1. Вибір затискних пристроїв для обробки деталі гвинт УЯИШ.716652.701

На всіх операціях застосовуються спеціальні пристосування. Вони застосовуються тільки для обробки даної деталі. Стислу технічну характеристику кожного затискного пристрою наводимо в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10.

Затискні пристрої для деталі гвинт УЯИШ.716652.701

№ операції	Найменування пристрою	Стандарт	Рід приводу
005	Призми затискні	Спец.	Електромеханічний
010	Патрон відцентровий	Спец.	Інерційний
015	Патрон відцентровий	Спец.	Інерційний
020	Затискне пристосування	Спец.	Пневматичний
025	Цанговий патрон	Спец.	Пневматичний
030	Цанговий патрон	Спец.	Пневматичний
035	Затискне пристосування	Спец.	Механічний
040	Затискне пристосування	Спец.	Автоматичний
045	Затискне пристосування	Спец.	Автоматичний

2.9. Вибір ріжучих інструментів

Враховуючи метод і стадію обробки, тип виробництва, фізико-хімічні характеристики матеріалів вихідної заготовки та інструменту, його міцність і стійкість, а також характер обробки, обираємо необхідний для кожного переходу ріжучий інструмент. Відомість про обрані інструменти вибираємо з довідників [4, 10]. Характеристики обраного інструменту для деталі приводимо у вигляді таблиці 2.11.

Таблиця 2.11

Ріжучий інструмент для обробки деталі гвинт УЯИШ.716652.701

Номер		Назва інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Ріжуча частина	
Операції	Переходу			Матеріал	Стандарт
1	2	3	4	5	6
005	1	Фреза торцева	ГОСТ 13785-68	T15K6	ГОСТ 3882-74
	2	Зенкер Ø17,4	ГОСТ 12489-71	T15K6	ГОСТ 3882-74
	3	Зенкер Ø18	ГОСТ 12489-71	T15K6	ГОСТ 3882-74
	4	Зенкер Ø24	ГОСТ 12489-71	T15K6	ГОСТ 3882-74
	5	Зенкер Ø24,7	ГОСТ 12489-71	T15K6	ГОСТ 3882-74
	6	Зенкер Ø26,4	ГОСТ 12489-71	T15K6	ГОСТ 3882-74
	7	Зенкер Ø27	ГОСТ 12489-71	T15K6	ГОСТ 3882-74
	8	Фреза торцева	ГОСТ 13785-68	T15K6	ГОСТ 3882-74
	9	Зенкер Ø23,8	ГОСТ 12489-71	T15K6	ГОСТ 3882-74
	10	Зенкер Ø24,5	ГОСТ 12489-71	T15K6	ГОСТ 3882-74
010	1	Різець прохідний	WNMG 060404 FG MWLNL 1616 HO6	TT1500	ISO P10
	2	Різець розточний	WNMA 060408 MWLNR 2020K08	TT1500	ISO P10
	3	Різець підрізний	SCMT 09T308FG SCLCR 0808F06	TT1500	ISO P10

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4	5	6
	4	Різець розточний	DNMG 110404 FC VDQNR 2020R15	TT1500	ISO P10
	5	Різець канавочний	TSC3 TTFPR 25303	TT1500	ISO P10
	6	Зенкер Ø25	TMTECQ 1010D32 1.0 ISO	TT1500	ISO P10
	7	Свердло Ø8,3	SHD 5083	TT1500	ISO P10
	8	Різець розточний	DNMG 150604MC	TT1500	ISO P10
	9	Фреза Ø3	NES 4030	TT1500	ISO P10
015	1	Різець прохідний упорний	TNMM 160408RH CTGPR 1212F11	TT1500	ISO P10
	2	Зенкер Ø23,3	TMTECQ 1010D32 1.0 ISO	TT1500	ISO P10
	3	Різець розточний	DNMG 150604MC	TT1500	ISO P10
	4	Різець розточний	CKJNR 2020K16	TT1500	ISO P10
	5	Різець канавочний	TDA 6.00-3.00 TGEUR 1616-3	TT1500	ISO P10
020	1	Строгальний різець	ГОСТ 18891-73	T15K6	ГОСТ 3882-74
025	1	Круг шліфувальний ПП20х25х8 24А	ГОСТ 2424-83	Електро- корунд	ГОСТ 8768-78
	2	Круг шліфувальний ЧЦ100х50х20 15А	ГОСТ 2424-83	Електро- корунд	ГОСТ 8768-78
030	1	Круг шліфувальний ПП20х24,8х8 24А	ГОСТ 2424-83	Електро- корунд	ГОСТ 8768-78
	2	Круг шліфувальний ЧЦ100х50х20 15А	ГОСТ 2424-83	Електро- корунд	ГОСТ 8768-78
035	1	Хонінгувальна головка 25х100 АС16 80/63	-	Електро- корунд	ГОСТ 8768-78
040	1	Круг шліфувальний ПП40х8х13 24А СМК	ГОСТ 2424-83	Електро- корунд	ГОСТ 8768-78
045	1	Круг шліфувальний ПП20х8х13 24А СМК	ГОСТ 2424-83	Електро- корунд	ГОСТ 8768-78

2.10. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Засоби технічного контролю технологічних операцій обираємо з урахуванням точності вимірювальної поверхні та типу виробництва. Відомості про засоби технічного контролю для деталі гвинт УЯИШ 716652.701 приводимо у вигляді таблиці 2.12.

Таблиця 2.12

Вимірювальний інструмент для контролю деталі гвинт УЯИШ 716652.701

Номер		Параметр деталі, який контролюється	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт на конструкцію
Операцій	Переходу			
1	2	3	4	5
005	1	□ 0,1 ↗ 0,5 10 137±0,5	Індикатор Пристосування для контролювання допуску биття Штангенциркуль ШЦ 1-160 _{-0,05}	ГОСТ 9696-82 Спец. ГОСТ 166-89
	2	Ø24 ^{+0,4}	Калібр-пробка	СТП 23.113. 01.073-78
	3	□ 0,1 ◎ 0,2 10 Ø24,7 ^{+0,13}	Індикатор Пристосування для контролювання допуску співвісності Калібр-пробка	ГОСТ 9696-82 Спец. СТП 23.113. 01.073-78
	4	Ø26,4 ^{+0,4}	Калібр-пробка	СТП 23.113. 01.073-78
	5	□ 0,1 ◎ 0,2 10 Ø27 ^{+0,05}	Індикатор Пристосування для контролювання допуску співвісності Калібр-пробка	ГОСТ 9696-82 Спец. СТП 23.113. 01.073-78
	6	□ 0,1 ↗ 0,5 10 242,5-0,4	Індикатор Пристосування для контролювання допуску биття Штангенциркуль ШЦ 1-250 _{-0,05}	ГОСТ 9696-82 Спец. ГОСТ 166-89
	7	Ø23,8 ^{+0,4}	Калібр-пробка	СТП 23.113. 01.073-78

1	2	3	4	5					
005	8	<table><tr><td></td><td>0,1</td></tr><tr><td>◎</td><td>0,2</td><td>10</td></tr></table> Ø24,5 ^{+0,2}		0,1	◎	0,2	10	Індикатор Пристосування для контролю- вання допуску співвідності Калібр-пробка	ГОСТ 9696-82 Спец. СТП 23.113. 01.073-78
	0,1								
◎	0,2	10							
010	1	Ø44,5 _{-0,4}	Калібр-пробка	СТП 23.113. 01.073-78					
	2	<table><tr><td></td><td>0,1</td></tr><tr><td>↗</td><td>0,03</td><td>П</td></tr></table> Ø43,1 _{-0,2}		0,1	↗	0,03	П	Індикатор Пристосування для контролю- вання допуску биття Калібр-скоба	ГОСТ 9696-82 Спец. СТП 23.113. 078-78
		0,1							
	↗	0,03	П						
	3	Ø40,5 _{-0,3}	Калібр-скоба	СТП 23.113. 078-78					
	4	<table><tr><td></td><td>0,1</td></tr><tr><td>↗</td><td>0,03</td><td>П</td></tr></table> Ø39,1 _{-0,2}		0,1	↗	0,03	П	Індикатор Пристосування для контролю- вання допуску биття Калібр-скоба	ГОСТ 9696-82 Спец. СТП 23.113. 078-78
	0,1								
↗	0,03	П							
5	Ø44,5 _{-0,4}	Калібр- скоба	СТП 23.113. 078-78						
6	<table><tr><td></td><td>0,1</td></tr><tr><td>↗</td><td>0,03</td><td>П</td></tr></table> Ø43,1 _{-0,2}		0,1	↗	0,03	П	Індикатор Пристосування для контролю- вання допуску биття Калібр- скоба	ГОСТ 9696-82 Спец. СТП 23.113. 078-78	
	0,1								
↗	0,03	П							
015	1	Ø25,5 ^{+0,1}	Нутромір	ГОСТ 9244-75					
020	1	<table><tr><td></td><td>0,1</td></tr><tr><td>↗</td><td>0,03</td><td>П</td></tr></table> Ø42,5 _{-0,1}		0,1	↗	0,03	П	Індикатор Пристосування для контролю- вання допуску биття Калібр-скоба	ГОСТ 9696-82 Спец. СТП 23.113. 078-78
	0,1								
↗	0,03	П							

1	2	3	4	5				
020	2	<table><tr><td></td><td>0,1</td></tr><tr><td>↗</td><td>0,03 П</td></tr></table> Ø38,75 _{-0,1}		0,1	↗	0,03 П	Індикатор Пристосування для контролю- вання допуску биття Калібр-скоба	ГОСТ 9696-82 Спец. СТП 23.113. 078-78
		0,1						
	↗	0,03 П						
	3	<table><tr><td></td><td>0,1</td></tr><tr><td>↗</td><td>0,03 П</td></tr></table> Ø42,5 _{-0,1}		0,1	↗	0,03 П	Індикатор Пристосування для контролю- вання допуску биття Калібр-скоба	ГОСТ 9696-82 Спец. СТП 23.113. 078-78
		0,1						
	↗	0,03 П						
	4	36,5 _{-0,5}	Штангенциркуль ШЦ 1-125 _{-0,1}	ГОСТ 166-89				
	5	36,5 _{-0,5}	Штангенциркуль ШЦ 1-125 _{-0,1}	ГОСТ 166-89				
	6	Ø52,35 _{-0,4} Ø6,2 ^{+0,4}	Штангенциркуль ШЦ 1-125 _{-0,1} Пристосування для контролю внутрішнього діаметра гвинтової канавки	ГОСТ 166-89 Спец.				
	7	Ø49,85 _{-0,2} Ø6,8 ^{+0,2}	Штангенциркуль ШЦ 1-125 _{-0,1} Пристосування для контролю внутрішнього діаметра гвинтової канавки	ГОСТ 166-89 Спец.				
	8	Ø48,5 _{-0,1} Ø7 ^{+0,1}	Штангенциркуль ШЦ 1-125 _{-0,1} Пристосування для контролю внутрішнього діаметра гвинтової канавки	ГОСТ 166-89 Спец.				
	9	Ø47,9 _{-0,05} Ø7,144 ^{+0,05} <table><tr><td></td><td>0,1</td></tr><tr><td>↗</td><td>0,05 6,2</td></tr></table>		0,1	↗	0,05 6,2	Штангенциркуль ШЦ 1-125 _{-0,1} Пристосування для контролю внутрішнього діаметра гвинтової канавки Індикатор Пристосування для контролю- вання допуску биття	ГОСТ 166-89 Спец. ГОСТ 9696-82 Спец.
	0,1							
↗	0,05 6,2							
10	Ø6 ^{+0,4}	Штангенциркуль ШЦ 1-125 _{-0,1}	ГОСТ 166-89					
11	Ø6 ^{+0,4}	Штангенциркуль ШЦ 1-125 _{-0,1}	ГОСТ 166-89					
12	Ø5 ^{+0,2}	Калібр-пробка	СТП 23.113. 01.073-78					

1	2	3	4	5
020	13	$\varnothing 5^{+0,4}$	Штангенциркуль ШЦ 1-125 _{-0,1}	ГОСТ 166-89
	14	$\varnothing 5^{+0,4}$	Штангенциркуль ШЦ 1-125 _{-0,1}	ГОСТ 166-89
	15	$\varnothing 4^{+0,2}$	Калібр-пробка	СТП 23.113. 01.073-78
	16	$\varnothing 5^{+0,2}$	Штангенциркуль ШЦ 1-125 _{-0,1}	ГОСТ 166-89
	17	$\varnothing 4^{+0,2}$	Калібр-пробка	СТП 23.113. 01.073-78
025	1	$\varnothing 29,2^{+0,2}$	Калібр-пробка	Спец.
		 0,2 3	Пристосування для контролювання допуску співвісності	Спец.
	2	$\varnothing 30^{+0,4}$	Калібр	Спец.
		 0,2 3	Пристосування для контролювання допуску співвісності	Спец.
030	1	$\varnothing 30^{+0,15}$	Комплексний калібр	Спец.
		 0,05 3	Пристосування для контролювання допуску співвісності	Спец.
035	1	$\varnothing 25^{+0,021}$	Нутромір індикаторний Індикатор	ГОСТ 868-82 ГОСТ 9696-82
		 0,02  0,02 10	Пристосування для контролювання допуску співвісності	Спец.
	2	$242,25_{-0,1}$	Штангенциркуль ШЦ 1-250 _{-0,05} Індикатор	ГОСТ 166-89 ГОСТ 9696-82
		 0,05  0,01 10	Пристосування для контролювання допуску биття	Спец.
040	1	$\varnothing 24,8^{+0,1}$	Нутромір індикаторний Індикатор	ГОСТ 868-82 ГОСТ 9696-82
		 0,02  0,02 10	Пристосування для контролювання допуску співвісності	Спец.
	2	$242_{-0,1}$	Штангенциркуль ШЦ 1-250 _{-0,05} Індикатор	ГОСТ 166-89 ГОСТ 9696-82
		 0,05  0,01 10	Пристосування для контролювання допуску биття	Спец.
045	1	$\varnothing 25^{+0,016}$	Нутромір індикаторний Індикатор	ГОСТ 868-82 ГОСТ 9696-82
		 0,02  0,02 10	Пристосування для контролювання допуску співвісності	Спец.

2.11. Визначення припусків та операційних розмірів деталі

2.11.1. Визначення припусків та операційних розмірів деталі гвинт УЯИШ.716652.701

Аналітичне визначення припусків здійснюємо для отвору $\varnothing 25^{+0,016}$. Розрахунок проводимо згідно методики [5]. На решту поверхонь деталі гвинт УЯИШ.716652.701 припуски визначаємо за довідковими таблицями. Вибрані величини припусків подаємо у вигляді таблиці 2.13.

Технологічний маршрут обробки отвору складається з п'яти операцій: зенкерування чорнового, зенкерування чистового, шліфування чорнового, шліфування чистового та алмазного розгортання. Заготовка базується по вісі та торцю.

Таблиця 2.13

Розрахунок припусків для обробки отвору $\varnothing 25^{+0,016}$

№	Параметр, що визначається	Розрахункова формула	Розрахунок
1	2	3	4
1	Короблення отвору, мкм	$\rho_{кор} = \Delta_k \cdot l$	$\rho_{кор} = 0,8 \cdot 112 = 89,6$
2	Сумарний зсув отвору відносно зовнішньої поверхні, мкм	$\rho_{см} = \delta$	$\rho_{см} = 1000$
3	Сумарне значення просторових відхилень для заготовки, мкм	$\rho_3 = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2}$	$\rho_3 = \sqrt{1000^2 + 89,6^2} = 1004$
4	Мінімальний припуск на зенкерування чорнове, мкм	$2Z \min 1 = 2(Rz_0 + T_0 + \rho_0)$	$2 \cdot Z \min 1 = 2 \cdot (150 + 200 + 1004)$ $2 \cdot Z \min 1 = 2 \cdot 1354$
5	Просторове відхилення після зенкерування чорнового	$\rho_1 = \rho_3 \cdot Ky$	$\rho_1 = 1004 \cdot 0,06 = 60$
6	Мінімальний припуск на зенкерування чистове, мкм	$2Z \min 2 = 2(Rz_1 + T_1 + \rho_1)$	$2 \cdot Z \min 2 = 2 \cdot (50 + 50 + 60)$ $2 \cdot Z \min 2 = 2 \cdot 160$

Продовження таблиці 2.13

1	2	3	4
7	Просторове відхилення після зенкерування чистового	$\rho_2 = \rho_3 \cdot Ky$	$\rho_2 = 1004 \cdot 0,04 = 40$
8	Мінімальний припуск на шліфування чорнове, мкм	$2Z \min 3 = 2(Rz_2 + T_2 + \rho_2)$	$2 \cdot Z \min 3 = 2 \cdot (30 + 40 + 40)$ $2 \cdot Z \min 3 = 2 \cdot 110$
9	Просторове відхилення після шліфування чорнового	$\rho_3 = \rho_3 \cdot Ky$	$\rho_3 = 1004 \cdot 0,02 = 20$
10	Мінімальний припуск на шліфування чистове, мкм	$2Z \min 4 = 2(Rz_2 + T_2 + \rho_2)$	$2 \cdot Z \min 4 = 2 \cdot (10 + 20 + 20)$ $2 \cdot Z \min 4 = 2 \cdot 25$
11	Просторове відхилення після шліфування чистового	$\rho_4 = \rho_3 \cdot Ky$	$\rho_4 = 1004 \cdot 0,005 = 5$
12	Мінімальний припуск на алмазне розгортання, мкм	$2Z \min 5 = 2(Rz_2 + T_2 + \rho_2)$	$2 \cdot Z \min 5 = 2 \cdot (10 + 20 + 20)$ $2 \cdot Z \min 3 = 2 \cdot 25$
13	Максимальний припуск на зенкерування чорнове, мкм	$2Z \max 1 = d \min 1 - d \min 0$	$2Z \max 1 = 23,93 - 18,65 = 5,28$ $2Z \max 1 = 5280$
14	Максимальний припуск на зенкерування чистове, мкм	$2Z \max 2 = d \min 2 - d \min 1$	$2Z \max 2 = 24,53 - 23,93 = 0,6$ $2Z \max 2 = 600$
15	Максимальний припуск на шліфування чорнове, мкм	$2Z \max 3 = d \min 3 - d \min 2$	$2Z \max 3 = 24,83 - 24,53 = 0,3$ $2Z \max 3 = 300$
16	Максимальний припуск на шліфування чистове, мкм	$2Z \max 4 = d \min 4 - d \min 3$	$2Z \max 4 = 24,94 - 24,83 = 0,11$ $2Z \max 4 = 110$
17	Максимальний припуск на алмазне розгортання, мкм	$2Z \max 5 = d \min 5 - d \min 4$	$2Z \max 5 = 25 - 24,94 = 0,06$ $2Z \max 5 = 60$
18	Мінімальний розмір для заготовки, мм	$D \min 3 = D \min p.3. - 2Z \min 3$	$D \min 3 = 21,65 - 3 = 18,65$
19	Максимальний розмір для заготовки, мм	$D \max 3 = D \max 1 - 2Z \max 1$	$D \max 3 = 24,33 - 2,708 = 21,65$

1	2	3	4
20	Мінімальний розмір після зенкерування чорнового, мм	$D_{\min 1} = D_{\min p.1} - 2Z_{\min 1}$	$D_{\min 1} = 24,33 - 0,4 = 23,93$
21	Максимальний розмір після зенкерування чорнового, мм	$D_{\max 1} = D_{\max 2} - 2Z_{\max 2}$	$D_{\max 1} = 24,65 - 0,32 = 24,33$
22	Мінімальний розмір після зенкерування чистового, мм	$D_{\min 2} = D_{\min p.2} - 2Z_{\min 2}$	$D_{\min 2} = 24,65 - 0,12 = 24,53$
23	Максимальний розмір після зенкерування чистового, мм	$D_{\max 2} = D_{\max 3} - 2Z_{\max 3}$	$D_{\max 2} = 24,86 - 0,22 = 24,65$
24	Мінімальний розмір після шліфування чорнового, мм	$D_{\min 3} = D_{\min p.3} - 2Z_{\min 3}$	$D_{\min 3} = 24,86 - 0,03 = 24,83$
25	Максимальний розмір після шліфування чорнового, мм	$D_{\max 3} = D_{\max 4} - 2Z_{\max 4}$	$D_{\max 3} = 24,96 - 0,1 = 24,86$
26	Мінімальний розмір після шліфування чистового, мм	$D_{\min 4} = D_{\min p.4} - 2Z_{\min 4}$	$D_{\min 4} = 24,96 - 0,02 = 24,94$
27	Максимальний розмір після шліфування чистового, мм	$D_{\max 4} = D_{\max 5} - 2Z_{\max 5}$	$D_{\max 4} = 25,01 - 0,05 = 24,96$
28	Мінімальний розмір після алмазного розгортання, мм	$D_{\min 5} = D_{\min p.5} - 2Z_{\min 5}$	$D_{\min 5} = 25,01 - 0,01 = 25,0$
29	Середній операційний припуск на зенкерування чорнове, мм	$\Delta Z_1 = \frac{Z_{\max 1} + Z_{\min 1}}{2}$	$\Delta Z_1 = \frac{5,28 + 2,68}{2} = 3,98$
30	Середній операційний припуск на зенкерування чистове, мм	$\Delta Z_2 = \frac{Z_{\max 2} + Z_{\min 2}}{2}$	$\Delta Z_2 = \frac{1,2 + 0,64}{2} = 0,92$
31	Середній операційний припуск на шліфування чорнове, мм	$\Delta Z_3 = \frac{Z_{\max 3} + Z_{\min 3}}{2}$	$\Delta Z_3 = \frac{0,6 + 0,42}{2} = 0,51$
32	Середній операційний припуск на шліфування чистове, мм	$\Delta Z_4 = \frac{Z_{\max 4} + Z_{\min 4}}{2}$	$\Delta Z_4 = \frac{0,22 + 0,2}{2} = 0,21$

Продовження таблиці 2.13

1	2	3	4
33	Середній операційний припуск на алмазне розгортання, мм	$\Delta Z_5 = \frac{Z \max_5 + Z \min_5}{2}$	$\Delta Z_5 = \frac{0,12 + 0,1}{2} = 0,11$
34	Глибина різання на зенкерування чорнове, мм	$t_1 = Z \min 1 + \frac{5(Z \max_1 - Z \min_1)}{6}$	$t_1 = 2,68 + \frac{5(5,28 - 2,68)}{6} = 4,85$
35	Глибина різання на зенкерування чистове, мм	$t_2 = Z \min 2 + \frac{5(Z \max_2 - Z \min_2)}{6}$	$t_2 = 0,64 + \frac{5(1,2 - 0,64)}{6} = 1,10$
36	Глибина різання на шліфування чорнове, мм	$t_3 = Z \min 3 + \frac{5(Z \max_3 - Z \min_3)}{6}$	$t_3 = 0,42 + \frac{5(0,6 - 0,42)}{6} = 0,57$
37	Глибина різання на шліфування чистове, мм	$t_4 = Z \min 4 + \frac{5(Z \max_4 - Z \min_4)}{6}$	$t_4 = 0,2 + \frac{5(0,22 - 0,2)}{6} = 0,22$
38	Глибина різання на алмазне розгортання, мм	$t_5 = Z \min 5 + \frac{5(Z \max_5 - Z \min_5)}{6}$	$t_5 = 0,1 + \frac{5(0,12 - 0,1)}{6} = 0,12$

Всі розраховані значення припусків та допусків для даної поверхні заносимо в карту розрахунків (Таблиця 2.14)

Таблиця 2.14

Карта розрахунку припусків на обробку поверхні

Технологічні переходи	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск $2Z_{\min}$, мкм	Розрахунковий мінімальний розмір d_r , 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	200	1004	-	21,65	3000	18,65	21,65	-	-
Зенкерування чорнове	50	50	60	2·1354	24,33	400	23,93	24,33	2680	5280
Зенкерування чистове	30	40	40	2·160	24,65	120	24,53	24,65	320	600
Шліфування чорнове	10	20	20	2·110	24,866	30	24,83	24,86	210	300
Шліфування чистове	5	15	5	2·50	24,966	20	24,94	24,96	100	110
Алмазне розгортання	3	-	-	2·25	25,016	10	25,00	25,01	50	60

Схему графічного розташування припусків і допусків для поверхні $\varnothing 25^{+0,016}$ див. на Рис. 2.3.

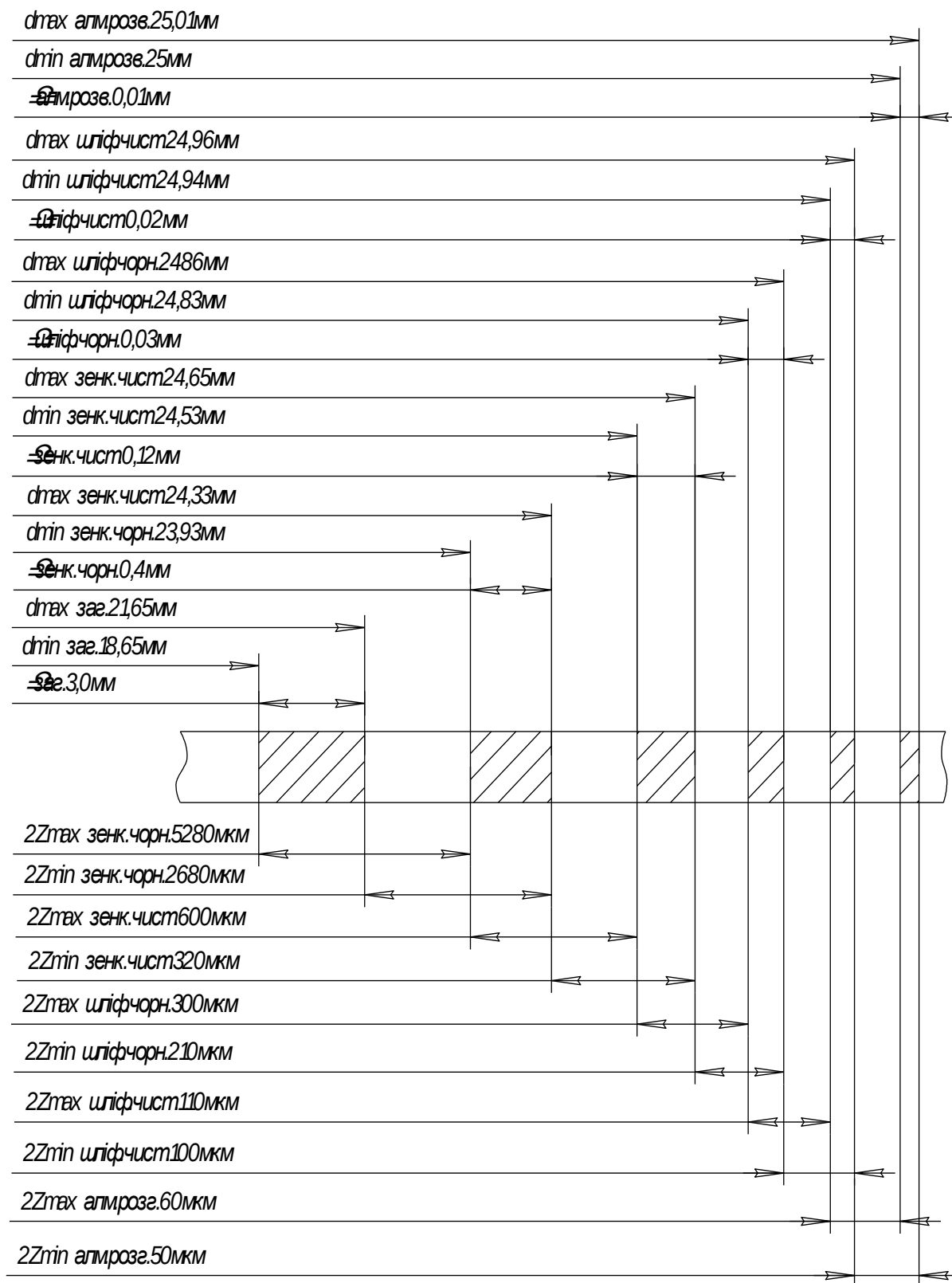


Рис.2.3. Схема графічного розташування припусків та допусків на обробку отвору $\varnothing 25^{+0,016}$

На решту поверхонь деталі припуски визначаємо за довідковими таблицями. Вибрані величини припусків подаємо в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15

Припуски на обробку деталі гвинт УЯИШ.716652.701

№ пов.-ні	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск $Z_{\min}$, мм	Технологічний допуск, мм
1	2	3	4	5
1,7	Торцеві поверхні	Фрезерувати	2	0,5
		Шліфувати	0,25	0,1
2	Фаска	Точити	1	0,5
4	Фаска	Точити	1	0,2
5	Отвір	Зенкерувати начорно	3	0,4
		Зенкерувати начисто	0,7	0,13
		Шліфувати	0,25	0,021
6	Фаска	Точити	1	0,5
8	Отвір	Зенкерувати начорно	1,7	0,4
		Зенкерувати начисто	0,6	0,05
9	Фаска	Точити	1,6	0,5
10,11	Циліндричні поверхні	Точити начорно	2,5	0,4
		Точити напівчисто	1,4	0,2
		Точити начисто	0,6	0,1
		Шліфувати	0,25	0,062
12	Фаска	Точити	1	0,2
13	Гвинтова канавка	Точити начорно	4	0,4
		Точити начисто попередньо	2,5	0,2
		Точити напівчисто	1,35	0,1
		Точити начисто кінцево	0,6	0,05
		Шліфувати	0,25	0,048
14	Циліндрична поверхня	Точити начорно	2,5	0,3
		Точити напівчисто	1,4	0,2
		Точити начисто	0,35	0,1
		Шліфувати	0,25	0,025
15,16	Пази	Фрезерувати	3	0,5
17	Отвір	Розточити	1	0,5
18	Отвір	Зенкерувати начорно	2,4	0,4
		Зенкерувати начисто	0,6	0,1
19	Канавка	Розточити	0,8	0,1

Продовження таблиці 2.15

1	2	3	4	5
20	Пази	Довбати	5	0,3
21	Отвір	Центрувати лунку	3	0,4
		Свердлити	1	0,2
22	Отвір	Центрувати лунку	3	0,4
		Фрезерувати викружку	4	0,25
		Свердлити	1	0,2
23	Отвір	Центрувати лунку	3	0,4
		Фрезерувати викружку	4	0,25
		Свердлити	1	0,2
24	Пази	Фрезерувати попередньо	3	0,5
		Фрезерувати кінцево	0,8	0,25
		Калібрувати	0,25	0,15
25	Канавка	Розточити	4	0,13

2.12. Визначення режимів різання

2.12.1. Визначення режимів різання для деталі гвинт УЯИШ.716652.701

Розрахунок режимів різання здійснюємо розрахунково-аналітичним методом для операції 005 Фрезерно-центрувальної. Розрахунок проводимо згідно методичних вказівок [3], [4], [6], [7], [8], [9]. На решту операцій елементи режимів різання визначаємо за нормативними документами (довідниками та виробничими нормативами). Визначені величини елементів режимів різання заносимо в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16

Розрахункові вихідні дані

№ оброблюваної поверхні	7	5	
№ переходу	1	2	3
Ширина оброблюваної поверхні, В мм	137	22	22
Діаметр оброблюваної поверхні, L мм	48	24	24,7
Глибина різання, t мм	1,5	1,0	0,35

Таблиця 2.17

Вихідні дані для розрахунку режимів різання

№ з/п	Назва елементу	Значення	Джерело інформації
1	2	3	4
1	Матеріал деталі	18ХГТ ГОСТ 4543-71	Креслення деталі
2	Твердість деталі	HRC 156...159	Технологічний процес термообробки
3	Потужність головного приводу верстата MP021Ф4	7,5	Паспорт верстата
4	Матеріал ріжучої частини інструментів	T15K6 ГОСТ 3882-74 P6M5 ГОСТ 19265-78	Розділ 2.9.
5	Подача на зуб при фрезеруванні, мм	0,15	[20]. Т.2, Таблиця33
6	Подача на оберт фрези при фрезеруванні, S_o мм/об	0,9	[20]. Т.2, Таблиця37
7	Стійкість інструменту (фреза), Тхв.	180	[20]. Т.2, Таблиця40
8	Коефіцієнт C_v при фрезеруванні	332	[20]. Т.2, Таблиця39
9	Показники ступеня q	0,2	
	x	0,1	
	y	0,4	
	u	0,2	
	p	0	
	m	0,2	
10	Поправочні коефіцієнти n_v	1,0	[20]. Т.2, Таблиця2
	K_Γ	0,8	[20]. Т.2, Таблиця2
	K_{mv}	0,6	[20]. Т.2, Таблиця1
	K_{nv}	0,8	[20]. Т.2, Таблиця5
	K_{uv}	1,15	[20]. Т.2, Таблиця6
11	Коефіцієнти при фрезеруванні C_p	825	[20]. Т.2, Таблиця41
	Показники ступеня x	1,0	
	y	0,75	
	u	1,1	
	q	1,3	
	w	0,2	
	K_{mp}	0,73	
12	Подача на оберт при зенкеруванні чорновому, S_o мм/об	0,7	[20]. Т.2, Таблиця26
13	Подача на оберт при зенкеруванні чистовому, S_o мм/об	0,9	[20]. Т.2, Таблиця26
14	Стійкість інструменту (зенкера)	40	[20]. Т.2, Таблиця30

Продовження таблиці 2.17

1	2	3	4
15	Коефіцієнт C_v при зенкеруванні	18	[20]. Т.2, Таблиця29
	Показники ступеня q	0,6	
	x	0,2	
	y	0,3	
	m	0,25	
16	Поправочні коефіцієнти n_v	1,0	[20]. Т.2, Таблиця2
	K_Γ	0,8	[20]. Т.2, Таблиця2
	K_{mv}	0,6	[20]. Т.2, Таблиця1
	K_{uv}	1,0	[20]. Т.2, Таблиця6
	K_{lv}	1,0	[20]. Т.2, Таблиця31
	K_{pv}	0,8	[20]. Т.2, Таблиця5
17	Коефіцієнти при зенкеруванні C_p	67	[20]. Т.2, Таблиця32
	Показники ступеня x	1,2	
	y	0,65	
18	Поправочні коефіцієнти p_r	0,75	[20]. Т.2, Таблиця9
	K_{mp}	0,64	
	C_m	0,09	
	Показники ступеня q	1,0	[20]. Т.2, Таблиця32
	x	0,9	
	y	0,8	

Таблиця 2.18

Розрахунок режимів різання

№ з/п	Назва параметру, що визначається	Розрахункова формула	Розрахунок	
			Перехід 1	Перехід 2, 3
1	2	3	4	5
1	Загальний поправочний коефіцієнт	при фрезеруванні $\hat{E}_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}$ при зенкеруванні $K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv} \cdot K_{pv}$	$K_v = 0,6 \cdot 0,8 \cdot 1,15 = 0,79$	$K_v = 0,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,48$
2	Швидкість різання, м/хв	при фрезеруванні $V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot (S_z)^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v$ при зенкеруванні $V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v$	$V = \frac{332 \cdot 48^{0,2}}{180^{0,2} \cdot 1,5^{0,1} \cdot 0,15^{0,4}} \cdot 0,79 = 154,4$	при зенкеруванні чорновому $V = \frac{18 \cdot 24^{0,6}}{40^{0,25} \cdot 1^{0,2} \cdot 0,7^{0,3}} \cdot 0,48 = 25,8$ при зенкеруванні чистовому $V = \frac{18 \cdot 24,7^{0,6}}{40^{0,25} \cdot 0,35^{0,2} \cdot 0,9^{0,3}} \cdot 0,48 = 29,9$

1	2	3	4	5
3	Кількість обертів шпінделя, об/хв	$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D}$	$\ddot{i} = \frac{1000 \cdot 154,4}{3,14 \cdot 48} = 1024$	при зенкеруванні чорновому $\ddot{i} = \frac{1000 \cdot 25,8}{3,14 \cdot 24} = 342$ при зенкеруванні чистовому $\ddot{i} = \frac{1000 \cdot 29,9}{3,14 \cdot 24,7} = 385,5$
4	Фактична швидкість, м/хв	$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$	$V = \frac{3,14 \cdot 48 \cdot 960}{1000} = 144,5$	при зенкеруванні чорновому $V = \frac{3,14 \cdot 24 \cdot 330}{1000} = 24,9$ при зенкеруванні чистовому $V = \frac{3,14 \cdot 24,7 \cdot 330}{1000} = 25,6$
5	Тангенціальна сила різання, Н	при фрезеруванні $P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot (S_z)^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot k_{mp}$	$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 1,5^{1,0} \cdot 0,15^{0,75} \cdot 137^{1,1} \cdot 10}{48^{1,3} \cdot 960^{0,2}} \cdot 0,73 = 8062$	при зенкеруванні чорновому $P_o = 10 \cdot 67 \cdot 1,0^{1,2} \cdot 0,7^{0,65} \cdot 0,64 = 340$ при зенкеруванні чистовому $P_o = 10 \cdot 67 \cdot 0,35^{1,2} \cdot 0,9^{0,65} \cdot 0,64 = 114$
	Осьова сила різання, Н	при зенкеруванні $P_o = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot K_p$		
6	Крутний момент, Н·м	при фрезеруванні $M_\kappa = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100}$ при зенкеруванні $M_{\kappa p} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot t^x \cdot s^y \cdot K_p$	$M_\kappa = \frac{8062 \cdot 48}{2 \cdot 100} = 1935$	при зенкеруванні чорновому $M_{\kappa p} = 10 \cdot 0,09 \cdot 24^{1,0} \cdot 1,0^{0,9} \cdot 0,7^{0,8} \cdot 0,64 = 10,39$ при зенкеруванні чистовому $M_{\kappa p} = 10 \cdot 0,09 \cdot 24,7^{1,0} \cdot 0,35^{0,9} \cdot 0,9^{0,8} \cdot 0,64 = 5,08$
7	Потужність різання, кВт	при фрезеруванні $N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}$ при зенкеруванні $N = \frac{M_{\kappa p} \cdot n}{9750}$	$N = \frac{8062 \cdot 144,5}{1020 \cdot 60} = 19,04$	при зенкеруванні чорновому $N = \frac{10,39 \cdot 330}{9750} = 0,35$ при зенкеруванні чистовому $N = \frac{5,08 \cdot 330}{9750} = 0,17$

Режими різання на операціях механічної обробки деталі

ГВИНТ УЯИШ.716652.701

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
005	1	1,5	0,9	145	960	1,453
	2	1	0,7	25	330	
	3	0,35	0,9	26	330	
	4	1	0,75	27	330	
	5	0,3	0,9	24	330	
010	1	1,5	0,9	145	960	1,23
	2	1	0,7	25	330	
	3	0,35	0,8	26	330	
	4	1	0,1	205	1560	
	5	3,57	0,3	117	888	
	6	0,3	0,3	79,5	602	
	7	0,4	0,9	56,9	724	
	8	0,17	0,16	35	450	
015	1	4,15	0,5	66,9	258	1,33
	2	3	0,7	123	145	
	3	0,4	0,9	56,9	724	
	4	0,17	0,16	35	450	
020	1	5	0,25	40	500	15,927
025	1	0,3	0,3	30	450	1,88
	2	0,25	0,05	35	450	
030	1	0,3	0,3	30	450	1,076
	2	0,25	0,05	35	450	
035	1	0,01	0,05	25	180	0,821
040	1	0,3	0,3	30	450	1,198
	2	0,01	0,05	25	450	
045	1	0,2	0,2	45	600	1,16

2.13. Технічне нормування операцій

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

$$t_{\text{ит.к}} = t_o + t_{\text{дон}} + t_{\text{ТО}} + t_{\text{орг.об}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n}$$

де: $T_{\text{пз}}$ – підготовчо-заключний час, хв.

$t_o, t_{доп}, t_{ТО}, t_{орг.об}$ - час основної, допоміжної роботи, техобслуговування та організаційного обслуговування, хв.

n - розмір партії, шт.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.19.

Таблиця 2.19

Норми часу на обробку гвинта УЯИШ.716652.701 (хв)

№ операції	t_o	$t_{доп}$	$t_{ТО}$	$t_{орг.об.}$	$t_{від}$	$T_{шт}$	$T_{пз}$	$T_{шт.к}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
005	1,453	1,2	0,03	0,04	0,04	2,73	5	2,74
010	1.23	2	0,04	0,06	0,04	5,63	6	5,64
015	1.33	2.5	0,04	0,06	0,04	4.39	6	4.45
020	15,927	5,5	0,06	0,09	0,09	20,808	12	20,83
025	1,88	0,5	0,04	0,04	0,04	2,5	9	2,51
030	1,076	2,3	0,03	0,05	0,04	2,46	8	2,47
035	0,821	0,9	0,03	0,04	0,04	1,126	5	1,13
040	1,198	1,2	0,03	0,04	0,04	1,198	5	1,21
045	1,16	1,5	0,02	0,03	0,02	1,725	8	1,74

3. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Огляд існуючих систем адаптивного керування процесом хонінгування.

Запропонований нижче механізм на рис.4 може контролювати розмір оброблюваного отвору (за допомогою хона і еталонного кільця, яке на рис. 4 не зображено), що дозволяє автоматично компенсувати знос брусків і враховувати зазори в кінематичній схемі механізму, а також спростити налагодження верстата на отримання необхідного розміру. Радіальна дозована подача задається програмно з дискретністю, вимірюваної десятими частками мікрометра в хвилину, і незалежно від числа подвійних ходів зворотно-поступального переміщення хона в хвилину [5].

Схема систем адаптивного керування процесом хонінгування, дозволяє отримати взаємозв'язок між тиском хонінгувальних брусків та їх різальних можливостей (рис. 3.1) [1]. Система працює наступним чином: на протязі процесу хонінгування тиск брусків 2 реєструється по реактивному моменту на оброблюємі деталі 1, встановленій на пружно-поворотній планшайбі 3. Під дією крутного моменту від сил різання планшайба повертається на певний кут і через кулачок 7 діє на дросель 5. Мастило від гідросистеми через електрогідроперетворювач 6 діє на механізм розтиску брусків 4, в результаті чого зменшується крутний момент на шпінделі верстата. Планшайба з деталлю під дією пружини повертається у вихідне положення.

На рис. 3.2 представлена загальна схема хонігувального механотронного верстату, який має можливість керування розтиском брусків [6].

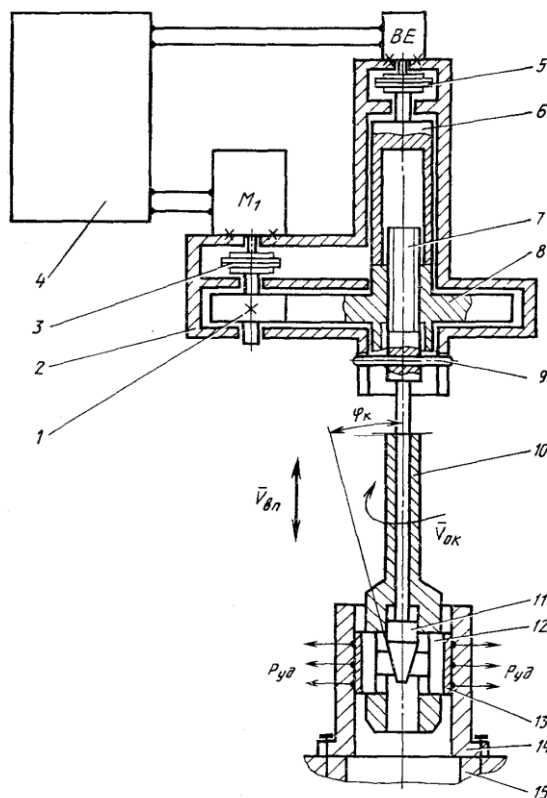


Рис. 3.1 Схема механізму с ЧПК для радіальної подачі хонінгувальних брусків

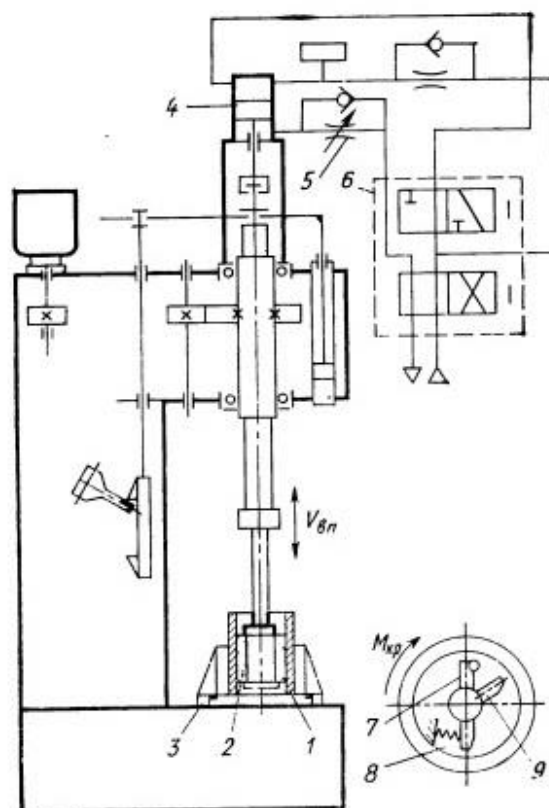


Рис. 3.2 Система адаптивного керування процесом хонінгування

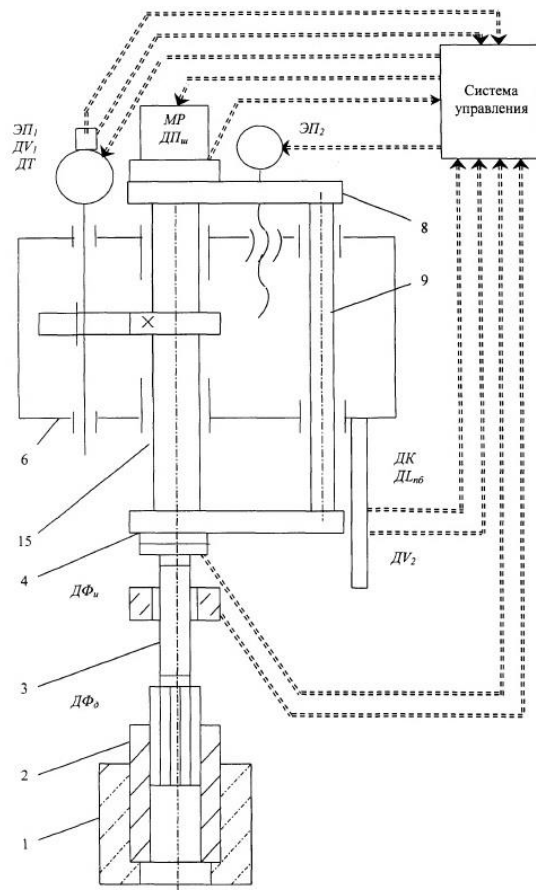


Рис. 3.3 Загальна схема махантроного верстаті

Проаналізувавши схеми систем адаптивного керування процесом побудуємо узальнину схему (рис.3.4).

3.2. Аналіз узагальненого механізму регулювання радіального розміру з точки зору статички

Для дослідження узагальненого механізму регулювання радіального розміру в статиці, необхідно визначити сили, які будуть діяти в його ланках та скласти рівняння рівноваги системи. На рис.3.4 представлена схема сил, які впливають на роботу клина. Для рівняння рівноваги визначимо вхідний параметр, це буде радіальна сила Q , а вихідним параметром буде повздовжня сила P_2 , яка визначається за формулою.

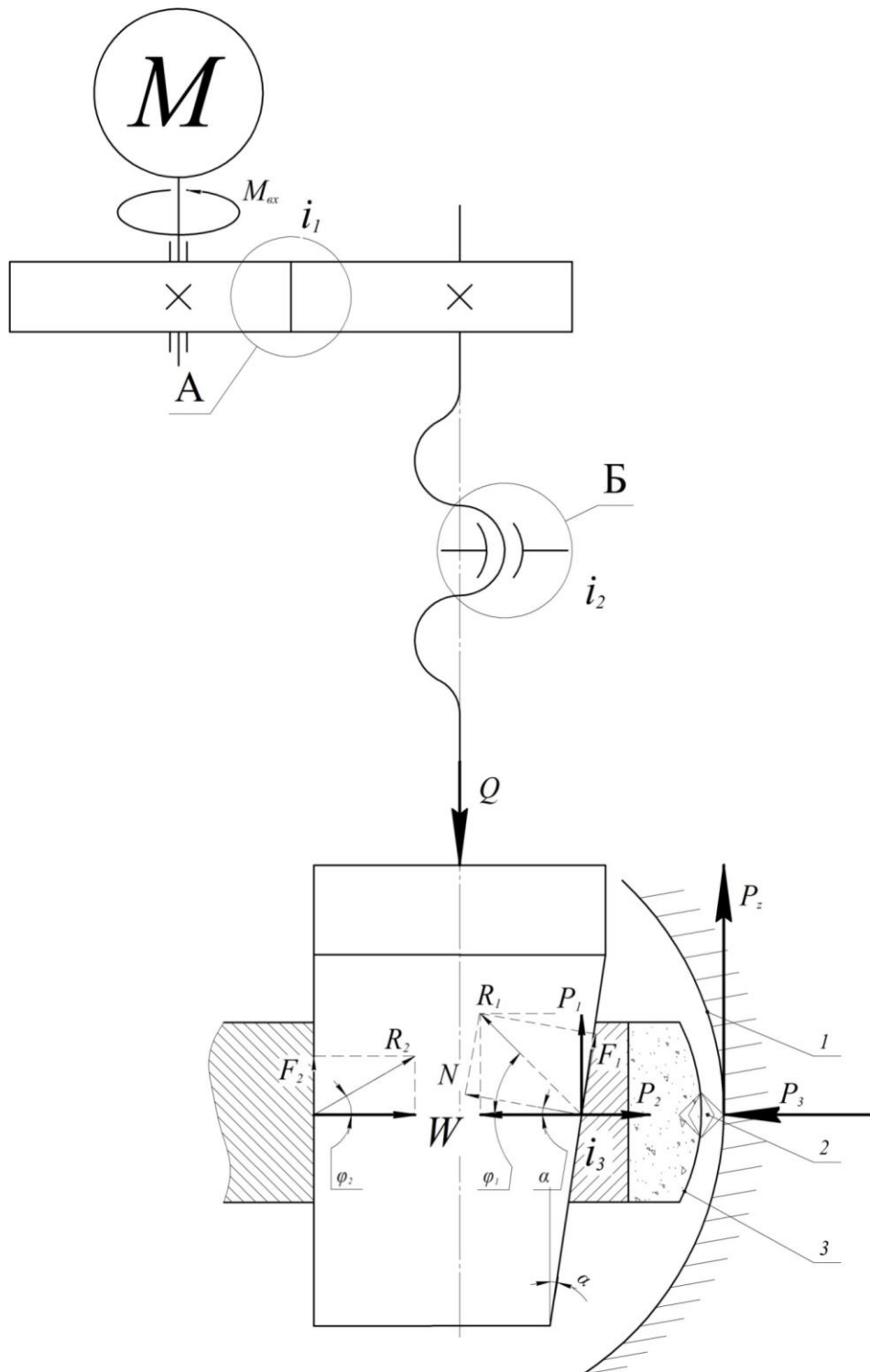


Рис.3.4 Узагальненна схема механізму регулювання радіального розміру з адаптивною системою керування

$$P_2 = \frac{Q}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi)} \quad (3.1)$$

де α – кут підйому клина

φ – кут тертя

На рис. 3.5 зображена схема сили, які діє в різьбовому з'єднанні під час роботи гвинтової передачі, входним параметром для якої буде крутний момент $M_{кр}$, вихідним параметром буде радіальна сила Q , яка визначається за формулою.

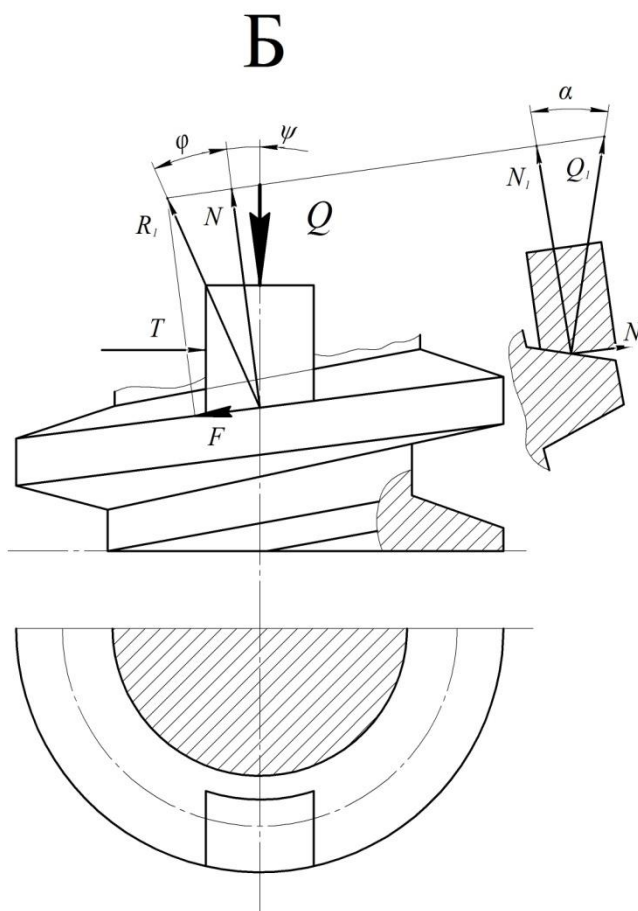


Рис.3.5 Схема сили діючих в різьбовому з'єднанні

$$Q = \frac{2M_{кр}}{dtg(\omega + \varphi)} \quad (3.2)$$

де ω – кут підйому гвинтової лінії

Визначимо крутний момент $M_{кр}$, який поступає на гвинтову передачу, після чого складемо рівняння рівноваги усього механізму.

$$M_{кр} = M_{дв} * \eta \quad (3.3)$$

де $M_{дв}$ – крутний момент на валу електродвигуна

η – коефіцієнт корисної дії зубчатої передачі

$$\eta = 1 - (\psi_z + \psi_p + \psi_{п}) \quad (3.4)$$

де ψ_z – відносні втрати в зачепленні

ψ_p – відносні втрати на розбризкування мастила

$\psi_{п}$ – відносні втрати в підшипниках

$$\psi_z \approx 2,3f \left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2} \right) k_\psi \quad (3.5)$$

де k_ψ – коефіцієнт рівний для не коригованого зачеплення

f – коефіцієнт тертя ковзання між зубцями

Отже рівняння рівноваги має вигляд:

$$M_{дв} * \left(1 - (\psi_z + \psi_p + \psi_n) \right) - \frac{2M_{КР}}{dtg(\omega + \varphi_1)} - P_2 tg(\alpha + \varphi_2) = 0 \quad (3.6.)$$

Проаналізувавши узагальнений механізм регулювання радіального розміру в статистиці зазначимо, що кожна механічна ланка містить в собі сили тертя. Для визначення наскільки ці сили будуть впливати на стабільність та точність роботи системи адаптивного керування процесом хонінгування, дослідимо її стійкість.

3.3. Аналіз узагальненого механізму регулювання радіального розміру з адаптивною системою керування з точки зору теорії систем автоматичного регулювання

Приведений узагальнений механізм регулювання радіального розміру складається з ланок (рис.3.4). Електродвигун є об'єктом регулювання, тож виокремлюємо його в окрему електричну ланку. Передача крутного моменту від двигуна до гвинтової передачі відбувається за допомогою циліндричної зубчатої передач, але можливо це робити і за допомогою інших механізмів та напряду використовуючи муфти. Отже, виокремимо її в окрему передавальну ланку, а гвинтову передачу та клиновий механізм об'єднаємо в одну механічну ланку. Як ми з'ясували, використання цих механізмів разом є досить розповсюдженим. Система регулювання буде об'єктом ланки керування.

Побудуємо структурну схему механізму регулювання радіального розміру (Рис.3.7).



Рис. 3.7. Структурна схема механізму регулювання розміру

Визначимо тип та передавальну функцію кожної ланки. Тип кожної ланки визначається відповідно до її елементів.

Тип електричної ланки, що залежить від крокового електродвигуна, вже відомий [2], він являє собою коливальну ланку. Передавальна функція має вигляд:

$$W(p) = \frac{k}{1+Tp+T^2 p^2} \quad (3.7)$$

Тип передавальної ланки визначається зубчатою передачею, тип котрої також вже відомий [2]. Тип відповідає безінерційній ланці. Передавальна функція має вигляд:

$$W(p) = k \quad (3.8)$$

Розглянемо механічну ланку, яка складається з двох елементів. Тому для визначення її типу необхідно скласти рівняння динаміки. Отже, спочатку складемо рівняння рівноваги системи в статиці.

$$P * tg(\alpha + \varphi_1) - \frac{2M_{kp}}{d * tg(\omega + \varphi_2)} = 0 \quad (3.9)$$

Прирівняємо рівняння рівноваги до динаміки механічного руху (за другим законом Ньютона), кут тертя φ замінимо на силу тертя F , яка має нелінійну залежність. Вона залежить від того, що процес відбувається в зоні малих переміщень і сила тертя має нестабільне значення пов'язане з переходом від сили тертя спокою до сили тертя руху. Отже маємо наступне рівняння:

$$m \frac{d^2 s}{dt^2} = \frac{2M_{kp}}{d * tg \omega} - F_{гв} \frac{ds}{dt} - P * tg \alpha - F_{кл} \frac{ds}{dt} \quad (3.10)$$

де $F_{гв}$ – сила тертя гвинтової передачі

$F_{кл}$ – сила тертя клинового механізму

В даному рівнянні маємо вхідну величину ланки M_{kp} і вихідну величину P з двома похідними за часом. Відповідно це аперіодична ланка другого порядку або коливальна ланка [2]. Приведемо рівняння до стандартної форми запису [2].

$$m \frac{d^2 s}{dt^2} + F_{гв} \frac{ds}{dt} + F_{кл} \frac{ds}{dt} + P * tg \alpha = \frac{2M_{kp}}{d * tg \omega} \quad (3.11)$$

Маса рухомих частин механізму може коливатися і вона не відіграє важливої ролі, тому опустимо її з рівняння. А сили тертя гвинтової передачі та клинового механізму замінимо їх сумою.

$$F_T \frac{ds}{dt} + P * tg\alpha = \frac{2}{d*tg\omega} * M_{kp} \quad (3.12)$$

де $F_T = F_{TB} + F_{KL}$

Визначимо передавальну функцію механічної ланки

$$\frac{P}{M_{kp}} = \frac{\frac{2}{d*tg\omega}}{F_T \frac{ds}{dt} + tg\alpha} \quad (3.13)$$

Отже, відповідно [2] ми маємо аперіодичну ланку першого порядку. Приведемо наше рівняння до класичного виду для цього розділимо праву частину рівняння на $tg\alpha$ і ведемо оператор диференціювання p

$$W(p) = \frac{k}{Tp+1} \quad (3.14)$$

$$\text{де } k = \frac{2}{d*tg\omega + tg\alpha}$$

$$T = \frac{F_T}{tg\alpha}$$

Складемо загальну передаточну функцію механізму регулювання радіального розміру з адаптивною системою керування без врахування ланки керування.

$$W(p) = \frac{k_1 k_2 k_3}{(1+T_1 p + T_2^2 p^2)(T_3 p + 1)} \quad (3.15)$$

Дослідимо механізм на стійкість за допомогою алгебраїчного критерію стійкості Гурвіца. Приведемо характеристичне рівняння нашого механізму. Для цього перемножимо коефіцієнти чисельника між собою і значення знаменника між собою і запишемо їх суму.

Маємо рівняння третього порядку

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + k = 0 \quad (3.16)$$

$$\text{де } a_0 = T_2^2 * T_3$$

$$a_1 = T_1 * T_3 + T_2^2$$

$$a_2 = T_3 + T_1$$

$$a_3 = k$$

$$k = k_1 * k_2 * k_3$$

Згідно з критерієм Гурвіца [2] для цього рівняння отримуємо умови стійкості.

$$a_0 > 0; \Delta_1 = a_1 > 0; \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0. \quad (3.17)$$

Останній визначник Δ_3 дає умову $a_3 > 0$. Для рівнянь третього порядку недостатньо позитивності всіх коефіцієнтів характеристичного рівняння. Необхідне виконання визначеного співвідношення між коефіцієнтами $a_1 a_2 > a_0 a_3$.

Для визначення стійкості підставимо значення в наше рівняння.

$$F_T = 1; d = 1; \alpha = 15^\circ; \omega = 3^\circ; k_1 = k_2 = 1; T_1 = T_2 = 1;$$

$$k_3 = \frac{2}{1 \cdot \text{tg} 3 + \text{tg} 15} = \frac{2}{1 \cdot 0.0525 + 0.2679} = 6.248; T_3 = \frac{1}{\text{tg} 15} = 3.736$$

Перемножимо чисельник і знаменник:

$$a_0 = 1 \cdot 3.736 = 3.736$$

$$a_1 = 1 \cdot 3.736 + 1 = 4.736$$

$$a_2 = 3.736 + 1 = 4.736$$

$$a_3 = 6.248$$

$$k = 1 \cdot 1 \cdot 6.248 = 6.248$$

Маємо рівняння:

$$3,736p^3 + 4,736p^2 + 4,736p + 6,248 = 0$$

Підставимо отримані значення до умов стійкості.

$$3,736 > 0; \Delta_1 = 4,736 > 0;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 4,736 & 6,248 \\ 3,736 & 4,736 \end{vmatrix} = 4,736 \cdot 4,736 - 3,736 \cdot 6,248 = 22,429 - 23,34 = -0.913 < 0.$$

$$\Delta_3 = 6,248 > 0; 4,736 \cdot 4,736 < 3,736 \cdot 6,248 \text{ або } 22,429 < 23.34$$

Другий визначник має від'ємне значення, тобто умова співвідношень коефіцієнтів не виконується, а отже система буде нестійкою.

Зауважимо, що визначити ланку і початок коливань в системі не можливо за допомогою критерію Гурвіца. Для визначення нестійких ланок і початку коливань необхідно побудувати частотні характеристики за критерієм Михайлова [7].

$$W(p) = \frac{K}{3.736p^3 + 4.736p^2 + 4.736p + 1}$$

Запишемо характеристичне рівняння поліному замкнутої системи:

$$D(p) = 3,736p^3 + 4,736p^2 + 4,736p + 1 + K$$

Для побудови годографу Михайлова визначимо дійсну і уявну частину функції $D(j, \omega)$ та замінимо в характеристичному поліномі p на $j\omega$:

$$D(j\omega) = -3.736j\omega^3 - 4.736j\omega^2 + 4.736j\omega + 7.248$$

дійсна частина –

$$M_{KP}(\omega) = -4.736\omega^2 + 7.248$$

уявна частина –

$$P(\omega) = -3.736\omega^3 + 4.736\omega$$

Розрахуємо $M_{KP}(\omega)$ та $P(\omega)$ для ряду значень частоти. Результати розрахунків зведемо в таблицю

$\omega, \text{с}^{-1}$	0	4	8	12	16	20	24	28	30
M_{KP}	7,248	-68,52	-295,8	-674,73	-1205,1	-1887,1	-2720,6	-3705,7	-4254,9
P	0	-220,2	-1874,9	-6398,9	-15229,8	-29793,2	-51532,8	-81880,6	-100729,9

За даними таблиці побудуємо годограф Михайлова (Рис. 3).

Аналізуючи годограф Михайлова, бачимо, що система не відповідає умові стійкості третього порядку характеристичного рівняння поліному. Отже прийдемо до висновку що система є нестійкою.

Висновок

Проаналізувавши узагальнений механізм регулювання радіального розміру та дослідивши його стійкість за критеріями Гурвіца і Михайлова, можна прийти до висновку, що даний механізм є нестійким. Нестійким ланками виявились механізми з силою тертя, а саме гвинтова передача та клиновий механізм.

Годограф Михайлова

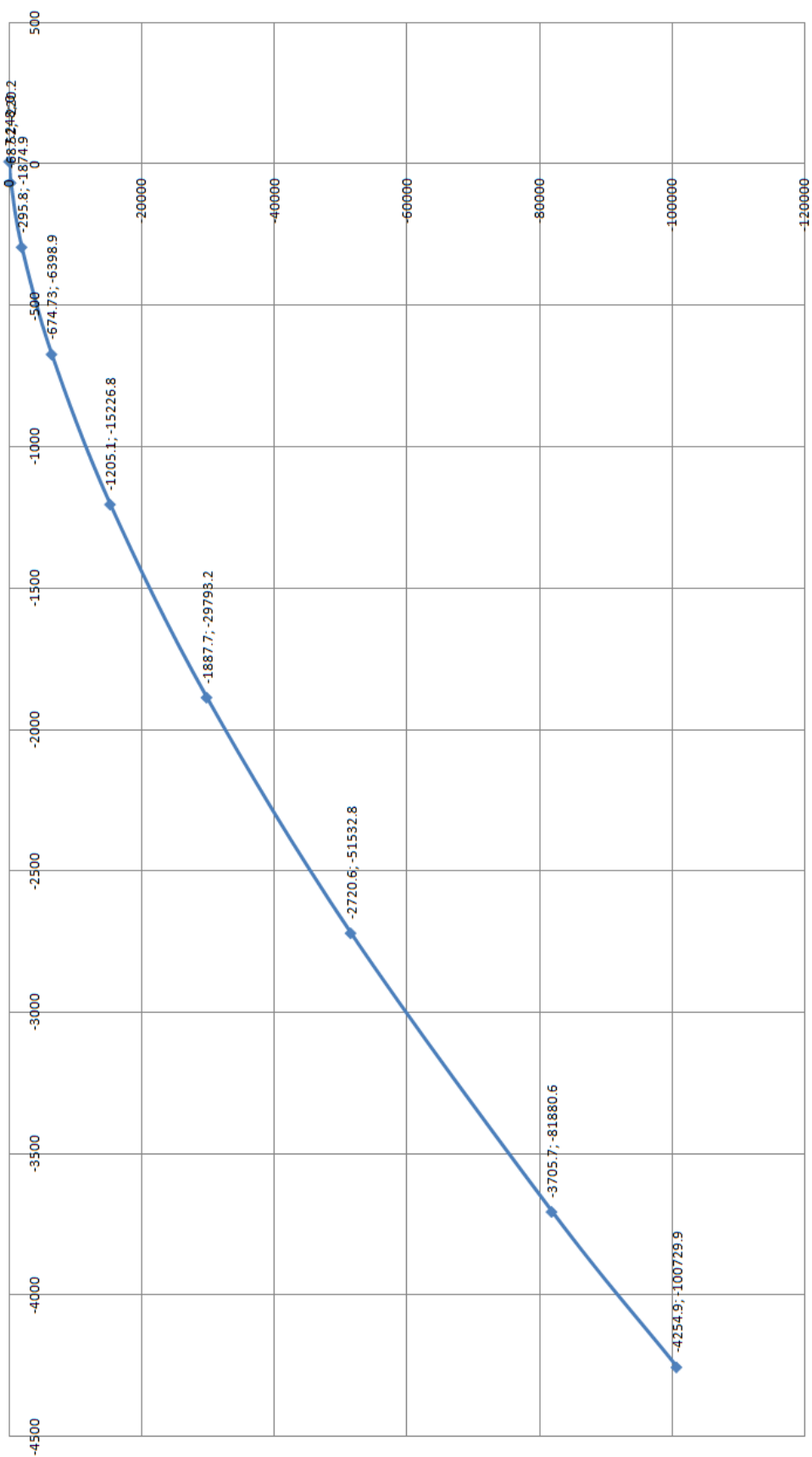


Рис.3.8 Годограф Михайлова

3.4 Аналіз і синтез СРРР на базі пружньо деформуємої передавальної ланки та замкнутої гідравлічної системи

Розглянута в попередньому розділі система СРРР не задовольняє висунуті до неї вимоги внаслідок застосування різних за своєю фізичною сутністю функціональних середовищ, в тому числі: сили електричного струму електричного двигуна, тертя кочення (статичного і кінематичного) підшипників кінематичних передач, тертя ковзання (статичного і кінематичного) таких механічних передач, як зубчаті, клинові, гвинтові.

В попередніх розділах доведена наявність не стійкості узагальненої СРРР по критеріям Гурвіца, Нейквіста-Михайлова. Не стійкість обумовлена застосуванням різнорідних функціональних середовищ.

Враховуюче вище зазначене, сформулюємо додаткові вимоги, які необхідно застосовувати до СРРР з метою відповідності її первинним вимогам розділу 2.1, що передбачають:

1. Мінімізацію елементів і функціональних середовищ;
2. Забезпечення роботи системи в однорідному функціональних середовищ;
3. Використання стійких по суті функціональних середовищ в передавальних ланках СРРР наприклад таких, як пружність металу, гідростатичні опір та інші.

Враховуючи наведені вимоги, можна зробити припущення, що найбільш вдалим способом є спроба створення СРРР на основі замкнутої гідравлічної системи (в подальшому ЗГС). При цьому джерелом управління сигналів та силових дій є робоча рідина, яка взаємодіє у пружньо деформуємою передавальною ланкою.

Використання пружньо деформуємої передавальної ланки (в подальшому ПДПЛ) в СРРР дає можливість, як збільшувати, так і зменшувати радіальний розмір з максимально можливою точністю. Тобто, поєднання ЗГС і ПДПЛ повинно забезпечити найбільш високий рівень керування СРРР при її відносній простоті, та забезпечені стійкості і точності.

3.4.1 Аналіз конструктивного виконання та принципу дії СРРР на базі ПДПЛ та ЗГС

3.4.1.1 Аналіз конструктивного виконання СРРР на базі ПДПЛ та ЗГС

Припустимо, що ПДПЛ (рис.3.4.1.1) у вигляді полого тонкостінного циліндричного тіла з увігнутим дном (оболонкова форма в подальшому) здатна задовольнити поставлені вимоги

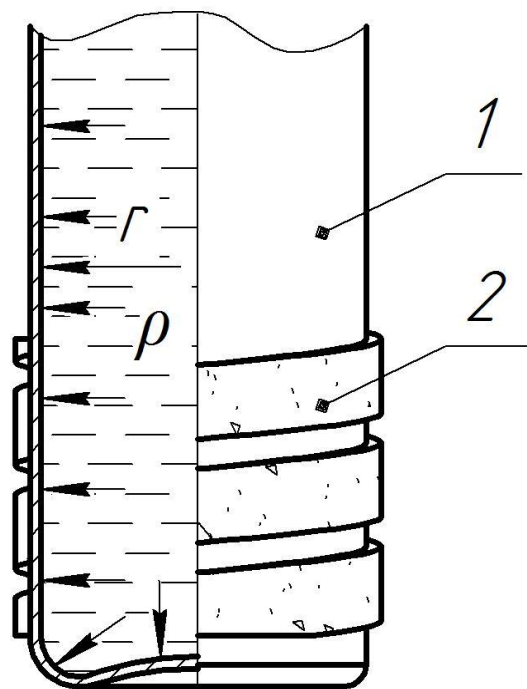


Рис.3.4.1.1. ПДПЛ у вигляді оболонкової форми.

а) Оболонкова форма; б) кінцева ланка;

1 – ПДПЛ у вигляді оболонкової форми; 2 – кінцева ланка у вигляді носія алмазних чи абразивних зерен; 3 – рідина; p – гідростатичний тиск; r – внутрішній радіус ПДПЛ; s – товщина стінки ПДПЛ.

ПДПЛ складається з оболонкової форми 1 та кінцевої ланки 2. Кінцева ланка, це носій алмазних чи абразивних зерен (в подальшому НААЗ) (рис.3.4.1.1) виконаний у вигляді полого гвинтового циліндричного тіла з поперечним перерізом, на зовнішній циліндричній поверхні якого нанесенні алмазні або абразивні зерна. ПДПЛ спряжена своєю зовнішньою циліндричною поверхнею з внутрішньою циліндричною поверхнею кінцевої ланки за допомогою нерухокої посадки.

ПДПЛ повинна забезпечувати направленість дії та можливість пружної деформації і переміщення НААЗ у радіальному напрямку в межах від частини мікрона до декількох мікрон.

Направленість дії - це можливість концентрації сил деформації на необхідних поверхнях та направлення деформації. Вона забезпечується завдяки особливій геометричній формі, розмірам та фізичних властивостях матеріалу ПДПЛ.

Робота ПДПЛ буде відбуватися наступним чином: гідростатичний тиск буде утворювати силу, яка діятиме у внутрішній порожнині ПДПЛ, що призведе до її пружної деформації, котра буде здійснювати переміщення кінцевого елемента у радіальному напрямку.

Зазначимо, що величина пружної деформації знаходиться в прямолінійній залежності від величини прикладеної сили, котра прямолінійно залежна від гідростатичного тиску в порожнині ПДПЛ.

Отже, може припустити, що при збільшенні тиску, буде збільшуватися значення радіального розміру, а при зменшенні тиску - буде відповідно зменшуватися радіальний розмір.

3.4.1.2 Принцип дії СРРР на базі ПДПЛ

Для більш детального аналізу СРРР та перевірки її на відповідність до зазначених вимог, розглянемо її схему (рис 3.4.1.2).

Відповідно до схеми СРРР складається з гідравлічного циліндру 1, в якому знаходиться поршень 2, шток 3 якого входить у внутрішню порожнину ПДПЛ 4, яка спряжена з НААЗ .

СРРР на базі ПДПЛ буде працювати наступним чином: в безштокову порожнину гідравлічного циліндра подається робоча рідина під тиском ρ_1 , яка діє на поршень 2, шток 3 якого входить до внутрішньої порожнини ПДПЛ, що заповнена рідиною і утворює гідростатичний тиск ρ_2 , за допомогою, якого працює ПДПЛ, як вже зазначалося раніше.

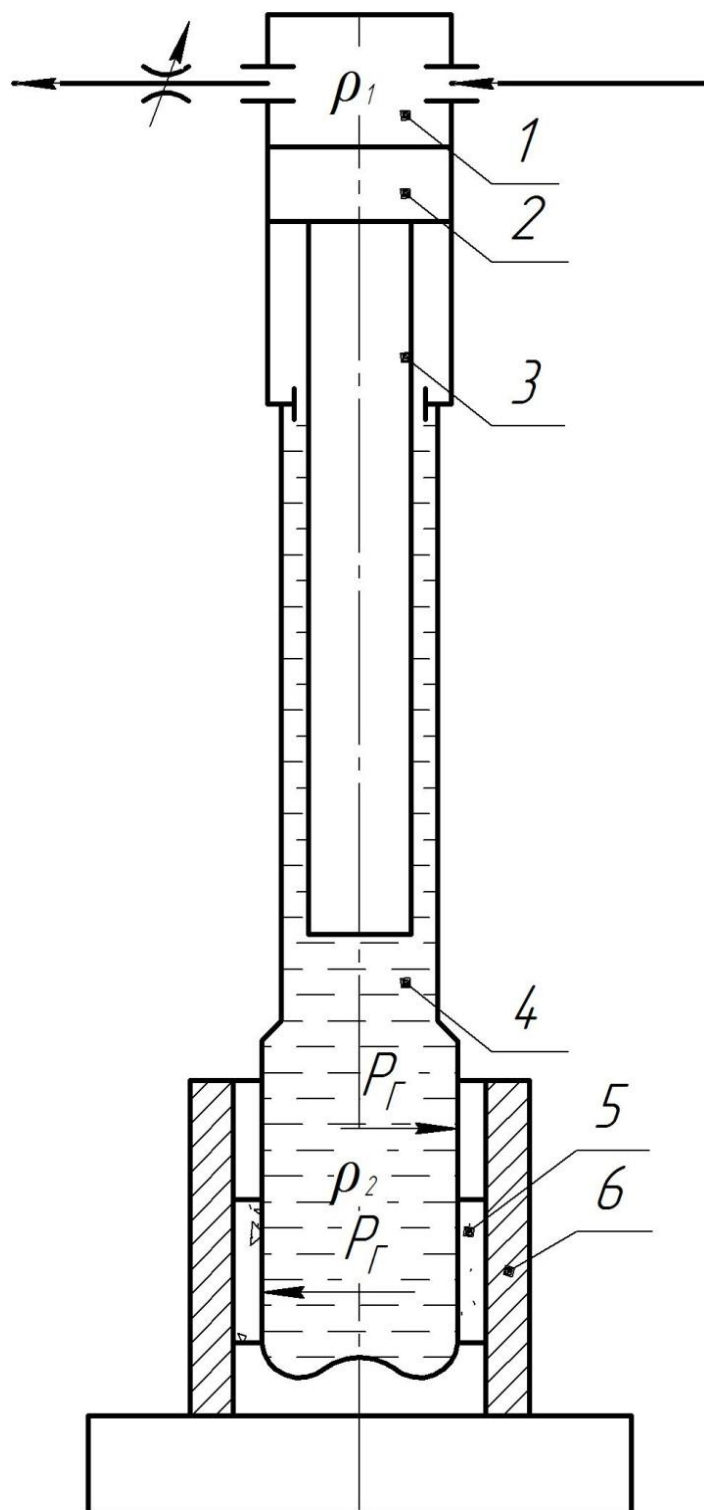


Рис 3.4.1.2 Схема СРРР на базу ПДПЛ.

1 – гідравлічний циліндр 2 – поршень; 3 – шток; 4 – ПДПЛ; 5 – кінцева ланка; 6 – деталь, що оброблюється; ρ_1 – тиск, що подається; ρ_2 – гідростатичний тиск; P_r – сила, що створюється гідростатичним тиском.

3.4.2 Статичний аналіз СРРР на базі ПДПЛ та ЗГС.

Для дослідження системи в статиці необхідно скласти рівняння рівноваги системи. Для цього необхідно визначити всі складові, які присутні СРРР.

Сила, яка утворюється за допомогою гідростатичного тиску визначається за наступною формулою [62]:

$$P_{\Gamma} = \rho_2 \pi r^2 \quad (3.4.2.1)$$

де ρ_2 – гідростатичний тиск;

r – внутрішній радіус ПДПЛ;

P_{Γ} – сила, що створюється гідростатичним тиском.

Виразимо гідростатичний тиск ρ_2 через тиск у без штоковій порожнині гідравлічного циліндра ρ_1 .

$$P_{\Gamma} = \rho_1 \frac{U_1}{U_2} \pi r^2 \quad (3.4.2.2)$$

де ρ_1 – тиск, що подається;

U_1 – площа поршня;

U_2 – площа штока.

Використовуючи рівняння 3.4.2.2 та схему СРРР (рис. 3.4.1.2), складемо рівняння рівноваги в статиці.

$$\rho_1 \cdot \frac{U_1}{U_2} \pi r^2 - P_m = 0, \quad (3.4.2.3)$$

де P_m – сили опору матеріалу.

Рівняння 3.4.2.3 підтверджує припущення стосовно залежності величини пружної деформації від сили опору матеріалу. Дане рівняння вказує на

відсутність негативних явищ ПДПЛ в статиці. Також вказує на залежність геометричних особливостей СРРР на тиск, що утворюється.

Зазначимо, що рівняння рівноваги в статиці не відображає наявності, такого фактору, як пружність матеріалу та сил інерції.

Тому, виникає необхідність проведення аналізу ПДПЛ на працездатність та відсутність негативних факторів в динаміці.

3.4.3 Динамічний аналіз СРРР на базі ПДПЛ та ЗГС

Для аналізу системи в динаміці необхідно побудувати еквівалентну розрахункову схему [30] (рис 2.4.3.1).

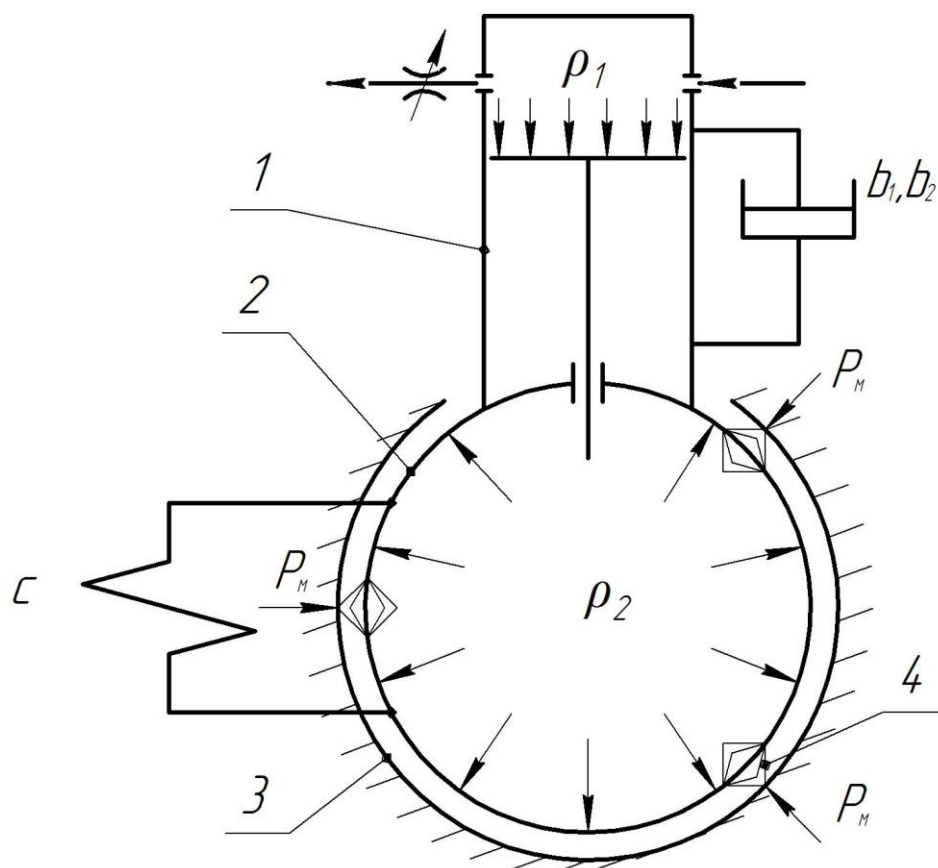


Рис. 3.4.3.1 Еквівалентна розрахункова схема СРРР

1 – гідравлічний циліндр; 2 – ПДПЛ; 3 – деталь, що обробл.ється; 4 – алмазне або абразивне зерно. ρ_1 – тиск, що подається; ρ_2 – гідростатичний тиск; P_m – сила, опору матеріалу; c – пружність ПДПЛ; f_1 , f_2 – коефіцієнт тертя між взаємодіючими поверхнями.

В еквівалентній розрахунковій схемі СРРР (рис 2.4.3.1) представлені явища, які виникають в динаміці. Одним із таких явищ є виникнення сили тертя між

взаємодіючими поверхнями поршня та штоку, що представлені у вигляді коефіцієнтів тертя b_1, b_2 (статичного та кінематичного).

Ще одним таким явищем є пружність ПДПЛ, що виражена у пружності матеріалу.

Відповідно до еквівалентної розрахункової схеми (рис 3.4.3.1) і рівняння рівноваги сил в статиці (2.4.2.3), складемо рівняння руху в динаміці СРРР відповідно другого закону Ньютона, але замінімо масу на прямопропорційну силу опору матеріалу.

$$R \frac{d^2 s}{dt^2} + F_{трш} \frac{ds}{dt} + cs = p_1 \frac{U_1}{U_2} r^2 \pi \quad (3.4.3.1)$$

де c – пружність оболонки;

p_1 – тиск, що подається;

U_1 – площа поршня;

U_2 – площа штока;

r – внутрішній радіус ПДПЛ;

R – сила опору матеріалу, що оброблюється;

s – величина переміщення в радіальному напрямку;

$F_{трш}$ – сила тертя між взаємодіючими поверхнями штоку та поршня.

Отримане диференціальне рівняння СРРР перетворимо за Лапласом за нульових початкових умов [30]. Результати перетворення, які мають вигляд алгебраїчних рівнянь, запишемо в стандартній формі, прийнятій в теорії автоматичного керування [38,39,40].

$$(T^2 p^2 + 2\zeta'' T p + 1)s = k p_1 \quad (3.4.3.2)$$

де p – зображення по Лапласу динамічної складової, а саме швидкості переміщення;

T – постійна часу;

k – коефіцієнт пропорційності між вхідним та вихідним сигналом;

В рівняння 3.4.3.2 введена постійна часу та коефіцієнт пропорційності, які зв'язані з параметрами динамічної СРРР наступними співвідношеннями:

$$T^2 = \frac{R}{c}; \quad (3.4.3.3)$$

$$T = \sqrt{\frac{R}{c}}; \quad (3.4.3.4)$$

$$\zeta''' = \frac{F_{трш}}{2cTp} \quad (3.4.3.5)$$

Подальший аналіз СРРР можливий лише після побудови її структурної схеми. Проте, необхідно спочатку визначити вхідний та вихідний сигнал. Вхідним сигналом в СРРР буде зміна тиску в гідроциліндрі та в оболонковій формі, а вихідним сигналом буде пружня деформація в радіальному напрямку ПДПЛ і переміщення НААЗ.

Складемо рівняння передавальної функції СРРР відповідно до рівняння 3.4.3.2 та вхідного та вихідного сигналу [38,39,40]..

$$W(p) = \frac{s}{p_1} = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\zeta''' Tp + 1} \quad (3.4.3.6)$$

Виходячи із отриманого рівняння припустимо, що СРРР буде коливальною ланкою [38,39,40].

Зазначимо, що сили тертя $F_{трш}$, які виникають під час роботи СРРР мають значення, які наближуються до нуля. Тобто в даній СРРР ними можна знехтувати і рівняння 2.4.3.6 буде мати наступний вигляд.

$$W(p) = \frac{s}{p_1} = \frac{k}{T^2 p^2 + 1} \quad (3.4.3.7)$$

Рівняння 2.4.3.7 є характеристичним рівням консервативної ланки, яка є приватним випадком коливальної ланки [40].

Еквівалентна розрахункова схема та рівняння 3.4.3.2 вказує на те, що СРРР знаходиться в умовах силового замикання. Тобто ПДПЛ постійно знаходиться під дією внутрішньої сили, яка створюється гідростатичним тиском та зовнішньої сили опору матеріалу, що оброблюється. Таке силове замикання призведе до відсутності коливань СРРР.

Можемо припустити те, що в даних умовах величина опору матеріалу, що оброблюється буде компенсуватися силою, яка утворюється гідростатичним тиском. Тобто величиною опору матеріалу умовно дорівнює силі, яка утворюється гідростатичним тиском. Після чого рівняння 3.4.3.7. прийме наступний вигляд:

$$W(p) = \frac{s}{p_1} = k \quad (3.4.3.8)$$

Отримане характеристичне рівняння описує безінерційну ланку [40].

Рівняння безінерційної ланки перестає бути диференціальним рівнянням, а стає простою алгебраїчною залежністю, котра співпадає з статичною характеристикою [38]. Тобто рівняння 2.4.3.1 буде мати наступний вигляд

$$cs = p_1 \frac{U_1}{U_2} r^2 \pi \quad (3.4.3.9)$$

Отримане рівняння повністю відповідає рівнянню 3.4.2.3, яке описує систему СРРР в статиці.

Наступним кроком аналіз СРРР є побудова структурної схеми опираючись на рівняння 3.6.2.9 та еквівалентну розрахункову схему (рис. 3.6.2.3)

Побудуємо структурну схему у відповідності до прийнятої форми [38,39,40].

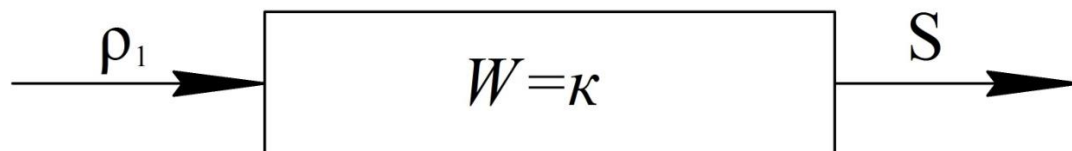


Рис. 3.6.2.4 Структурна схема СРРР

Подальшим кроком аналізу СРРР є побудова логарифмічно частотної характеристики (ЛЧХ). Для цього необхідно перетворити рівняння 3.6.2.7 відповідності до вимог [40].

$$W(j\theta) = 2 \lg k ; \quad (3.6.2.10)$$

де θ – кут частоти гармонійної дії;

j – уявна частина.

ЛЧХ отриманого нами безінерційної ланки буде мати вигляд прямої лінії, так як модуль частотної передаточної функції, буде постійним на всіх частотах, а фазовий зсув рівний нулю (рис.3.6.2.5) [40].

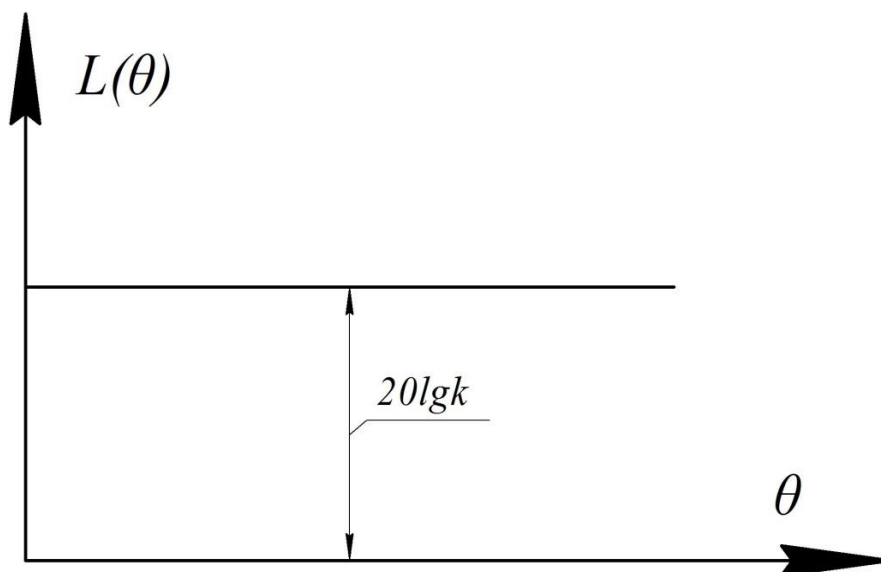


Рис. 3.6.2.5 Логарифмічна частотна характеристика СРРР

де $L(\theta)$ – величина ЛЧХ.

Отже, можливо зробити висновок, що отримана ЛЧХ СРРР вказує на відсутність коливань.

Звідси прийдемо до висновку, що система буде стійкою і не потребує детальнішого аналізу стійкості за критеріями Гурвіца та Найквіста Михайлова.

Висновки.

Враховуючи вище наведені припущення та вимоги, які висувалися до СРРР в розділі 3.1 прийдемо до висновків:

1. Запропонована СРРР на базі ПДПЛ є стійкою, що підтверджує ЛЧХ приведена на рис 3.6.2.5 та математична модель рівняння 3.6.2.9.
2. Жорсткість СРРР забезпечується силовим замиканням.
3. Точність радіального переміщення СРРР здійснюється за допомогою ПДПЛ направленої дії.
4. СРРР мінімізовані фізичні явища, а саме наявність статичного та кінематичного тертя завдяки ПДПЛ.

5. Джерелом сигналів та силових дій є робоча рідина, тобто система знаходиться в однорідному технологічному середовищі.
6. В СРРР використовується ПДПЛ, дія якого основана на такому фізичному явищі, як пружність матеріалу.

Підсумовуючи вище приведене, прийдемо до висновку, що запропонована СРРР відповідає висунитим вимогам та передбачає можливість її використання в умовах адаптації процесу з використанням автоматичної системи керування.

3.4.4. Розмірний ряд оболонкової форми та НААЗ.

Розрахунок розмірного ряду проведений за наступними роботами [15,16,83].
Усі результати розрахунків зведемо в таблицю 3.4.4.1.

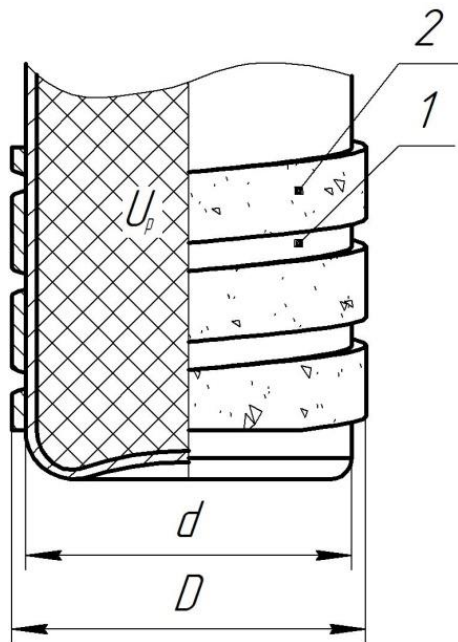


Рис.3.4.4.1 Оболонкова форма з
НААЗ

1 – оболонкова форма;
2 – НААЗ;
 d – діаметр оболонкової форми;
 D – діаметр НААЗ;
 U_p – об'єм рідини в оболонковій формі;

Конструктивні параметри розмірного ряду оболонкової форми Таблиця 3.4.4.1

D,мм Рис. 4.1.3	D,мм Рис. 4.1.3	Припуск на обробку ΔD ,мм	Тиск в напірній магістра лі ρ_1 , МПа	Тиск в оболонко вій формі. ρ_2 , МПа	Об'єм рідини в оболонк овій формі U_p , см ³	Напружен ня часу в коловому напрямку σ_k^* , МПа	Напружен ня часу в осьовому напрямку σ_o^* , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8
25	22,8	0,005	3	6	17,31	963	482
		0,02	11,25	22,5			
30	27,8	0,005	2,25	4,5	20,7	990	495
		0,02	9	18			
35	32,8	0,005	2,05	4,1	24,1	1009	504
		0,02	8,4	16,4			
40	37,8	0,005	1,875	3,75	27,5	1023	511
		0,02	7,5	15			
45	42,8	0,005	1,6	3,2	30,9	1035	517
		0,02	6,4	12,8			
50	47,8	0,005	1,5	3	33,7	1044	522
		0,02	6	12			
55	52,8	0,005	1,4	2,8	37,1	1051	525
		0,02	5,625	11,25			
60	57,8	0,005	1,25	2,5	40,4	1057	528
		0,02	5	10			
65	62,8	0,005	1,15	2,3	43,7	1062	531
		0,02	4,6	9,2			
70	67,8	0,005	1,07	2,14	47,1	1067	533
		0,02	4,25	8,5			
75	72,8	0,005	1,02	2,04	50,4	1071	535
		0,02	4,1	8,2			

80	77,8	0,005	0,93	1,875	53,7	1074	536
		0,02	3,75	7,5			
85	82,8	0,005	0,86	1,73	57,1	1077	538
		0,02	3,45	6,9			
90	87,8	0,005	0,75	1,5	60,4	1081	540
		0,02	3	6			
95	92,8	0,005	0,66	1,32	63,7	1082	541
		0,02	2,65	5,3			
100	97,8	0,005	0,6	1,2	67,1	1084	542
		0,02	2,35	4,7			

* - допустиме напруження часу становить в коловому напрямку $[\sigma_k]=1270\text{МПа}$; в осьовому напрямку $[\sigma_o]=900\text{МПа}$, для сталі 60С2 ГОСТ 14959-79.

На підставі таблиці 3.4.4.1 побудуємо графік залежності зміни тиску від діаметру оболонкової форми (рис.3.4.4.2).

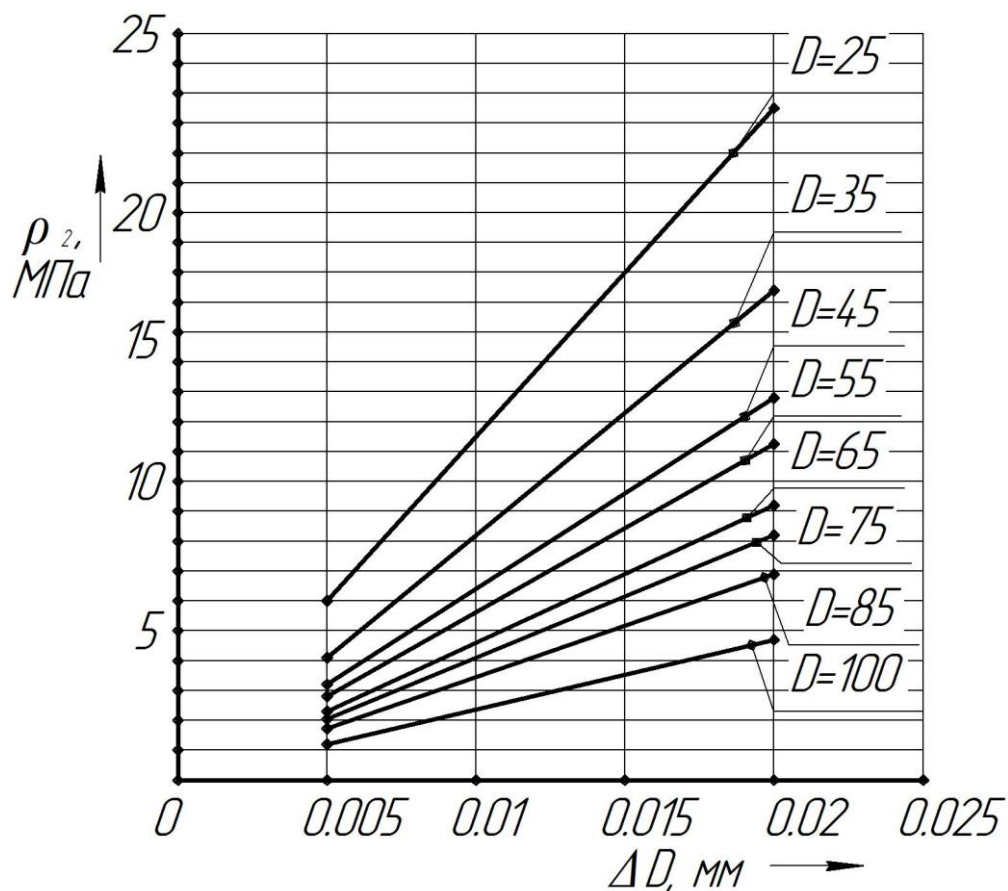


Рис. 3.4.4.2 Графік залежності зміни тиску від діаметру оболонкової форми

4. ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження

Потрібну кількість робочих місць на усіх операціях технологічного процесу механічної обробки деталі «гвинт УЯИШ 716652.701» визначимо за формулою:

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

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

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

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

де F_n - номінальний (режимний) фонд часу роботи обладнання в одну зміну, год. (визначається за календарем з урахуванням кількості святкових та вихідних днів у поточному році, а також 8-годинній тривалості зміни);

S - режим (кількість змін) роботи цеху;

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

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

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

На операції 005 техпроцесу:

$$q_{p(1)} = \frac{7500 \cdot 2,5}{3680 \cdot 60 \cdot 1,01} = 0,09$$

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

Коефіцієнт завантаження обладнання по кожній деталі-операції:

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

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

Так, наприклад, на операції 005 техпроцесу:

$$\eta_{з(1)} = \frac{0,09}{1} = 0,09.$$

Аналогічно виконані розрахунки по інших операціях техпроцесу зведемо до табл. 6.1.

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

$$\bar{\eta}_з = \frac{\sum_{i=1}^m q_{p(i)}}{\sum_{i=1}^m q_{np(i)}} = \frac{1,48}{12} = 0,12 \quad (4.4)$$

де m - кількість операцій технологічного процесу.

Таблиця 4.1

Розрахунок завантаження обладнання

№ операції	Найменування операції	t_{um} , хв.	Кількість обладнання		η_z	$\bar{\eta}_з$
			q_p	q_{np}		
005	Фрезерно-центрувальна	2,73	0,09	1	0,09	0,12
010	Токарна з ЧПК	5,63	0,19	1	0,19	
015	Токарна з ЧПК	4,39	0,15	1	0,15	
020	Токарна з ЧПК	1,90	0,06	1	0,06	
025	Пресувальна	2,46	0,08	1	0,08	
030	Строгальна	15,31	0,51	1	0,51	
035	Свердлильна	2,5	0,08	1	0,08	
040	Шліфувальна	1,26	0,04	1	0,04	
045	Шліфувальна	1,8	0,06	1	0,06	
050	Шліфувальна	1,1	0,04	1	0,04	
055	Шліфувальна	2,7	0,09	1	0,09	
060	Шліфувальна	2,8	0,09	1	0,09	
	Всього	44,58	1,48	12	1,48	

За знайденим значенням $\bar{\eta}_з$ відповідно до [1, дод Д1) тип виробництва - великосерійний.

4.2. Розрахунок календарно-планових нормативів

До календарно-планових нормативів серійного виробництва належать:

- розмір партії деталей;

- кількість запусків партії деталей;
- періодичність (ритм) запуску-випуску партії деталей;
- тривалість операційних та технологічного циклів обробки деталі;
- розмір циклового запасу деталей.

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

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

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

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

$t_{ум}^{min}$ - штучний час на найбільш продуктивній операції техпроцесу, хв.

$$n_p = \frac{0,5 \cdot 440}{1,1} = 200 \text{ шт.}$$

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

$$A_p = \frac{N_z}{n_p} = \frac{7500}{200} = 38, \quad (4.6)$$

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

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

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

$$n_{np} = \frac{N_3}{A_{\phi}} = \frac{7500}{36} = 208 \text{ шт.} \quad (4.7)$$

Періодичність (ритм) запуску-випуску партій деталей:

$$R_3 = \frac{T_p}{A_{\phi}} = \frac{250}{36} = 7 \text{ роб. днів,} \quad (4.8)$$

де T_p - кількість робочих днів протягом року.

Тривалість багатоопераційного виробничого циклу виготовлення партії деталей залежить від тривалості операційних циклів, способу їхнього сполучення у часі (прийнятого виду руху партії деталей) та часу межопераційних перерв.

Тривалість операційного циклу:

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

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

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

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

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

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

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

Наприклад, для першої операції техпроцесу:

$$t_{\kappa-\partial(1)} = \frac{2,73}{1,01 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{5}{208} = 2,754 \text{ хв.}$$

$$T_{o(1)} = \frac{208 \cdot 2,754}{2 \cdot 440} = 0,65 \text{ дн.}$$

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

Таблиця 4.2

Розрахунок тривалості циклу

№ операції	Найменування операції	t_{um} , хв.	$t_{n-з}$, хв.	$t_{к-д}$, хв.	T_o , днів	t_{mo} , днів
005	Фрезерно-центрувальна	2,73	5	2,754	0,65	0,3
010	Токарна	5,63	6	5,659	1,34	0,3
015	Токарна	4,39	6	4,419	1,04	0,3
020	Токарна	1,90	6	1,929	0,46	0,3
025	Пресувальна	2,46	4	2,479	0,59	0,3
030	Строгальна	15,31	12	15,368	3,63	0,3
035	Свердлильна	2,5	4	2,519	0,60	0,3
040	Шліфувальна	1,26	5	1,284	0,30	0,3
045	Шліфувальна	1,8	5	1,824	0,43	0,3
050	Шліфувальна	1,1	5	1,124	0,27	0,3
055	Шліфувальна	2,7	5	2,724	0,64	0,3
060	Шліфувальна	2,8	8	2,838	0,67	0,3
	Всього	44,58	-	44,921	10,62	3,6

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

Тривалість виробничого циклу визначаємо за формулою:

$$T_n = \sum_{i=1}^m T_{o_i} + \sum_{i=1}^m t_{mo} = 10,62 + 3,6 = 14,22 \text{ днів}, \quad (4.11)$$

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

$$t_{mo} = \frac{(0,25 \dots 0,8) \cdot \sum_{i=1}^m T_{o_i}}{m} = \frac{0,35 \cdot 10,62}{12} = 0,3 \text{ дні}, \quad (4.12)$$

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

Середній розмір *циклового запасу* деталей визначається за формулою:

$$Z_{\text{ц}} = \frac{n_{np} \cdot T_{\text{ц}}}{R_3} = \frac{208 \cdot 14,22}{7,0} = 423 \text{ шт.}, \quad (4.13)$$

де $T_{\text{ц}}$ - тривалість виробничого циклу виготовлення партії деталей, дн.

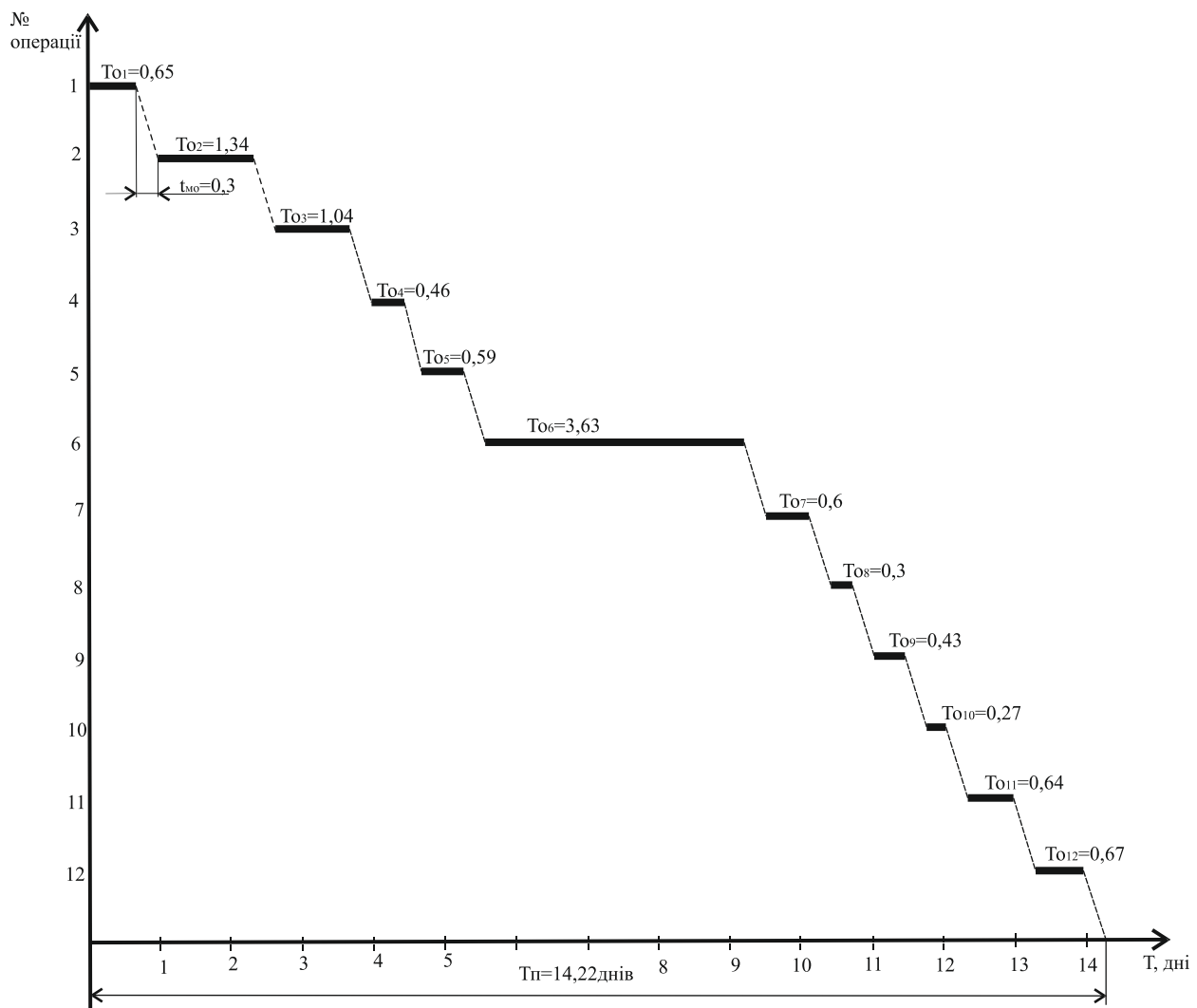


Рис. 4.1. Графік послідовного виду руху партії деталей «Гвинт» $n = 208$ шт.

4.3. Визначення чисельності основних робітників цеху

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

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

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

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

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

$$K_{\text{дов}} = \frac{\eta_{zn}}{\bar{\eta}} = \frac{0,85}{0,12} = 7,08 \quad (4.16)$$

d - процент додаткових робіт, непередбачених технологічним процесом (виправлення браку, доробка, комплектація тощо), $d=15\ldots 20\%$;

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

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

$$T_p = 7500 \cdot \frac{44,58}{60} \cdot 7,08 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) = 47344 \text{ нормо-год.}$$

$$R_o = \frac{47344}{1840} = 26 \text{ осіб.}$$

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Аналіз варіантів технологічного процесу

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

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

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

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

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

5.1.1. Розрахунок змінних витрат

За поелементним методом розрахунку змінні витрати визначаються за формулою:

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

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

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

E_c – витрати на електроенергію силову, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

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

$B_{ін.ун}$ – витрати на експлуатацію універсального ріжучого інструменту, грн. (однакові у порівнюваних варіантах);

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

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

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

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

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

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

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

В базовому варіанті:

$$Z_{одв.баз} = \frac{57,184 \cdot 3,0 + 70,180 \cdot 40,65 + 77,980 \cdot 5,5}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 78,517 \text{ грн.}$$

В проектному варіанті:

$$Z_{одв.пр} = \frac{70,180 \cdot 2,73 + 77,980 \cdot 10,02}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 21,761 \text{ грн.}$$

Наступні статті витрат пов'язано з утриманням та експлуатацією обладнання. Тому, перед їх розрахунком, на основі [1, дод. Д2 та 2, с. 91] складемо таблицю характеристики обладнання, яке використовується у порівнюваних операціях базового та проектного техпроцесів (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Характеристика обладнання

Модель обладнання	Габаритні розміри: довжина × ширина, м	Потужність електро-двигунів верстата, кВт	Ма-са, т	Група ремонтної складності механічної/електричної частини, УРО	Пло-ща в плані $S_{од}$, м ²	Ціна, тис. грн.
Базовий техпроцес						
16K20Ф3 Токарний з ЧПК	3,36×1,71	11,0	5,2	11/12	5,75	746,0
2Н125 Свердлильний	0,77×0,78	1,5	0,6	7/4,5	0,60	71,9
ПФ2171С5 Фрезерний	3,10×3,14	11,0	8,8	12/15	9,73	785,0
6Т80 Фрезерний	1,60×1,88	3,9	1,3	8/4	3,01	240,0
Проектний техпроцес						
МР021Ф4 Фрезерно-центрувальний	2,44×1,27	7,5	1,6	7/3	3,10	335,0
HYUNDAI L150Y Токарний з ЧПК	3,05×1,71	11,0	4,4	18/15	5,22	2600,0

Витрати на електроенергію силову:

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

де N_e – встановлена потужність електродвигунів обладнання, кВт;

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

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (приймається у розмірі $0,6\dots0,7$ – для фрезерних верстатів; $0,5\dots0,6$ – для токарних та свердлувальних верстатів);

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

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

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

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

$$E_{c.баз} = \frac{(11 \cdot 41,95 + 1,5 \cdot 4,2 + 3,9 \cdot 3,0) \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 0,4}{60 \cdot 0,95 \cdot 0,88} \cdot 7,50 = 12,045 \text{ грн.}$$

$$E_{c.пр} = \frac{(7,5 \cdot 2,73 + 11 \cdot 10,02) \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 0,4}{0,95 \cdot 0,88 \cdot 60} \cdot 7,50 = 3,282 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

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

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

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

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

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

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

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

$$T_{рц} = 24000 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 20400 \text{ год.}$$

$$B_{р.баз} = \frac{(880 \cdot 11 + 566 \cdot 12) \cdot 39,45 + (490 \cdot 7 + 315 \cdot 4,5) \cdot 4,2 + (880 \cdot 12 + 566 \cdot 15) \cdot 2,5}{20400 \cdot 60} + \frac{(880 \cdot 8 + 566 \cdot 4) \cdot 3,0}{20400 \cdot 60} = 0,623 \text{ грн.}$$

$$B_{р.пр} = \frac{(880 \cdot 7 + 566 \cdot 3) \cdot 2,73 + (880 \cdot 18 + 566 \cdot 15) \cdot 10,02}{20400 \cdot 60} = 0,217 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

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

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

$K_с$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва.

$$B_{мд.баз} = \frac{78,5 \cdot (11 \cdot 39,45 + 7 \cdot 4,2 + 12 \cdot 2,5 + 8 \cdot 3,0)}{100 \cdot 60} \cdot 1,1 = 7,445 \text{ грн.}$$

$$B_{мд.пр} = \frac{78,5 \cdot (7 \cdot 2,73 + 18 \cdot 10,02)}{100 \cdot 60} \cdot 1,1 = 2,870 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію універсального обладнання:

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

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

$$\Phi_{бал} = C_{онт} \cdot (1 + K_{тр} + K_m + K_f), \quad (5.9)$$

де $C_{онт}$ – оптова ціна обладнання, грн.;

$K_{тр}$, K_m , K_f – коефіцієнти, які враховують відповідно витрати на транспортування обладнання (0,05...0,1), його монтаж (0,04...0,06), улаштування фундаменту (0,02...0,08);

H_a – норма амортизації на реновацію, %.

$$B_{ам.баз} = \frac{(746000 \cdot 39,45 + 71900 \cdot 4,2 + 785000 \cdot 2,5 + 240000 \cdot 3,0) \cdot 1,19 \cdot 15}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,8} = 32,755 \text{ грн.}$$

$$B_{ам.пр} = \frac{(335000 \cdot 2,73 + 2600000 \cdot 10,02) \cdot 1,19 \cdot 15}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,8} = 27,251 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію приміщення:

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

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

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

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

$$B_{ен.баз} = \frac{(5,75 \cdot 3 \cdot 39,45 + 0,6 \cdot 4 \cdot 4,2 + 9,73 \cdot 2,5 \cdot 2,5 + 3,01 \cdot 3,5 \cdot 3,0) \cdot 780}{3680 \cdot 60 \cdot 0,8} = 3,456 \text{ грн.}$$

$$B_{ен.пр} = \frac{(3,1 \cdot 3,5 \cdot 2,73 + 5,22 \cdot 3 \cdot 10,02) \cdot 780}{3680 \cdot 60 \cdot 0,8} = 0,946 \text{ грн.}$$

5.1.2. Розрахунок постійних витрат

За поелементним методом розрахунку постійні витрати включають:

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

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

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

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

$B_{пр}$ – витрати на створення програмного забезпечення верстатів з ЧПУ.

Витрати на налагодження обладнання:

$$B_{нал} = C_{зн} \cdot \frac{t_{n-3}}{60} \cdot (1 + K_{\delta}) \cdot (1 + K_c) \cdot A, \quad (5.12)$$

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

t_{n-3} – підготовчо-заключний час даної операції, хв.;

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

$$B_{нал.баз} = (88,375 \cdot \frac{4 \cdot 3 + 8}{60} + 103,972 \cdot \frac{6 \cdot 5 + 8}{60}) \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 36 = 4604,41 \text{ грн.}$$

$$B_{нал.пр} = (88,375 \cdot \frac{5}{60} + 103,972 \cdot \frac{6 \cdot 2}{60}) \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 36 = 1360,43 \text{ грн.}$$

Витрати на створення програмного забезпечення:

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

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

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

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

$$B_{пр.баз} = 52,0 \cdot 5 \cdot 136,132 \cdot 1,342 = 47499,16 \text{ грн.}$$

$$B_{пр.пр} = 52,0 \cdot 136,132 \cdot 1,342 = 9499,84 \text{ грн.}$$

Вартість програмного забезпечення для обробного центру HYUNDAI L150Y в проектному варіанті входить у його вартість.

5.1.3. Розрахунок технологічної собівартості

Усі виконані розрахунки змінних та постійних витрат, а також розрахунок технологічної собівартості зведемо до табл. 6.2.

Розрахунок технологічної собівартості

№ з/п	Статті витрат	Витрати, грн.	
		Базовий варіант	Проект
1.	<u>Змінні витрати V</u>		
1.1	Заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з єдиним соціальним внеском	78,517	21,761
1.2	Електроенергія силова	12,045	3,282
1.3	Ремонт обладнання	0,623	0,217
1.4	Матеріали допоміжні	7,445	2,870
1.5	Амортизація універсального обладнання	32,755	27,251
1.6	Експлуатація приміщень	3,456	0,946
	Всього змінних витрат	134,841	56,327
2.	<u>Постійні витрати P</u>		
2.1	Налагодження обладнання	4604,41	1360,43
2.2	Створення програмного забезпечення	47499,16	9499,84
	Всього постійних витрат	52103,57	10860,27
	Технологічна собівартість річного випуску деталей C_{tex}	34585279	10214085

Технологічна собівартість:

$$C_{tex.баз} = 134,841 \cdot 7500 + 52103,57 = 34585279 \text{ грн.}$$

$$C_{tex.пр} = 56,327 \cdot 7500 + 10860,27 = 10214085 \text{ грн.}$$

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей «гвинт» $N_3=7500$ шт. є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

Для розмежування області ефективного використання того чи іншого варіанту технологічного процесу розрахуємо критичну програму випуску деталей $N_{кр}$, за якої варіанти, що порівнюються, будуть рівноцінними, тобто $C_{tex.баз}=C_{tex.пр}$:

$$N_{кр} = \frac{P_{пр} - P_{баз}}{V_{баз} - V_{пр}} = \frac{10860,27 - 52103,57}{134,841 - 56,327} = -10197 \text{ шт.}, \quad (6.14)$$

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

5.1.4. Розрахунок показників економічної ефективності обраного варіанту технологічного процесу

Річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу:

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

де E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень;

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

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

$$K = (\Phi_{\text{бал}} + B_{\text{осн}} + K_{\text{буд}}) \cdot \eta_{z_i}, \quad (5.16)$$

Капітальні вкладення в будівлі розраховуємо за формулою:

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

де h – висота приміщення цеху, м;

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

$$K_{\text{буд.баз}} = (5,75 \cdot 3 \cdot 5 + 0,6 \cdot 4 \cdot 3 + 9,73 \cdot 2,5 + 3,01 \cdot 3,5) \cdot 8 \cdot 7200 = 7390656 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{буд.пр}} = (3,1 \cdot 3,5 + 5,22 \cdot 3) \cdot 8 \cdot 7200 = 1526976 \text{ грн.}$$

Балансова вартість обладнання в базовому варіанті:

$$\Phi_{\text{бал.баз}} = (746000 \cdot 5 + 71900 \cdot 3 + 785000 + 240000) \cdot 1,19 = 5913298 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{\text{бал.пр}} = (335000 + 2600000) \cdot 1,19 = 3492650 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{баз}} = (7390656 + 5913298) \cdot 0,16 = 2128633 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{пр}} = (1526976 + 3492650) \cdot 0,14 = 702748 \text{ грн.}$$

$$E_p = (34585179 + 0,16 \cdot 2128633) - (10214085 + 0,16 \cdot 702748) = 24600 \text{ тис грн.}$$

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

$$\Delta T_p = \frac{\sum_{i=1}^m t_{um(i)}^{баз}}{\sum_{i=1}^m t_{um(i)}^{np}} \cdot 100 - 100 = \frac{55,56}{44,58} \cdot 100 - 100 = 24,6\%, \quad (5.18)$$

5.2. Розрахунок планової цехової собівартості деталі

Цехова собівартість виготовлення деталі визначається як сума калькуляційних статей витрат:

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

де M_o - вартість основних матеріалів, грн.:

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

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

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

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

$B_{ц}$ - цехові витрати, грн.

Вартість *основних матеріалів*:

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

де a_p - норма витрат матеріалу на деталь (сталі 25ХГТ), кг.;

$Ц_m$ - ціна матеріалу, грн./кг.;

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

a_{ϵ} - маса відходів, кг.;

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

$$M_o = 2,0 \cdot 35,2 \cdot 1,05 - 0,532 \cdot 5,29 = 71,107 \text{ грн.}$$

Заробітна плата основна й додаткова виробничих робітників:

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

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

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

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

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

$$t_{um-\kappa_i} = t_{um_i} + \frac{t_{n-3_i}}{n_{np}}, \quad (5.23)$$

n_{np} – розмір партії деталей, шт.

На першій операції техпроцесу:

$$t_{um-\kappa_1} = 2,73 + \frac{5}{208} = 2,754 \text{ хв.}$$

$$P_{on_1} = 70,180 \cdot \frac{2,754}{60} = 3,2213 \text{ грн./шт.}$$

Розрахунок відрядної розцінки на деталь зведемо до табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок відрядної розцінки на деталь

№ оп.	Найменування операції	$t_{um-\kappa}$, хв.	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Розцінка на деталь, грн.
005	Фрезерно-центрувальна	2,754	3	70,180	3,2213
010	Токарна	5,659	4	77,980	7,3548
015	Токарна	4,419	4	77,980	5,7432
020	Токарна	1,929	3	70,180	2,2563
025	Пресувальна	2,479	2	57,184	2,3627
030	Строгальна	15,368	5	36,705	9,4014
035	Свердлильна	2,519	2	57,184	2,4008
040	Шліфувальна	1,284	4	77,980	1,6688
045	Шліфувальна	1,824	4	77,980	2,3706
050	Шліфувальна	1,124	4	77,980	1,4608
055	Шліфувальна	2,724	4	77,980	3,5403
060	Шліфувальна	2,838	4	77,980	3,6885
	Всього	44,921	-	-	45,469

$$Z_{od} = 45,469 \cdot (1 + 0,1) = 50,016 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби виробничих робітників:

$$B_c = 50,016 \cdot \frac{22}{100} = 11,004 \text{ грн.}, \quad (5.24)$$

де K_c - відсоток єдиного соціального внеску.

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

$$B_{осн} = 25 \cdot \frac{44,58}{60} = 18,575 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

$$B_o = 45,4693 \cdot \frac{320}{100} = 145,502 \text{ грн.}, \quad (5.25)$$

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

Z_o - основна заробітна плата за виготовлення деталі, грн.

Загальноцехові витрати в собівартості деталі:

$$B_{ц} = 45,4693 \cdot \frac{280}{100} = 127,314 \text{ грн.}, \quad (5.26)$$

де $P_{ц}$ – процент цехових витрат.

Калькуляцію цехової собівартості деталі зведемо до табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Калькуляція цехової собівартості виготовлення деталі

№ з/п	Найменування статей	Витрати, грн.
1.	Матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів	71,107
2.	Основна заробітна плата виробничих робітників	45,470
3.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	4,547
4.	Відрахування у соціальні фонди	11,004
5.	Експлуатація спеціального оснащення	18,575
6.	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	145,502
7.	Цехові витрати	127,314
8.	Всього цехова собівартість $C_{ц}$	423,519

5.3. Планування підсумкових техніко-економічних показників

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

- *виріток продукції на одного робітника:*

$$B_n = \frac{T_p}{R_o} = \frac{47344}{26} = 1821 \text{ нормо-год./ос.}, \quad (5.27)$$

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

R_o – чисельність основних робітників цеху, осіб;

- зарплатомісткість продукції:

$$Z_{zn} = \frac{Z_{od}}{C_{\psi}} \cdot 100 = \frac{50,016}{423,519} \cdot 100 = 11,8\%, \quad (5.28)$$

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

C_{ψ} - цехова собівартість деталі, грн.

- матеріаломісткість продукції:

$$Z_{mn} = \frac{M_o}{C_{\psi}} \cdot 100 = \frac{71,107}{423,519} \cdot 100 = 16,8\%, \quad (5.29)$$

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

- собівартість товарної продукції цеху:

$$C_{mn} = 423,519 \cdot 7500 \cdot 7,08 = 22488859 \text{ грн.} \quad (5.30)$$

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

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

5.5.

Техніко-економічні показники цеху

№ з/п	Показник	Одиниця виміру	Величина
1.	Програма запуску деталі (N_3)	шт./рік	7500
2.	Трудомісткість виробничої програми (T_p)	нормо-год.	47344
3.	Цехова собівартість деталі	грн.	423,519
4.	Собівартість товарної продукції цеху (C_{mn})	грн./рік	22488859
5.	Чисельність основних робітників	осіб	26
6.	Виріток продукції на одного робітника	нормо-год.	1821
7.	Матеріаломісткість продукції	%	16,8
8.	Зарплатомісткість продукції	%	11,8
9.	Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу ΔT_p	%	24,6
10.	Річний економічний ефект від застосування проектного варіанту техпроцесу E_p	тис грн.	24600

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Кваліфікаційна робота на тему «Гнучка технологія обробки гвинт з дослідженням процесу алмазного хонінгування отворів в умовах адаптації процесу».

Ця кваліфікаційна робота виконана відповідно до чинних стандартів, із дотриманням вимог Єдиної системи конструкторської документації (ЕСКД) для графічної частини.

Конструкторські, технологічні та економічні розрахунки, проведені в межах магістерської роботи, демонструють переваги застосування верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) у машинобудуванні. Зокрема, доведено підвищення продуктивності праці, зниження собівартості виробів, покращення якості продукції, зменшення витрат матеріалів, енергії та трудових ресурсів. Також відзначено підвищення надійності й довговічності технічних засобів, покращення умов праці та забезпечення екологічної безпеки виробництва.

У технологічній частині проекту впровадження верстатів з ЧПК та оброблювального центру дозволило значно скоротити час обробки деталей і зменшити кількість механічних операцій. Як метод отримання заготовки було запропоновано використання технології холодного об'ємного штампування з трубних заготовок замість прутків. Це рішення суттєво підвищило коефіцієнт використання матеріалу та знизило трудомісткість механічної обробки.

Значний внесок у підвищення ефективності технологічного процесу зробило заміщення операції шліфування отвору поверхні 3 на операції 080 (виконуваний на внутрішньошліфувальному верстаті 3М227, зі штучним часом 180 хв.) на операцію 060 алмазного розверчування, тривалість якої складає близько 2 хвилин. Це дозволило суттєво скоротити час виконання технологічної операції та підвищити продуктивність процесу.

Враховуючи вище наведені припущення та вимоги, які висувалися до СРРР в розділі 3.1 прийдемо до висновків:

- Запропонована СРРР на базі ПДПЛ є стійкою, що підтверджує ЛЧХ приведена на рис 3.6.2.5 та математична модель рівняння 3.6.2.9.

- Жорсткість СРРР забезпечується силовим замиканням.
- Точність радіального переміщення СРРР здійснюється за допомогою ПДПЛ направленої дії.
- СРРР мінімізовані фізичні явища, а саме наявність статичного та кінематичного тертя завдяки ПДПЛ.
- Джерелом сигналів та силових дій є робоча рідина, тобто система знаходиться в однорідному технологічному середовищі.
- В СРРР використовується ПДПЛ, дія якого ґрунтується на такому фізичному явищі, як пружність матеріалу.

Підсумовуючи вище приведене, прийдемо до висновку, що запропонована СРРР відповідає висунитим вимогам та передбачає можливість її використання в умовах адаптації процесу з використанням автоматичної системи керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бакуль В.Н. Алмазное хонингование. / В.Н. Бакуль, А.А Сагарда., И.Х Чеповецкий – Киев: Техника, 1966. – 37с.
2. .Медведев В.В. Отделочное хонингование / В.В. Медведев. – К.: Техніка, 1973. – 56 с.
3. Криворучко Д.В. Обработка сквозных глубоких отверстий - 8 квалитетов точности: проблемы и решения / Криворучко Д.В., Кожемякин С.В.// Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – Кіровоград: Випуск 13, 2003
4. Медведев В.В. Отделочное хонингование. / В.В. Медведев. – К. : Техника, 1973. – 56 с.
5. Патент на винахід UA 101565 C2, Україна, МПК МПК B23 D 77/00, B24B 33/00. Інструмент для алмазної або абразивної обробки отворів / Підгаєцький М.М., Щербина К.К. – Опубл. 10.04.2013. Бюл. №7.
6. Патент на винахід UA 101595 C2, Україна, МПК B23 D 77/00, B24B 33/00. Спосіб регулювання радіального розміру при обробці отворів та інструмент для його здійснення / Підгаєцький М.М., Щербина К.К. – Опубл. 10.04.2013. Бюл. №7.
7. Патент на корисну модель UA 76431 U МПК 2013.01 B24B 33/00 Спосіб адаптивного керування процесом хонінгування / Підгаєцький М.М., Щербина К.К. – Опубл. 10.01.2013 Бюл. №1.
8. Підгаєцький М.М. Адаптивне керування системами регулювання радіального розміру алмазно-абразивного інструменту // М.М.Підгаєцький, М.І. Черновол, К.К. Щербина // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник / Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин/ Вип. 42 ч. I. – Кіровоград: КНТУ, 2012.
9. Підгаєцький М.М. Аналіз впливу попередньої макронерівності в процесі хонінгування прецензійних отворів // М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник / Конструювання,

виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин/ Вип. 26. – Кіровоград: КНТУ, 2013.

10. Підгаєцький М.М. Гідростатичний хон для обробки отворів малих діаметрів // М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Збірник наукових праць./ Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012 - №53 с3-10.

11. Підгаєцький М.М. Динамічний аналіз традиційних систем регулювання радіального розміру в процесі хонінгування отворів // М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. – Хмельницький.: ХНУ 2014 - №3 (213) с.134-138

12. Підгаєцький М.М. Лінеаризація статичної характеристики дроселюючого гідророзподільна СРРР // М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина, // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузева машинобудування, автоматизація. / Вип. 27 – Кіровоград: КНТУ, 2014.

13. Підгаєцький М.М. Особливості регулювання радіального розміру відділових різальних інструментів з допомогою оболонкової форми під дією гідростатичного тиску/ М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузева машинобудування, автоматизація. / Вип. 24 Ч.2 – Кіровоград: КНТУ, 2011. – с. 136-140.

14. Підгаєцький М.М. Продукційний хонінгувальний верстат з адаптивно-програмним керуванням/ М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина, О.В. Лобода // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузева машинобудування, автоматизація. / Вип. 25 – Кіровоград: КНТУ, 2012.

15. Підгаєцький М.М. Утворення складної траєкторії руху зерна при хонінгуванні отворів // М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина // Вісник Чернігівського державного технологічного університету «Технічні науки», №3 (59), 2012 р.

16. Підгаєцький М.М. Хонінгування отворів великих діаметрів // М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина, Л.В. Копосова // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузева машинобудування, автоматизація. / Вип. 25 – Кіровоград: КНТУ, 2012.
17. Підгаєцький М.М. Дослідження повздовжньої сталості пружно-гвинтового хону / М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина // Вісник Національного технічного університету «ХП». Серія: Технології машинобудування. – Харків: НТУ «ХП», 2018. – №6 (1282). – С.8-12.
18. М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина, В.А. Мажара, Т.В. Дяченко Динамічний аналіз традиційної кінцевої ланки хонінгувальної головки Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький ЦНТУ, 2019. – Вип.49. – С.194-200.
19. Подураев В.Н. Алмазное вибрационное хонингование отверстий в стальных закаленных деталях. / В.Н. Подураев, А.А. Суворов, В.И. Карпов // Сборник Синтетические алмазы в промышленности. Киев: Наукова думка, 1974, с.167-172.
20. Сагарда А.А. Алмазно-абразивная обработка деталей машин. / А.А. Сагарда, И.Х. Чеповецкий, Л.Л. Мишнаевский. – К.: Техника, 1974. – 180 с.
21. Чеповецкий И.Х. Алмазное хонингование термообработанных сталей / И.Х. Чеповецкий, И.Д. Кизиков, Ю.Э. Рыжов – Киев : Наука, 1988.
22. Чеповецкий И.Х. Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке. / И.Х. Чеповецкий. – Киев: Наукова думка, 1978. – 228 с.
23. K. Scherbyna Mechanics of contact interaction of elastic helical hone and machining surface / K. Scherbyna // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. – Хмельницький: ХНУ, 2019. – №4 (275). – С.15-21.
24. К.К. Щербина, А.І. Гречка В.А. Мажара, Т.В. Дяченко Kinematics of cutting process while honing holes with a hone with variable geometry of sticks.

Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький ЦНТУ, 2020. – Вип.50. – С.194-200.

25. К.К. Щербина, М.М. Підгаєцький, В.А. Мажара, А.І. Гречка, Т.В. Дяченко Експериментальне дослідження деформації пружно-гвинтового хона. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки - Кропивницький ЦНТУ. 2022. Вип. 5(36), ч. II. – С.31-38

26. Fritz Klocke Manufacturing processes. Grinding honing, lapping/ RWTH AACHEN University/ RWTH edition/ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009.

27. G.Flores. Honen von hochgenauen Steuerbohrungen mit ultraharten Schleifmitteln. IDR 18 (1984) Nr.2.

28. Haasis G. Honen mit Diamant-und CBN-Werkzeugen. VDI-Z. 120 (1978) 24, S.96-103.

29. Haasis G. Möglichkeiten der Optimierung beim Honen. Werkst. u. Betr. 108 (1975) 2, S. 95-107/

30. Haasis G. Neue technologische Gesichtspunkte beim Langhubhonen von Bohrungeg. Techn. Mitt. HdT. 71 (1978) 5, S. 253-262.

31. <http://www.sunnen.com/ProductDetails.aspx?ProductID=69&NavID=02>

32. Klink U., Floves G. Honen (Jahresübersicht). VDI 121 (1979) 10, S. 543-554.

33. Mit Honen die Umwelt schonen. Produktion. 2007, №37, s32.

34. Економічні та організаційно-планові розрахунки при обґрунтуванні доцільності розробки нових виробів //Укладачі: Журило І.В., Полтавець М.М. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 40 с.

35. Організація виробництва на промислових підприємствах: Навч. посібник / за ред. Ю.А. Єгупова. - Одеса: Автограф, 2004. - 436 с.

36. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1. под редакцией А. Г. Косиловой, В. К. Мещерякова - М.: Машиностроение, 1982.

37. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2. под редакцией А. Г. Косиловой, В. К. Мещерякова - М.: Машиностроение, 1982.

38. Станочные приспособления: Справочник. В 2-х т. / Ред. совет: Б.Н. Вардашкин (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1984. – Т. 1/ Под ред. Б.Н. Вардашкина, А.А. Шатилова, 1984. 592 с.
39. Халафян А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. 3-е изд. Учебник – М.: ООО «Бином-Пресс», 2007 г. – 512 с.: ил.
40. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
41. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2. / Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.