

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

«Допущено до захисту»  
Завідувач кафедри ММіР  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти  
на тему:  
**«Гнучка технологія обробки корпусу та вала  
головки кутової ГУ 90 з дослідженням процесу  
обробки зубчатого зачеплення»**

Виконав здобувач вищої освіти ІІ-го курсу  
групи ПМ-24М-З  
ОПП «Прикладна механіка»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
\_\_\_\_\_ Ігор ГОВЕРА

Керівник роботи к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Кирил ЩЕРБИНА

Рецензент:  
\_\_\_\_\_

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**

Говера Ігор Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Гнучка технологія обробки корпусу та вала головки кутової ГУ 90 з дослідженням процесу обробки зубчатого зачеплення

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 Корпуса та Вала \_\_\_\_\_

3.2. Технічні вимоги на виготовлення деталі \_\_\_\_\_

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. Економічна частина \_\_\_\_\_

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

Графічний матеріал - 12 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                  | 10.10.2025                    |          |
| 2     | Технологічна частина              | 16.10.2025                    |          |
| 3     | Конструкторська частина           | 31.10.2025                    |          |
| 4     | Дослідна частина                  | 15.11.2025                    |          |
| 5     | Організаційна частина             | 01.12.2023                    |          |
| 6     | Економічна частина                | 20.12.2025                    |          |
| 7     | Розробка презентації              | 20.12.2025                    |          |
|       |                                   |                               |          |
|       |                                   |                               |          |
|       |                                   |                               |          |
|       |                                   |                               |          |

**Студент**

\_\_\_\_\_  
( підпис )

**Говера І.І.,**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

**Керівник проекту**

\_\_\_\_\_  
( підпис )

**Щербина К.К.**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## Анотація

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки на 126 сторінках та графічної частини на 12 листах формату А4.

**1. Актуальність роботи.** Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва складного різального інструменту та інтенсифікації процесів виготовлення зубчастих профілів. Традиційні аналітичні методи розрахунку параметрів зрізуваного шару не забезпечують достатньої точності для інструментів зі змінними схемами різання, а існуючі алгоритми дискретного моделювання є надмірно ресурсомісткими. Водночас класичні методи зубообробки (обкочування) обмежені жорсткими кінематичними зв'язками, що стримує реалізацію швидкісного потенціалу сучасних інструментальних матеріалів. Тому розробка нових методик визначення параметрів зрізу на основі кінематичного 3D-моделювання та дослідження процесу контурної обробки на верстатах з ЧПК є важливою науково-практичною задачею.

**2. Наукова новизна роботи.** полягає у подальшому розвитку теоретичних основ формоутворення поверхонь шляхом розробки математичної моделі контурного фрезерування зубчастих профілів дисковим інструментом, яка, на відміну від існуючих, враховує кінематику верстатів з ЧПК без жорстких кінематичних ланцюгів. Удосконалено методологію визначення геометричних параметрів зрізуваного шару для інструментів зі складною схемою різання, що базується на використанні кінематичних операцій твердотільного моделювання (Swept Volume) замість дискретних наближень. Це дозволило встановити нові аналітичні залежності між продуктивністю формоутворення, реальною геометрією фасонного зуба та силовими характеристиками процесу різання.

**3. Практична цінність роботи.** Полягає у створенні інженерної методики розрахунку параметрів зрізуваного шару в середовищі CAD-систем, яка дає змогу на етапі конструкторської підготовки прогнозувати працездатність інструменту та оптимізувати його геометрію. Запропонований метод контурної обробки зубчастих вінців на багатоцільових верстатах з ЧПК забезпечує підвищення

продуктивності виготовлення деталей типу «рейка-поршень» шляхом усунення обмежень швидкості різання, властивих методу обкочування, та дозволяє ефективно використовувати сучасні інструментальні матеріали при обробці періодичних профілів.

#### **4. Оцінка найбільш важливої суті роботи виконаної роботи.**

Найважливіша сутність виконаної роботи полягає у створенні комплексної методології, що поєднує сучасне кінематичне 3D-моделювання з теорією продуктивності різання для оптимізації проектування складного інструменту та інтенсифікації процесів зубообробки. В роботі реалізовано перехід від наближених дискретних розрахунків до точного визначення параметрів зрізуваного шару через використання булевих операцій над твердотільними кінематичними об'ємами (Swept Volume), що дозволило врахувати реальну фасонну геометрію зуба та варіативність схем різання. Цей підхід став підґрунтям для обґрунтування ефективності методу контурного фрезерування зубчастих профілів на верстатах з ЧПК, який, на відміну від традиційного обкочування, усуває жорсткі кінематичні обмеження швидкості різання та дозволяє прогнозувати силові навантаження і показники продуктивності ще на етапі конструкторської підготовки, забезпечуючи повну реалізацію експлуатаційного потенціалу сучасних інструментальних матеріалів. Всі приведені зміни економічно обґрунтовані.

**Ключові слова:** дисковий інструмент, зубчатий профіль, твердотільні моделі

## **Annotation**

The qualification work consists of an explanatory note on 126 pages and a graphic part on 12 sheets of A4 format.

**1. Relevance of the work.** The relevance of the work is driven by the necessity to enhance the efficiency of technological preparation for the production of complex cutting tools and to intensify the manufacturing processes of gear profiles. Traditional analytical methods for calculating the parameters of the cut layer (undeformed chip) do not provide sufficient accuracy for tools with variable cutting schemes, while existing discrete modeling algorithms are excessively resource-intensive. At the same time, classical gear machining methods (hobbing) are constrained by rigid kinematic linkages, which inhibits the realization of the high-speed potential of modern tool materials. Therefore, the development of new methodologies for determining cut parameters based on kinematic 3D modeling and the investigation of the contour machining process on CNC machines is a significant scientific and practical task.

**2. Scientific novelty of the work.** The scientific novelty lies in the further development of the theoretical foundations of surface generation through the creation of a mathematical model for the contour milling of gear profiles using disk tools. Unlike existing models, this approach accounts for the kinematics of CNC machines without rigid kinematic chains. The methodology for determining the geometric parameters of the cut layer for tools with complex cutting schemes has been improved by utilizing kinematic solid modeling operations (Swept Volume) instead of discrete approximations. This has allowed for the establishment of new analytical dependencies between forming productivity, the real geometry of the shaped tooth, and the force characteristics of the cutting process.

**3. Practical value of the work.** The practical value resides in the creation of an engineering methodology for calculating cut layer parameters within a CAD environment, which enables the prediction of tool performance and the optimization of its geometry at the design stage. The proposed method for the contour machining of gear rims on multi-purpose CNC machines ensures increased productivity in manufacturing "piston-rack" type parts by eliminating the cutting speed limitations

inherent to the hobbing method. Furthermore, it allows for the effective utilization of modern tool materials during the processing of periodic profiles.

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

The core essence of the executed work lies in the development of a comprehensive methodology that combines modern kinematic 3D modeling with the theory of cutting productivity to optimize the design of complex tools and intensify gear machining processes. A transition from approximate discrete calculations to the precise determination of cut layer parameters was realized through the use of Boolean operations on solid kinematic volumes (Swept Volume). This allowed for the consideration of the real shaped geometry of the tooth and the variability of cutting schemes. This approach serves as the rationale for the efficiency of the contour milling method for gear profiles on CNC machines, which, unlike traditional hobbing, eliminates rigid kinematic restrictions on cutting speed. It enables the prediction of force loads and productivity indicators as early as the design stage, ensuring the full realization of the operational potential of modern tool materials. All presented changes are economically substantiated.

**Key words:** disk tool, gear profile, solid models

## ЗМІСТ

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                  | 10 |
| 1. Загальна частина .....                                                                   | 11 |
| 1.1. Характеристика вузла та деталей, обраних для проектування технологічних процесів ..... | 11 |
| 1.2. Визначення типу виробництва.....                                                       | 15 |
| 2. Технологічна частина.....                                                                | 19 |
| 2.1. Аналіз точності та технологічності деталі .....                                        | 19 |
| 2.2. Аналіз діючих технологічних процесів.....                                              | 23 |
| 2.3. Вибір заготовок та способу їх виготовлення.....                                        | 25 |
| 2.4. Вибір методів обробки поверхонь деталі.....                                            | 29 |
| 2.5. Розробка маршрутів виготовлення деталей.....                                           | 33 |
| 2.6. Вибір технологічних баз.....                                                           | 38 |
| 2.7. Розробка структури технологічних операцій і вибір обладнання для їх здійснення.....    | 39 |
| 2.8. Вибір затискних пристроїв.....                                                         | 59 |
| 2.9. Вибір різальних інструментів.....                                                      | 60 |
| 2.10. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів.....                                    | 63 |
| 2.11. Визначення припусків та операційних розмірів деталей.....                             | 66 |
| 2.12. Визначення режимів різання.....                                                       | 68 |
| 2.13. Технічне нормування операцій.....                                                     | 71 |
| 3. Конструкторська частина.....                                                             | 74 |
| 3.1. Розрахунок та розробка конструкції затискного пристрою .....                           | 74 |
| 3.2. Розрахунок та розробка конструкції контрольно-вимірювального пристрою.....             | 82 |
| 3.2.1. Опис конструкції та роботи пристрою.....                                             | 82 |
| 3.3. Розрахунок та розробка конструкції спеціального ріжучого інструменту.....              | 84 |
| .....                                                                                       |    |

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.1. Опис конструкції спеціального ріжучого інструменту.....                                          | 84  |
| 3.3.2. Розрахунок фрези.....                                                                            | 85  |
| 4. Дослідна частина.....                                                                                | 88  |
| 4.1 Дослідженням операції зубофрезерування методом копіювання з використання дискового інструменту..... | 88  |
| 5. Організаційна частина.....                                                                           | 103 |
| 5.1. Розробка системи ППР.....                                                                          | 103 |
| 5.2. Заходи щодо наукової організації праці (НОП).....                                                  | 105 |
| 6. Економічна частина.....                                                                              | 110 |
| 6.1. Вихідні дані.....                                                                                  | 110 |
| 6.2. Розрахунок календарно-планових нормативів.....                                                     | 111 |
| 6.3. Розрахунок кількості робітників.....                                                               | 120 |
| 6.4. Організація оплати праці.....                                                                      | 120 |
| Висновки.....                                                                                           | 122 |
| Література.....                                                                                         | 123 |

## ВСТУП

Ключовою метою розвитку машинобудівного комплексу України є забезпечення потреб внутрішнього ринку у високоякісній машинобудівній продукції та розширення експорту на міжнародних ринках. Досягнення цієї мети можливе завдяки трансформації машинобудування в конкурентоспроможний, ефективний, високотехнологічний і інноваційно сприйнятливий сектор, інтегрований у глобальну систему промислового виробництва та міжнародного поділу праці.

Для реалізації зазначеної мети необхідно здійснити низку заходів, спрямованих на модернізацію існуючих підприємств на основі інноваційних технологій; упровадження новітніх методів виробництва; стимулювання розвитку внутрішнього ринку машинобудівної продукції; формування сприятливих умов для залучення та професійного розвитку висококваліфікованих кадрів галузі.

Реалізація запропонованих напрямів сприятиме збільшенню обсягів виробництва та розширенню номенклатури продукції, активізації експортної діяльності, підвищенню конкурентоспроможності машинобудівних підприємств і загальної ефективності функціонування галузі.

Об'єктом дипломного проєкту є кутова головка ГУ–90, що виготовляється на підприємстві ПАТ НВП «Радій» (м. Кропивницький). У рамках проєкту передбачено розроблення технологічних процесів механічної обробки деталей корпус і вал із використанням верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК), що дозволить підвищити продуктивність виготовлення й знизити собівартість продукції.

З урахуванням оптимізації базових технологічних процесів виготовлення деталей планується створення конструкцій затискного пристрою, контрольного пристрою, а також різального інструменту, що забезпечать стабільність параметрів обробки, підвищену точність і надійність у процесі виробництва.

## 1. Загальна частина

### 1.1. Характеристика вузла та деталей, обраних для проектування технологічних процесів

Кутова головка ГУ-90-3 (рис. 1.1) являє собою конічну одноступеневу передачу, в якій осі ведучого та веденого валів перетинаються під кутом  $90^\circ$ . Виріб призначений для використання у системах рульового керування транспортних засобів, обладнаних гідравлічним або електромеханічним підсилювачем керма, і виконує функцію передавання крутного моменту від рульового вала автомобіля до вхідного вала рульового механізму за умови перехрещення їхніх осей.

Конструкція кутової головки забезпечує стабільну роботу в широкому діапазоні температур — від  $-45^\circ\text{C}$  до  $+40^\circ\text{C}$ , що дає змогу експлуатувати її в різних кліматичних умовах. Відповідно до ГОСТ 27.003-90, виріб належить до відновлюваних виробів групи ІКН, тобто придатних до багаторазового технічного обслуговування та відновлення працездатності після експлуатаційного зносу.

Основні технічні характеристики кутової головки ГУ-90-3 наведено в таблиці 1, де подано її геометричні параметри, кінематичні співвідношення та експлуатаційні показники, що визначають функціональні властивості вузла.



Рис. 1.1. Кутова головка ГУ-90-3

## Основні технічні характеристики кутової головки

|                                                           |             |
|-----------------------------------------------------------|-------------|
| Конструктивні та експлуатаційні параметри кутових головок | ГУ -90-3    |
| Кут між осями вхідного і вихідного валів,                 | 90          |
| Максимально крутний момент, М, Н•м                        | 125         |
| Передаточне відношення, і                                 | 1           |
| Люфт механічний, допустимий , а <sub>м</sub> , хв         | 1           |
| Осьовий допустимий люфт, мм,                              | 0,0         |
| Маса, кг                                                  | 6,5         |
| Габаритні розміри, мм довжина ширина висота               | 161x125x125 |

Як робоче середовище для заповнення порожнин робочих елементів кутової головки використовується трансмісійна олива марки ТАД-17і відповідно до вимог ГОСТ 23652-79. Зазначена олива забезпечує необхідні змащувальні, антифрикційні та захисні властивості, що сприяють зменшенню зношування поверхонь тертя, стабільності крутного моменту та підвищенню довговічності вузла під час експлуатації в різних температурних умовах.

Конструктивне виконання кутової головки ГУ-90-3 подано на рисунку 1.2, де відображено основні елементи її будови, кінематичні зв'язки та принцип взаємодії складових частин у процесі роботи.

Кутова головка складається з пари конічних шестерень 1 і 3, установлених відповідно на вхідному та вихідному валах. Вхідний вал обертається в підшипниках, розміщених у корпусі 17, і несе на собі ведучу конічну шестерню, закріплену за допомогою штифтів. На протилежному кінці вхідного вала виконані циліндричні трикутні шліци, призначені для з'єднання з валом рульової колонки.

Вихідний вал 3 обертається в підшипниках 5, установлених у корпусі, і має ведену конічну шестерню, також закріплену штифтами. Протилежний кінець цього вала оснащений циліндричними трикутними шліцами, які забезпечують з'єднання з кульково-гвинтовим гідропідсилювачем. Вали зафіксовані від осьових переміщень за допомогою стопорного кільця 7.

Корпус 17 призначений для розміщення складальних одиниць і деталей відповідно до рисунка 1.2, забезпечуючи їх правильне взаємне розташування.

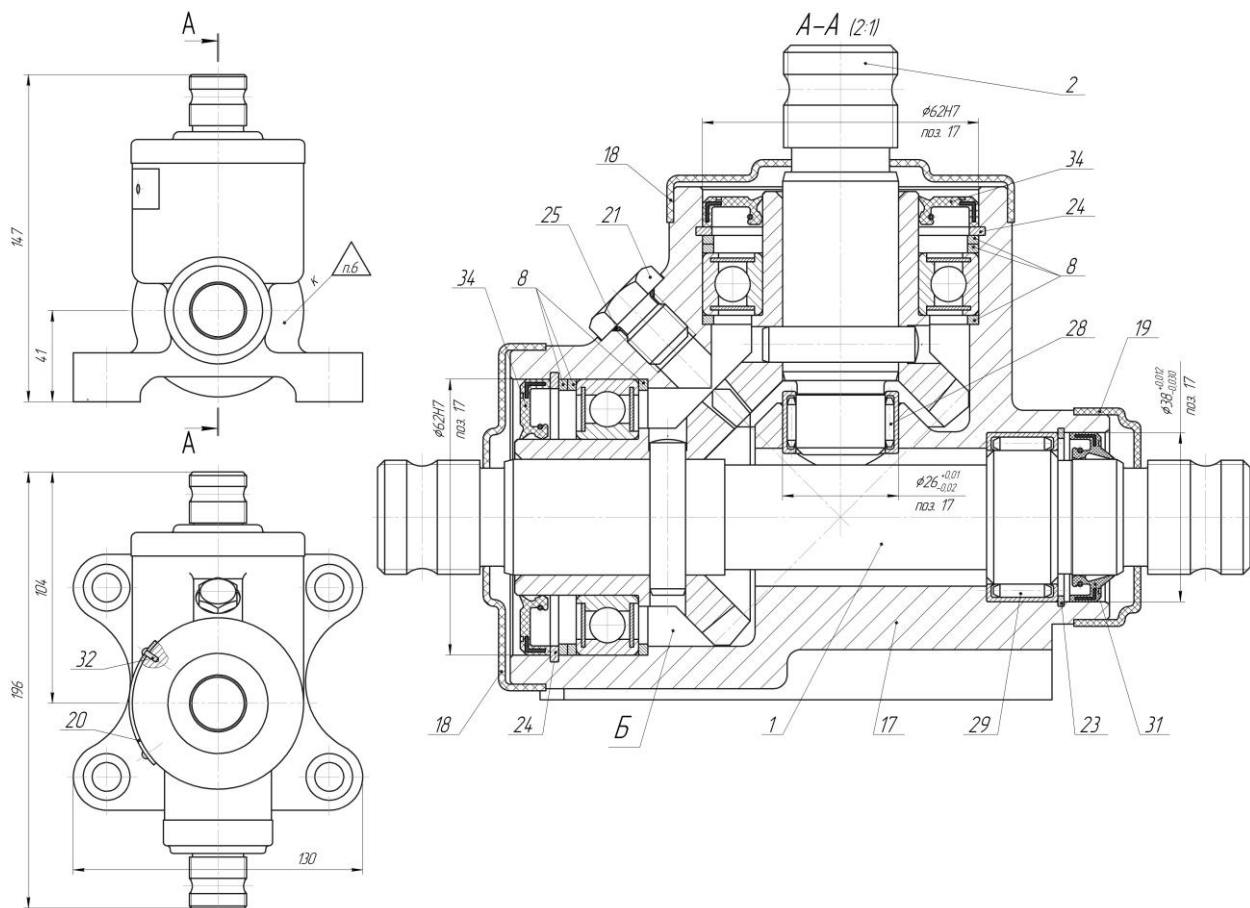


Рис. 1.2. Конструкція кутової головки ГУ-90-3

Деталь корпус УЯИШ.731347.006 виконує функцію базової монтажної основи для всіх компонентів поворотної головки, захищає їх від зовнішніх впливів і створює необхідні умови для змащування ведучої та веденої шестерень. За конструктивним виконанням корпус належить до другої групи класу корпусних деталей, характеризується наявністю торцевих і внутрішніх циліндричних поверхонь. Головними конструкторськими базами є посадки під підшипники, що забезпечують надійне кріплення валів і шестерень. Допоміжними базами виступають два колодці, у яких розміщуються шестерні з втулками. Точність виготовлення корпусу та шорсткість робочих поверхонь відповідають вимогам, необхідним для забезпечення стабільної та довговічної експлуатації поворотної головки.

Деталь вал УЯИШ.716614.019 належить до класу деталей тіл обертання, для яких характерне співвідношення довжини до діаметра ( $l > D$ ). Основною конструкторською базою є зовнішня циліндрична поверхня діаметром 23 мм, що слугує посадковою під конічну шестерню. Вал призначений для передавання крутного моменту від керма, яке забезпечується через шліцьове з'єднання з евольвентним профілем зуба.

Ескізи деталей корпусу та вала подано відповідно на рисунках 1.3 та 1.4, які ілюструють їх основні геометричні параметри, посадочні поверхні та взаємозв'язок у складі кутової головки ГУ-90-3.

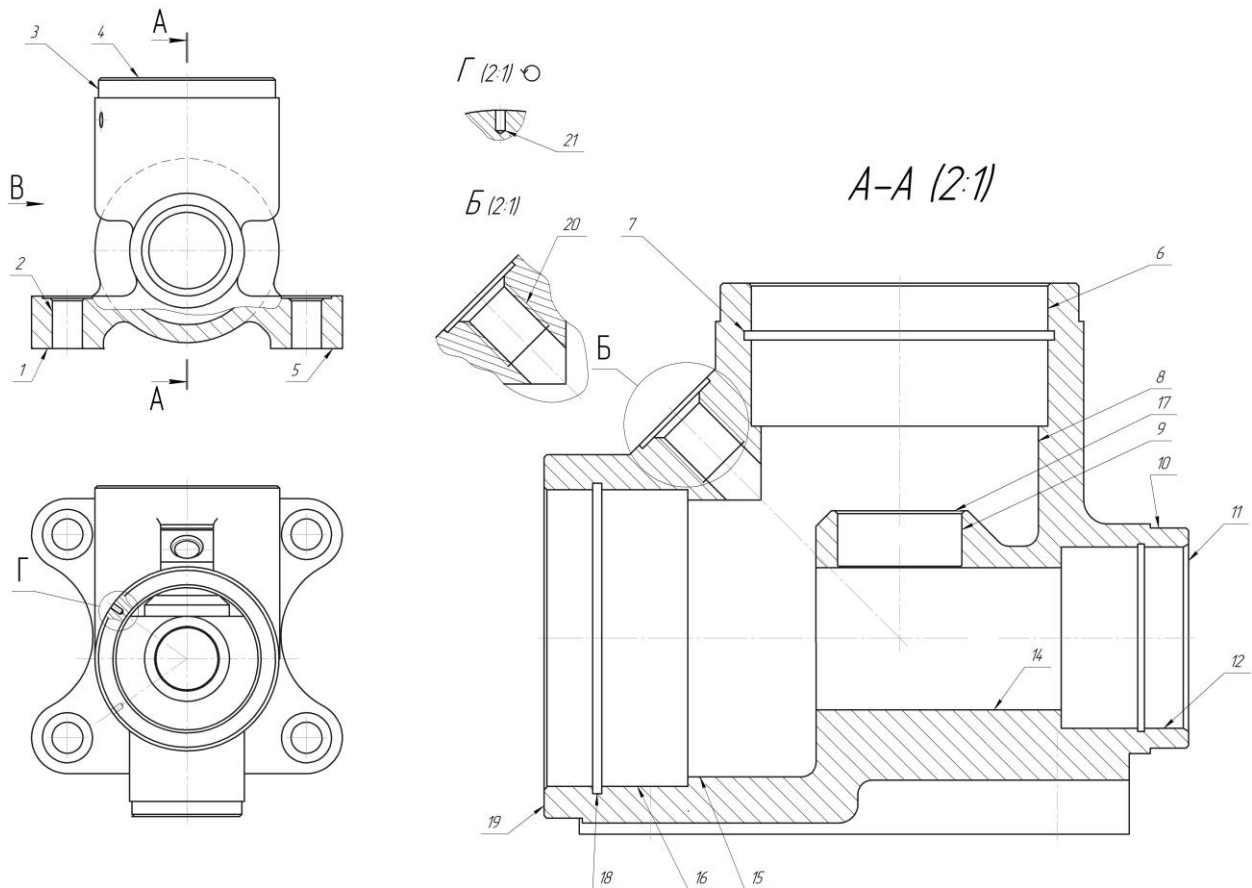


Рис. 1.4. Ескіз деталі корпус УЯИШ.731347.006

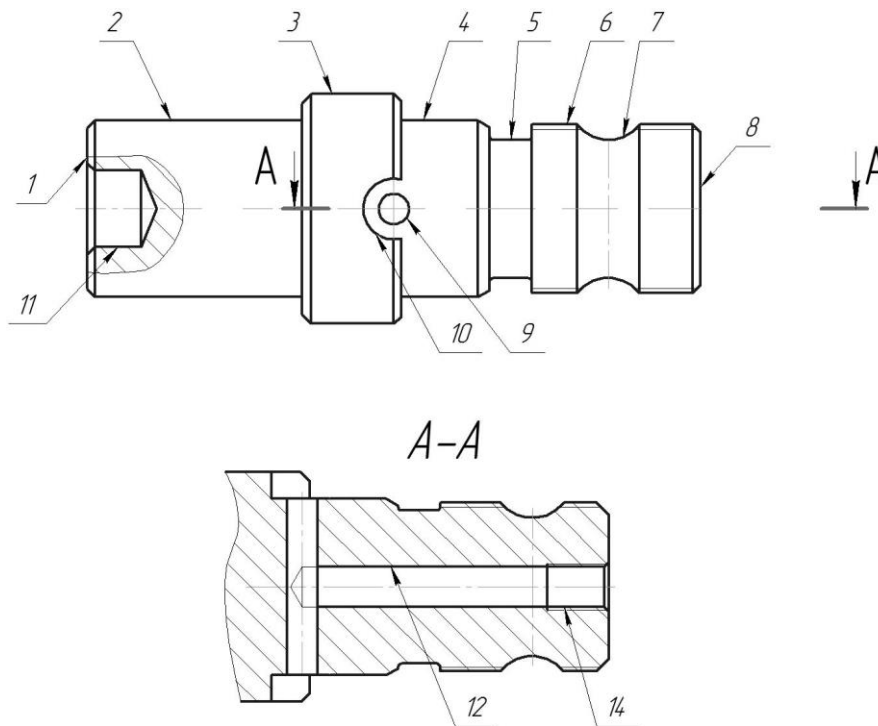


Рис. 1.5. Ескіз деталі вал УЯИШ 716614.019

## 1.2. Визначення типу виробництва

Згідно з ГОСТ 3.1108-74 тип виробництва визначаємо згідно із значенням коефіцієнта закріплення операції  $K_{з.о}$ , який визначається за формулою:

$$K_{з.о} = \frac{Q}{P},$$

де:  $Q$  - кількість різних операцій по базовому технологічному процесу на ділянці протягом прийнятого календарного терміну;

$P$  - кількість робочих місць, які забезпечують виконання операцій базового технологічного процесу при заданій програмі випуску.

Коефіцієнт закріплення операцій ( $K_{з.о}$ ) характеризує ступінь спеціалізації виробництва й визначається як співвідношення загальної кількості різних технологічних операцій, що виконуються у виробничих підрозділах протягом місяця, до кількості робочих місць, на яких ці операції здійснюються. Цей показник відображає рівень концентрації технологічних процесів і використовується для визначення типу виробництва.

Розрахунок типу виробництва здійснено із застосуванням електронно-обчислювальної машини (ЕОМ), що забезпечує високу точність обчислень та автоматизацію обробки даних. Отримані результати розрахунків наведено нижче.

#### Розрахунок типу виробництва деталі корпус:

Розрахунок типу виробництва

Вал УЯИШ. 716614.019

Вихідні дані  
Програма випуску 5500

| Номер операції | Дійсний річний фонд часу роботи обладнання | Штучний час |
|----------------|--------------------------------------------|-------------|
| 5              | 3904                                       | 2.1500      |
| 10             | 3904                                       | 1.5000      |
| 15             | 3904                                       | 1.5200      |
| 20             | 3904                                       | 2.1310      |
| 25             | 3904                                       | 2.1520      |
| 30             | 4060                                       | 3.1010      |
| 35             | 3904                                       | 2.5000      |
| 40             | 3904                                       | 2.3000      |
| 45             | 3904                                       | 4.5800      |
| 50             | 3904                                       | 0.5100      |
| 55             | 3904                                       | 0.7200      |
| 60             | 3904                                       | 0.8100      |
| 65             | 3904                                       | 2.3100      |

#### Результати розрахунку

| Номер операції | Розрахункова кількість верстатів | Прийнята кількість верстатів | Кількість операцій на даному верстаті |
|----------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 5              | 0.0631                           | 1                            | 12.68                                 |
| 10             | 0.0440                           | 1                            | 18.17                                 |
| 15             | 0.0446                           | 1                            | 17.93                                 |
| 20             | 0.0625                           | 1                            | 12.79                                 |
| 25             | 0.0632                           | 1                            | 12.67                                 |
| 30             | 0.0875                           | 1                            | 9.14                                  |
| 35             | 0.0734                           | 1                            | 10.90                                 |
| 40             | 0.0675                           | 1                            | 11.85                                 |
| 45             | 0.1344                           | 1                            | 5.95                                  |
| 50             | 0.0150                           | 1                            | 53.45                                 |
| 55             | 0.0211                           | 1                            | 37.86                                 |
| 60             | 0.0238                           | 1                            | 33.65                                 |
| 65             | 0.0678                           | 1                            | 11.80                                 |

Коефіцієнт закріплення операцій 19.14125

Тип виробництва - середньосерійний

Розрахунок типу виробництва  
Корпус УЯИШ.731347.006

|                                 |                                            |                              |                                       |
|---------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Вихідні дані                    |                                            |                              |                                       |
| Програма випуску 2750           |                                            |                              |                                       |
| Номер операції                  | Дійсний річний фонд часу роботи обладнання | Штучний час                  |                                       |
| 5                               | 4029                                       | 5.1400                       |                                       |
| 10                              | 4029                                       | 2.1000                       |                                       |
| 15                              | 4029                                       | 6.3130                       |                                       |
| 20                              | 4029                                       | 7.1200                       |                                       |
| 25                              | 4029                                       | 5.1610                       |                                       |
| Результати розрахунку           |                                            |                              |                                       |
| Номер операції                  | Розрахункова кількість верстатів           | Прийнята кількість верстатів | Кількість операцій на даному верстаті |
| 5                               | 0.0731                                     | 1                            | 10.95                                 |
| 10                              | 0.0299                                     | 1                            | 26.79                                 |
| 15                              | 0.0898                                     | 1                            | 8.91                                  |
| 20                              | 0.1012                                     | 1                            | 7.90                                  |
| 25                              | 0.0734                                     | 1                            | 10.90                                 |
| Коефіцієнт закріплення операцій |                                            |                              | 13.08997                              |

Тип виробництва - середньосерійний

Згідно з результатами проведених розрахунків, виробництво деталей корпусу та вала належить до середньосерійного типу.

Середньосерійне виробництво займає проміжне положення між дрібносерійним і багатосерійним типами. Для нього характерне виготовлення продукції партіями або серіями, які включають однотипні за конструкцією та однакові за розмірами вироби, що запускаються у виробництво одночасно. Технологічний процес має диференційований характер, тобто розподілений на окремі операції, кожна з яких закріплена за певним верстатом або робочим місцем. При цьому за кожним робочим місцем закріплюється обмежена номенклатура операцій, що сприяє підвищенню стабільності якості та зменшенню простоїв обладнання.

У середньосерійному виробництві застосовується різноманітне технологічне обладнання — універсальне, спеціалізоване, спеціальне, автоматизоване або агрегатне. Верстатний парк формується з урахуванням потреби у гнучкому переході між серіями виробів, які можуть мати незначні конструктивні відмінності. Це дозволяє ефективно адаптувати виробництво до зміни номенклатури продукції.

Під час використання універсальних верстатів широко застосовуються спеціалізовані пристрої, спеціальний різальний інструмент, а також контрольно-вимірювальні засоби у вигляді граничних калібрів і шаблонів, що забезпечують необхідну точність обробки. Використання такого оснащення економічно доцільне, оскільки при повторюваності виробничих циклів воно забезпечує високий техніко-економічний ефект, швидку окупність і стабільну якість продукції.

Рух предметів праці в середньосерійному виробництві має паралельно-послідовний характер, що поєднує високу продуктивність з можливістю контролю на проміжних етапах.

Порівняно з одиничним типом, серійне виробництво є економічно ефективнішим, оскільки завдяки кращому використанню обладнання, вищій спеціалізації робітників і зростанню продуктивності праці досягається зниження собівартості продукції та підвищення загальної ефективності виробничого процесу.

## 2. Технологічна частина

### 2.1. Аналіз точності та технологічності деталі

Для проведення поелементного аналізу точності обробки поверхонь деталей корпусу та вала виконано ескізні зображення зазначених деталей (рисунки 1.4 і 1.5), на яких позначено всі поверхні, що підлягають механічній обробці. Узагальнені результати аналізу точності наведено у таблиці 2.1.

Проведене дослідження показало, що номінальні розміри, граничні відхилення та параметри шорсткості поверхонь деталей корпусу й вала визначені в достатньому обсязі для забезпечення їх повноцінної обробки та подальшого складання. Система нанесення розмірів є комбінованою, поєднуючи елементи координатного та ланцюгового методів, що забезпечує зручність у розрахунках і технологічній реалізації. Номінальні розміри відповідають нормальному ряду чисел, однак окремі граничні відхилення частково виходять за межі прийнятих квалітетів точності, що потребує уточнення на етапі остаточного узгодження креслень.

До найточніших поверхонь корпусу належать:

- отвори 6 і 16  $\varnothing 62$ , Ra 1,25;
- отвір 9  $\varnothing 26$ , Ra 1,25;
- отвір 12  $\varnothing 38$ , Ra 1,25;
- різьба 20 M12 $\times$ 1,5-6H, Ra 3,2.

Для деталі вала найвищу точність мають:

- зовнішня циліндрична поверхня 2  $\varnothing 25$  h7 (–0,021), Ra 1,6;
- зовнішня циліндрична поверхня 3  $\varnothing 30$  m6, Ra 1,25;
- поверхня 4  $\varnothing 23$  h10 (–0,084), Ra 2,5;
- шліцьова поверхня 6  $\varnothing 21,955$  –0,045, Ra 1,6.

Конструктивне виконання деталей забезпечує вільний доступ різального та вимірювального інструментів до оброблюваних і контрольованих поверхонь, що дозволяє застосовувати стандартні методи токарної, свердлильної, розточувальної, шліфувальної та хонінгувальної обробки. Використання типових

ріжучих і контрольно-вимірювальних інструментів гарантує досягнення необхідних показників точності, шорсткості та геометричної стабільності поверхонь відповідно до вимог технічної документації.

Таблиця 2.1

Параметри точності деталей

| Позначення поверхні    | Назва поверхні                 | Розмір з відхиленнями, заданими від даної поверхні | Квалітет точності | Точність відносних поворотів, відстаней, розміщення поверхонь | Точність форми | Шорсткість поверхні | Вагомість поверхні, як конструкторської бази |
|------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------|----------------|---------------------|----------------------------------------------|
| 1                      | 2                              | 3                                                  | 4                 | 5                                                             | 6              | 7                   | 8                                            |
| Корпус УЯИШ.731347.006 |                                |                                                    |                   |                                                               |                |                     |                                              |
| 1,5                    | Площина                        | 115                                                | H14               |                                                               |                | 6,3                 | 3                                            |
| 2                      | Отвір                          | 12,5                                               | H14               | √ Ø0,25◇                                                      |                | 6,3                 | 3                                            |
| 3                      | Зовнішня циліндрична поверхня  | Ø77                                                | H14               |                                                               |                | 6,3                 | 5                                            |
| 4                      | торець                         | 115,2x<br>Ø77                                      | H14               |                                                               |                | 6,3                 | 6                                            |
| 6,16                   | Внутрішня циліндрична поверхня | Ø62 <sup>+0,03</sup>                               | H7                | × T0,06 Д                                                     |                | 1,25                | 1                                            |
| 7,18                   | Канавка                        | Ø65 <sup>+0,04</sup>                               | H14               |                                                               |                | 2,5                 | 3                                            |
| 8,15                   | Внутрішня циліндрична поверхня | Ø58                                                | H14               |                                                               |                | 3,2                 | 5                                            |
| 9                      | Внутрішня циліндрична поверхня | Ø26 <sup>+0,01<br/>-0,02</sup>                     | H14               |                                                               | ┐ Ø0,02        | 1,25                | 2                                            |
| 10                     | Зовнішня циліндрична поверхня  | Ø48                                                | H14               |                                                               |                | 3,2                 | 5                                            |
| 11                     | Торець                         | 73                                                 | H14               |                                                               |                | 3,2                 | 8                                            |
| 12                     | Внутрішня циліндрична поверхня | Ø38 <sup>+0,012<br/>-0,030</sup>                   | H14               |                                                               | ┐ Ø0,1<br>2 Д  | 1,25                | 4                                            |
| 14                     | Внутрішня циліндрична поверхня | Ø32 <sup>+0,42<br/>-0,17</sup>                     | B12               |                                                               |                | 3,2                 | 6                                            |
| 17                     | Торець                         | 17,7 <sup>+0,15</sup>                              |                   |                                                               |                | 6,3                 | 6                                            |
| 19                     | Торець                         | 134,6                                              |                   |                                                               |                | 6,3                 | 8                                            |
| 20                     | Різьбовий отвір                | M12x1,5                                            | 6H                |                                                               |                | 3,2                 | 4                                            |
| 21                     | Отвір                          | Ø2,1                                               | H14               |                                                               |                | 3,2                 | 5                                            |
| Вал УЯИШ 716614.019    |                                |                                                    |                   |                                                               |                |                     |                                              |
| 1,8                    | Торцева                        | 83                                                 | -                 |                                                               |                | 3,2                 | 7                                            |

|    |                                     |                                                               |     |                             |  |      |   |
|----|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------|--|------|---|
| 2  | Зовнішня<br>циліндрична<br>поверхня | $\varnothing 25_{-0,005}$                                     | h7  | $\leftarrow 0,03 \text{ Б}$ |  | 1,6  | 2 |
| 3  | Зовнішня<br>циліндрична<br>поверхня | $\varnothing 30^{+0,021}_{+0,008}$                            | m6  |                             |  | 1,25 | 1 |
| 4  | Зовнішня<br>циліндрична<br>поверхня | $\varnothing 23_{-0,084}$                                     | h10 |                             |  | 0,8  | 3 |
| 5  | Канавка                             | $\varnothing 20$                                              |     |                             |  | 3,2  | 1 |
| 6  | Шліці                               | $\varnothing 22,235$<br>$\varnothing 21,955_{-0,045}$<br>z=48 | h9  | $\leftarrow 0,03 \text{ Б}$ |  | 1,6  | 2 |
| 7  | Канавка                             | $\varnothing 18$                                              | h14 |                             |  | 3,2  | 5 |
| 9  | Отвір                               | $\varnothing 4^{+0,3}$                                        | h14 |                             |  | 3,2  | 6 |
| 10 | Паз                                 | R4                                                            | h14 |                             |  | 3,2  | 5 |
| 10 | Отвір                               | $\varnothing 10^{+0,15}$                                      | h14 |                             |  | 3,2  | 4 |
| 12 | Отвір                               | $\varnothing 4$                                               | h14 |                             |  | 3,2  | 6 |
| 14 | Різьбовий<br>отвір                  | M6x1,0                                                        | 6H  |                             |  | 1.25 | 4 |

Аналіз конструкторської документації на деталі показав, що усі необхідні розміри, геометричні параметри та технічні вимоги визначені в повному обсязі. Встановлені допуски, параметри шорсткості та вимоги до взаємного розташування поверхонь узгоджуються з функціональним призначенням деталей і умовами їх подальшої експлуатації. Разом з тим, виявлено, що окремі квалітети точності подані поза межами нормалізованих рядів, що потребує уточнення під час остаточного погодження технологічної документації.

Деталь корпус УЯИШ.731347.006 характеризується високим рівнем технологічності, який забезпечує можливість застосування продуктивних методів механічної обробки. Конструкція корпусу має достатню жорсткість, що сприяє збереженню геометричної стабільності при фрезеруванні, свердлінні та розточуванні. Завдяки цьому досягається висока точність без ризику виникнення деформацій під час механічного навантаження. Певні технологічні труднощі можуть виникати при обробці похилого різьбового отвору та отворів із підвищеними вимогами до співвісності, що вимагають використання спеціального інструменту. Проте ці особливості не знижують загальної технологічності деталі.

Більшість поверхонь корпусу мають вільний доступ для різального інструменту, що дозволяє використовувати стандартні методи токарної, свердлильної та фрезерної обробки. Поверхні, які не несуть значного функціонального навантаження, обробляються за 14-м квалітетом, що є раціональним з погляду трудомісткості та собівартості. З огляду на сукупність конструктивних та технологічних параметрів, деталь корпус можна вважати придатною до серійного виготовлення із забезпеченням необхідної точності та економічності процесу.

Під час аналізу деталі вал УЯИШ.716614.019 встановлено, що окремі її елементи мають знижену технологічність. Зокрема, свердління отворів на циліндричних поверхнях ускладнене можливим відхиленням осі свердла, що потребує застосування кондукторних втулок для підвищення точності. Використання таких засобів, однак, підвищує трудомісткість і собівартість виготовлення. До технологічно складних елементів належать також пази, шліцьові та фасонні поверхні, що вимагають спеціальних пристосувань або нестандартного інструменту.

Технічні вимоги до виготовлення вала визначено коректно, логічно та відповідно до умов експлуатації. Метод простановки розмірів має комбінований характер, що забезпечує оптимальну взаємозалежність між базовими й функціональними поверхнями. Разом з тим, допуски окремих поверхонь потребують часткового коригування для приведення їх у відповідність до чинних стандартів точності.

Деталь вал виготовляється зі сталі 40Х за ГОСТ 4543-71, що забезпечує необхідну твердість, зносостійкість і стабільність розмірів під час експлуатації. Переважна частина поверхонь має помірні вимоги до точності (H14, h14) та шорсткості (Ra 6,3–3,2), тому їх досягнення не викликає технологічних труднощів.

У цілому, з позиції механічної обробки, деталі корпус УЯИШ.731347.006 та вал УЯИШ.716614.019 є технологічними та придатними до виготовлення стандартними методами на типових верстатах із використанням уніфікованого

ріжучого та вимірювального інструменту. Це дозволяє забезпечити стабільну якість і високу відтворюваність параметрів при серійному виробництві.

## **2.2. Аналіз діючого технологічного процесу**

Аналіз чинного на базовому підприємстві технологічного процесу механічної обробки деталі корпусу УЯИШ.731347.006 показав, що він забезпечує стабільне виготовлення виробу з дотриманням установлених вимог до геометричної точності, шорсткості та якості поверхонь.

Технологічний процес обробки корпусу складається з чотирьох основних операцій, послідовність виконання яких забезпечує досягнення необхідних параметрів точності та чистоти поверхонь. У процесі виготовлення реалізовано принцип єдності технологічних і конструкторських баз, що гарантує точність взаємного розташування функціонально важливих елементів. На кожному етапі — від чорнової до чистової обробки — деталь надійно фіксується у спеціальних пристосуваннях, які забезпечують стабільність положення заготовки та повторюваність результатів обробки.

Обробка корпусу здійснюється на спеціалізованому високопродуктивному обладнанні з використанням індивідуального технологічного оснащення, розробленого безпосередньо для даної деталі. Застосування такого оснащення дозволяє досягти високих показників точності та якості, однак потребує значних витрат часу та ресурсів при переоснащенні верстатів на виготовлення інших деталей, що обмежує гнучкість виробництва.

Для підвищення ефективності процесу обробки доцільним є впровадження верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК) на окремих технологічних операціях. Використання ЧПК дозволить суттєво скоротити час на переналагодження, зменшити кількість допоміжних переходів, стабілізувати точність обробки та забезпечити автоматизований контроль параметрів якості.

Технологічний процес виготовлення деталі вал УЯИШ.716614.019 включає дев'ять технологічних операцій, що охоплюють усі етапи механічної обробки — від чорнової до чистової. Як і у випадку корпусу, під час виготовлення

дотримується принцип єдності технологічних і конструкторських баз. Закріплення заготовки здійснюється у спеціальних пристосуваннях, що забезпечують точне базування за торцевими поверхнями та центрувальними отворами, завдяки чому досягається висока точність позиціонування відносно осі обертання.

У межах удосконалення технологічного процесу передбачено об'єднання токарних операцій 005, 010, 015 і 020 в єдину інтегровану операцію 005, яка виконуватиметься на токарно-фрезерному верстаті з ЧПК Hyundai L150Y. Реалізація такого технічного рішення забезпечить скорочення кількості установок, зменшення часу обробки, підвищення точності взаємного розташування поверхонь та загальне зростання продуктивності праці під час виготовлення деталі.

У підсумку, модернізація технологічних маршрутів із використанням верстатів ЧПК підвищить рівень автоматизації, забезпечить стабільність параметрів якості та створить умови для ефективного переходу підприємства до більш гнучкого типу виробництва.

### 2.3. Вибір заготовки та способу її виготовлення

Метод отримання заготовок для деталей машин визначається їх функціональним призначенням, конструктивними особливостями, видом матеріалу, технічними вимогами та економічною доцільністю виробництва. Вибір раціонального способу виготовлення заготовки потребує комплексного урахування всіх зазначених факторів, оскільки між ними існує тісний взаємозв'язок, що безпосередньо впливає на собівартість, точність та якість готового виробу.

Деталь корпус виготовляється з алюмінієвого сплаву відповідно до вимог ДСТУ 2839-9, який відзначається малою густиною, високою корозійною стійкістю та задовільними механічними характеристиками. Такий матеріал забезпечує оптимальне співвідношення міцності та маси, що є важливим чинником для деталей, які працюють у динамічних умовах і потребують зниження маси без втрати конструкційної жорсткості.

Хімічний склад та механічні властивості матеріалу корпусу наведено у таблицях 2.2 і 2.3, тоді як характеристики матеріалу деталі вал подано у таблицях 2.4 і 2.5. Ці дані є основою для обґрунтованого вибору матеріалу, визначення технологічного маршруту виготовлення заготовки, встановлення режимів механічної обробки та прогнозування експлуатаційних властивостей готового виробу.

Таким чином, правильний вибір матеріалу та способу отримання заготовки є ключовим етапом технологічної підготовки виробництва, що забезпечує досягнення необхідних показників точності, міцності та економічної ефективності виготовлення деталей.

Таблиця 2.2

Хімічний склад матеріалу деталі корпус

| Марка матеріалу     | Вміст елементів, % |       |           |        |         |           |        |         |
|---------------------|--------------------|-------|-----------|--------|---------|-----------|--------|---------|
|                     | Cu                 | Si    | Mn        | Ni     | Mg      | Al        | Fe     | Zn      |
| АК7<br>ДСТУ 2839-94 | 1.5                | 6 – 8 | 0,2 – 0,6 | до 0.3 | 0.2-0.5 | 87.6-93.6 | до 1.3 | до 0, 5 |

Механічні властивості матеріалу деталі корпус

| Марка матеріалу     | Тимчасовий опір розриву, Н/мм <sup>2</sup> | Відносне подовження, % | Твердість НВ не більше |
|---------------------|--------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| АК7<br>ДСТУ 2839-94 | 160 (16)                                   | 1                      | 127-196                |

Алюмінієвий сплав АК7 застосовується для виготовлення деталей складної конфігурації та середнього рівня міцності, що вимагають високої пластичності матеріалу в гарячому стані. Сплав характеризується задовільною корозійною стійкістю, доброю оброблюваністю різанням і стабільними механічними властивостями, що робить його придатним для масового та серійного виробництва.

Відповідно до вихідних даних, отримання заготовки передбачається здійснювати методом лиття. У даному випадку доцільно застосувати спосіб лиття під тиском, передбачений базовим технологічним процесом. Цей метод дозволяє виготовляти заготовки складної геометрії, максимально наближені до форми готової деталі, що знижує витрати на подальшу механічну обробку.

Лиття під тиском переважно використовується для виготовлення заготовок із кольорових металів і сплавів. Метод забезпечує високу продуктивність (до 1000 деталей за годину), точність виготовлення в межах 11–12 квалітету та параметр шорсткості поверхні  $Ra = 25 \dots 12,5$  мкм, що відповідає вимогам до заготовок під подальшу обробку різанням.

Для обґрунтування вибору даного методу отримання заготовки наведемо економічний розрахунок, у якому вартість заготовок, виготовлених литтям під тиском, визначається за наступною формулою:

$$S_{\text{заг}} = \left( \frac{C}{1000} \cdot Q \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_v \cdot k_m \cdot k_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{від}}}{1000}$$

де:  $C$  – базова вартість 1 т заготовок, грн.;

$k_t$ ,  $k_c$ ,  $k_v$ ,  $k_m$ ,  $k_n$  – коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, ваги, марки матеріалу та об'єму виробництва заготовок;

$Q$  – вага заготовки, кг;

$q$  – вага деталі, кг;

Свід – вартість 1 т відходів, грн.

Розраховуємо вартість заготовки, отриманої методом литва під тиском:

$$S_{\text{заг}} = \left( \frac{30600}{1000} * 1.207 * 1 * 0.94 * 0.81 * 1 * 1.098 \right) - (1.207 - 0.872) * \frac{6760}{1000} = 29.34 \text{ грн}$$

Деталь вал - зі сталі 40Х за ГОСТ4543-71.

Таблиця 2.4

## Хімічний склад матеріалу деталі вал

| Марка матеріалу          | Вміст елементів, % |           |         |      |         |        |
|--------------------------|--------------------|-----------|---------|------|---------|--------|
|                          | C                  | Si        | Mn      | Ni   | Cr      | Cu     |
| Сталь 40X<br>ГОСТ4543-71 | 0,36-0,44          | 0,17-0,37 | 0,8-1,1 | 0,03 | 0,8-1,1 | до 0,3 |

Таблиця 2.5

## Механічні властивості матеріалу деталі вал

| Марка матеріалу          | $\delta_T$ | $\delta_B$ | Твердість, HB |
|--------------------------|------------|------------|---------------|
|                          | МПа        | МПа        |               |
| Сталь 40X<br>ГОСТ4543-71 | 780        | 980        | 187...229     |

Сталь 40X належить до легованих конструкційних сталей і застосовується для виготовлення деталей, що працюють в умовах високих швидкостей обертання, середніх і підвищених питомих тисків, а також ударних навантажень. Вона широко використовується у виробництві валів, зубчастих коліс, черв'яків, кулачкових муфт, втулок та інших елементів, які потребують високої поверхневої твердості, зносостійкості, міцності та в'язкості. Наявність хрому в складі сталі сприяє зміцненню структури матеріалу, підвищує його твердість, прокаліюваність і корозійну стійкість, що робить цю сталь придатною для термічної обробки (гартування та відпуску).

Враховуючи конструктивну форму деталі вал і характер її роботи в механізмі, доцільним є отримання заготовки з сортового прокату (прутка). Використання прокату, максимально наближеного до кінцевих розмірів деталі, дозволяє мінімізувати витрати матеріалу та обсяг механічної обробки, забезпечуючи економічність процесу. Круглий сортовий прокат особливо ефективний при виготовленні ступінчастих валів із незначною різницею діаметрів ступенів.

Альтернативним методом може бути штампування, яке забезпечує отримання заготовок складнішої форми з меншими припусками на обробку. Однак цей метод має і недоліки: під час штампування утворюються додаткові відходи матеріалу у вигляді заусенців, що можуть становити 10–30% маси заготовки, а також вимагається дороге штампувальне оснащення.

На основі аналізу конструкторської документації деталі вал УЯИШ.716614.019 і даних довідкових джерел розглядаються два можливі способи отримання заготовки — з сортового прокату та методом штампування. Для визначення найбільш економічно доцільного варіанта буде виконано порівняльний вартісний аналіз обох способів.

Вартість заготовки із сортового прокату розраховується за формулою:

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

де:  $Q$  - маса заготовки;

$S$  - ціна 1 кг матеріалу заготовки;

$q$  - маса деталі;

$S_{відх}$  - вартість 1 т відходів.

$$S_{заг1} = 0,56 \cdot 16,25 - (0,37 - 0,195) \cdot \frac{1700}{1000} = 9 \text{ грн.}$$

Вартість заготовки при штампуванні:

$$S_{заг2} = \left( \frac{1625}{1000} \cdot 0,67 \cdot 1 \cdot 0,78 \cdot 1,29 \cdot 1,27 \cdot 1 \right) - (0,37 - 0,195) \cdot \frac{1700}{1000} = 13,64 \text{ грн.}$$

$$E_3 = (13,64 - 9) \cdot 7500 = 34800 \text{ грн.}$$

Виходячи з цього, остаточно приймаємо метод отримання заготовки деталі вал – сортовий прокат (пруток).

## 2.4. Вибір методів обробки поверхонь деталі

Сучасна теорія технології машинобудування розглядає побудову оптимального технологічного процесу виготовлення деталі як керований пошук раціонального рішення, що враховує широкий спектр конструктивних, функціональних, технологічних, економічних та організаційних факторів і обмежень. Ефективність процесу визначається не лише вибором обладнання чи послідовністю операцій, а й структурою маршрутів обробки поверхонь деталі, які безпосередньо впливають на точність, якість і собівартість виробу.

Підмножину можливих маршрутів обробки визначають на основі вимог до точності, шорсткості оброблюваних поверхонь, а також вихідної точності заготовки. Оптимальний вибір маршруту дозволяє мінімізувати кількість операцій, скоротити міжопераційні похибки та забезпечити стабільність параметрів обробки.

У деталі корпус до багаторазової механічної обробки належать поверхні 6, 9, 12, 14 та 16, для яких виконується розрахунок уточнення розмірів відповідно до вимог точності та геометрії з'єднань.

$$\epsilon_z = \delta_z / \delta_d,$$

де:  $\delta_z$  - допуск на розмір поверхні заготовки, яка підлягає неодноразовій механічній обробці;

$\delta_d$  - допуск на розмір тієї ж поверхні, після її обробки.

Допуск на деталь становить  $\delta_d = 0,03$  мм, а допуск на заготовку  $\delta_z = 1,5$  мм.

Вибираємо два маршрути обробки поверхні.

Перший маршрут відповідає базовому технологічному процесу. Він складається з:

- розточування чорнового  $\delta_1 = 0,46$  мм
- розточування чистового  $\delta_2 = 0,12$  мм
- розточування тонкого  $\delta_3 = 0,03$  мм

Другий маршрут складається з:

- розточування чорнове  $\delta_1 = 0,46$  мм
- розвертання нормальне  $\delta_2 = 0,19$  мм
- розвертання тонке  $\delta_3 = 0,03$  мм

Загальне уточнення  $\epsilon_{zag} = 50$

Розрахунки маршрутів обробки інших поверхонь деталі корпус наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь деталі корпус  
УЯИШ.731347.006

| Позначення поверхні | Допуск на поверхню по кресленню, $\delta_d$ мм | Шорсткість поверхні, $R_a$ мкм | Допуск на заготовку по поверхні, $\delta_z$ мм | Загальне уточнення $\varepsilon_z$ | Можливі технологічні маршрути обробки поверхні |                       | Екон.-ні доп.-ки на проміжні методи обр.-ки | Частинні коефіцієнти уточнення | $P_{\varepsilon_i} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \dots \cdot \varepsilon_i$ |
|---------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     |                                                |                                |                                                |                                    | №                                              | Зміст маршруту        |                                             |                                |                                                                                                             |
| 1                   | 2                                              | 3                              | 4                                              | 5                                  | 6                                              | 7                     | 8                                           | 9                              | 10                                                                                                          |
| 6, 16               | 0,03                                           | 1,25                           | 1,5                                            | 50                                 | 1                                              | Розточування чорнове  | 0,46                                        | 3,26                           | 49,94                                                                                                       |
|                     |                                                |                                |                                                |                                    |                                                | Розточування чистове  | 0,12                                        | 3,83                           |                                                                                                             |
|                     |                                                |                                |                                                |                                    |                                                | Розточування тонке    | 0,03                                        | 4                              |                                                                                                             |
|                     |                                                |                                |                                                |                                    | 2                                              | Розточування чорнове  | 0,46                                        | 3,26                           | 49,75                                                                                                       |
|                     |                                                |                                |                                                |                                    |                                                | Розвертання нормальне | 0,19                                        | 2,41                           |                                                                                                             |
|                     |                                                |                                |                                                |                                    |                                                | Розвертання точне     | 0,03                                        | 6,33                           |                                                                                                             |
| 9                   | 0,03                                           | 1,25                           | 1,5                                            | 50                                 | 1                                              | Зенкерування чорнове  | 0,39                                        | 3,84                           | 49,71                                                                                                       |
|                     |                                                |                                |                                                |                                    |                                                | Розвертання нормальне | 0,16                                        | 2,43                           |                                                                                                             |
|                     |                                                |                                |                                                |                                    |                                                | Розвертання точне     | 0,025                                       | 6,4                            |                                                                                                             |
|                     |                                                |                                |                                                |                                    | 2                                              | Розточування чорнове  | 0,39                                        | 3,84                           | 49,904                                                                                                      |
|                     |                                                |                                |                                                |                                    |                                                | Розточування чистове  | 0,10                                        | 3,9                            |                                                                                                             |
|                     |                                                |                                |                                                |                                    |                                                | Розточування тонке    | 0,025                                       | 4                              |                                                                                                             |
| 12                  | 0,042                                          | 1,25                           | 1,5                                            | 35,71                              | 1                                              | Зенкерування чорнове  | 0,39                                        | 3,84                           | 33,27                                                                                                       |
|                     |                                                |                                |                                                |                                    |                                                | Розвертання нормальне | 0,16                                        | 2,43                           |                                                                                                             |
|                     |                                                |                                |                                                |                                    |                                                | Розвертання точне     | 0,039                                       | 4,102                          |                                                                                                             |
|                     |                                                |                                |                                                |                                    | 2                                              | Розточування чорнове  | 0,25                                        | 6                              | 33,461                                                                                                      |
|                     |                                                |                                |                                                |                                    |                                                | Розточування чистове  | 0,039                                       | 6,41                           |                                                                                                             |

Як видно з розрахунків, для поверхонь 6, 9, 12, 16 оптимальним є маршрут №2, при якому  $\varepsilon_{заг} < P_{\varepsilon_i}$ .

В деталі вал не одноразовій механічній обробці підлягають поверхні 2, 3, 4, 6. Розрахунки маршрутів обробки інших поверхонь деталі ротор наведені в таблиці 2.7.

Таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь деталі вал УЯИШ 716614.019

| Позначення поверхні | Допуск на поверхню по кресленню, $\delta_d$ мм | Шорсткість поверхні $R_a$ мкм | Допуск на заготовку по поверхні, $\delta_z$ мм | Загальне уточнення $\epsilon$ | Можливі технологічні маршрути обробки поверхні |                      | Екон.-ні доп.-ки на проміжні методи обр.-ки | Частинні коефіцієнти уточнення | $P_{\epsilon_i} = \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot \epsilon_3 \cdot \dots \cdot \epsilon_i$ |
|---------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     |                                                |                               |                                                |                               | №                                              | Зміст маршруту       |                                             |                                |                                                                                              |
| 1                   | 2                                              | 3                             | 4                                              | 5                             | 6                                              | 7                    | 8                                           | 9                              | 10                                                                                           |
| 2                   | 0,015                                          | 0,16                          | 2                                              | 133,3                         | 1                                              | Точіння чорнове      | 0,280                                       | 7,14                           | 142,5                                                                                        |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Точіння напівчистове | 0,140                                       | 2                              |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Точіння чистове      | 0,045                                       | 3,11                           |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Точіння алмазне      | 0,021                                       | 2,14                           |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Шліфування читсове   | 0,014                                       | 1,5                            |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               | 2                                              | Точіння чорнове      | 0,28                                        | 7,14                           | 142,5                                                                                        |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Точіння напівчистове | 0,14                                        | 2                              |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Шліфування попереднє | 0,045                                       | 3,11                           |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Шліфування читсове   | 0,014                                       | 3,21                           |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                |                      |                                             |                                |                                                                                              |
| 3                   | 0,013                                          | 1,25                          | 2                                              | 153,8                         | 1                                              | Точіння чорнове      | 0,330                                       | 6,06                           | 153,3                                                                                        |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Точіння напівчистове | 0,130                                       | 2,53                           |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Точіння чистове      | 0,052                                       | 2,5                            |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Точіння алмазне      | 0,013                                       | 4                              |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               | 2                                              | Точіння чорнове      | 0,33                                        | 6,06                           | 152,9                                                                                        |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Точіння напівчистове | 0,13                                        | 2,53                           |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Шліфування попереднє | 0,033                                       | 3,93                           |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Шліфування читсове   | 0,013                                       | 2,53                           |                                                                                              |
| 4                   | 0,084                                          | 0,8                           | 2                                              | 23,8                          | 1                                              | Точіння чорнове      | 0,33                                        | 6,06                           | 23,8                                                                                         |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Точіння чистове      | 0,084                                       | 3,92                           |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               | 2                                              | Точіння чорнове      | 0,33                                        | 6,06                           | 38,4                                                                                         |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Шліфування попереднє | 0,052                                       | 6,34                           |                                                                                              |
| 6                   | 0,045                                          | 1,6                           | 2                                              | 44,4                          | 1                                              | Точіння чорнове      | 0,330                                       | 6,06                           | 60,25                                                                                        |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Точіння напівчистове | 0,130                                       | 2,53                           |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Точіння чистове      | 0,033                                       | 3,93                           |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               | 2                                              | Точіння чорнове      | 0,330                                       | 6,06                           | 60,25                                                                                        |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Точіння напівчистове | 0,130                                       | 2,53                           |                                                                                              |
|                     |                                                |                               |                                                |                               |                                                | Шліфування попереднє | 0,033                                       | 3,93                           |                                                                                              |

Як видно з розрахунків, для всіх поверхонь оптимальним є маршрут №1, при якому  $\epsilon_{\text{заг}} < P_{\epsilon_i}$ .

## 2.5. Розробка маршрутів виготовлення деталі

Маршрут механічної обробки деталі ват та корпус формується з урахуванням обраних маршрутів обробки окремих поверхонь, типу виробництва, технологічних можливостей наявного металорізального обладнання, а також технічних вимог і розмірних зв'язків, зазначених на робочому кресленні деталі. При цьому дотримується принцип узгодженості конструкторських і технологічних баз, що забезпечує точність взаємного розташування поверхонь і стабільність геометричних параметрів виробу.

Побудова маршруту передбачає визначення оптимальної послідовності технологічних операцій, добір верстатів і пристосувань, що гарантують досягнення заданих показників точності, шорсткості та взаємозамінності. Зміст маршруту подається у вигляді послідовного переліку технологічних операцій із зазначенням типу використовуваного обладнання та коротким описом основних переходів, які забезпечують поетапне формування поверхонь деталі.

Розроблені маршрути механічної обробки деталі рейка-поршень представлено в таблиці 2.8, де наведено перелік операцій, їх технологічну послідовність, типи верстатів, інструментів та допоміжного оснащення, що використовуються при виготовленні деталі. Розроблені маршрути обробки наведено в таблиці 2.8.

**Таблиця 2.8**

**Таблиця технологічних маршрутів обробки деталей**

| Маршрутний технологічний процес                                                                                                              |                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| базовий                                                                                                                                      | проектуючий                                                                                                                                  |
| 1                                                                                                                                            | 2                                                                                                                                            |
| Корпус УЯИШ.731347.006                                                                                                                       |                                                                                                                                              |
| 001 Транспортна Електрокар<br>Транспортувати заготовки на ділянку механічної обробки                                                         | 001 Транспортна Електрокар<br>Транспортувати заготовки на ділянку механічної обробки                                                         |
| 005 Фрезерна з ЧПУ<br>ГФ2171С5 Спеціальний фрезерний<br>Фрезерувати поверхню, свердлити послідовно 4 отвори, розгорнути 4 отвори послідовно. | 005 Фрезерна з ЧПУ<br>ГФ2171С5 Спеціальний фрезерний<br>Фрезерувати поверхню, свердлити послідовно 4 отвори, розгорнути 4 отвори послідовно. |

|                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 010 Фрезерна з ЧПУ<br>ГФ2171С5 Спеціальний фрезерний<br>Цекувати 4 банки послідовно, зенкувати 4<br>фаски послідовно.                                                                                                                                 | 010 Фрезерна з ЧПУ<br>ГФ2171С5 Спеціальний фрезерний<br>Цекувати 4 банки послідовно, зенкувати 4<br>фаски послідовно.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 015 Фрезерна з ЧПУ<br>ГФ2171С5 Спеціальний фрезерний<br>Фрезерувати поверхню, фрезерувати<br>циліндричну поверхню, фрезерувати дно<br>колодця по контуру, розточити отвір,<br>фрезерувати кільцеву канавку, зенкувати<br>зовнішню та внутрішню фаску. | 015 Комплексна з ЧПУ<br>HYUNDAI WIA HS4000 Обробний центр з<br>ЧПУ<br>Позиція 1<br>Фрезерувати поверхню, фрезерувати<br>циліндричну поверхню, фрезерувати дно<br>колодця по контуру, розточити отвір<br>начорно і начисто, фрезерувати кільцеву<br>канавку, зенкувати зовнішню та<br>внутрішню фаску<br>Позиція 2<br>Фрезерувати поверхню, фрезерувати дно<br>колодця по контуру, розточити отвір<br>начорно і начисто, свердлити отвір на<br>прохід, фрезерувати кільцеву канву,<br>зенкувати фаску |
| 020 Фрезерна з ЧПУ<br>ГФ2171С5 Спеціальний фрезерний<br>Фрезерувати поверхню, фрезерувати дно<br>колодця по контуру, розточити отвір<br>начорно і начисто, свердлити отвір на<br>прохід, фрезерувати кільцеву канву,<br>зенкувати фаску               | 020 Фрезерна з ЧПУ<br>ГФ2171С5 Спеціальний фрезерний<br>Центрувати отвір, цекувати банку,<br>свердлити отвір на прохід, зенкувати<br>фаску, нарізати різьбу.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 025 Фрезерна з ЧПУ<br>ГФ2171С5 Спеціальний фрезерний<br>Центрувати отвір, цекувати банку,<br>свердлити отвір на прохід, зенкувати фаску,<br>нарізати різьбу.                                                                                          | 025 Фрезерна з ЧПУ<br>ГФ2171С5 Спеціальний фрезерний<br>Фрезерувати поверхню, фрезерувати<br>циліндричну поверхню, розточити отвір<br>попередньо та начисто, фрезерувати<br>кільцеву канавку, зенкувати зовнішню та<br>внутрішню фаску.                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 030 Фрезерна з ЧПУ<br>ГФ2171С5 Спеціальний фрезерний<br>Фрезерувати поверхню, фрезерувати<br>циліндричну поверхню, розточити отвір<br>попередньо та начисто, фрезерувати<br>кільцеву канавку, зенкувати зовнішню та<br>внутрішню фаску.               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 035 Транспортна<br>Електрокар<br>Транспортувати деталі на дільницю зборки                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Вал УЯИШ 716614.019                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 001 Транспортна<br>Електрокар<br>Транспортувати пруток на дільницю<br>механічної обробки                                                                                                                                                              | 001 Транспортна<br>Електрокар<br>Транспортувати пруток на дільницю<br>механічної обробки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 005 Відрізна<br>BS-250-SSV Відрізний<br>Відрізати заготовку.                                                                                                                                                                                          | 005 Відрізна<br>BS-250-SSV Відрізний<br>Відрізати заготовку.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|                                                                                                                                   |                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 010 Токарна<br>1ИС611В токарно-гвинторізний<br>Точити торець, свердлити центрувальний отвір                                       | 010 Токарна з ЧПУ<br>HYUNDAI L150Y<br>Точити торець, свердлити центрувальний отвір, точити зовнішні циліндричні поверхні і канавку           |
| 015 Токарна<br>1ИС611В токарно-гвинторізний<br>Точити торець, свердлити центрувальний отвір, точити зовнішню циліндричну поверхню | 015 Токарна з ЧПУ<br>HYUNDAI L150Y<br>Точити торець, свердлити центрувальний отвір, точити зовнішню циліндричну поверхню і сферичну канавку. |
| 020 Токарна<br>1ИС611В токарно-гвинторізний<br>Точити зовнішні циліндричні поверхні і канавку.                                    | 020 Фрезерна з ЧПУ<br>ГФ2171С5 Спеціальний фрезерний<br>Фрезерувати паз                                                                      |
| 025 Токарна<br>1ИС611В токарно-гвинторізний<br>Точити зовнішні циліндричні поверхні і сферичну канавку.                           | 025 Свердлильна<br>2Н135 Вертикально-свердлильний<br>Свердлити отвір                                                                         |
| 030 Фрезерна з ЧПУ<br>ГФ2171С5 Спеціальний фрезерний<br>Фрезерувати паз з двох сторін, свердлити отвір наскрізь.                  | 030 Свердлильна<br>2Н135 Вертикально-свердлильний<br>Нарізати різьбу                                                                         |
| 035 Свердлильна<br>2Н135 Вертикально-свердлильний<br>Свердлити отвір                                                              | 035 Шліцефрезерна<br>5К301П Шліцефрезерний<br>Фрезерувати шліці.                                                                             |
| 040 Свердлильна<br>2Н135 Вертикально-свердлильний<br>Нарізати різьбу                                                              | 040 Круглошліфувальна<br>3У12АФ11 Круглошліфувальний<br>Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню                                              |
| 045 Шліцефрезерна<br>5К301П Шліцефрезерний<br>Фрезерувати шліці.                                                                  | 045 Круглошліфувальна<br>3У12АФ11 Круглошліфувальний<br>Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню                                              |
| 050 Круглошліфувальна<br>3У12АФ11 Круглошліфувальний<br>Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню                                   | 050 Круглошліфувальна<br>3У12АФ11 Круглошліфувальний<br>Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню                                              |
| 055 Круглошліфувальна<br>3У12АФ11 Круглошліфувальний<br>Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню                                   | 055 Токарна<br>1ИС611В токарно-гвинторізний<br>Свердлити отвір                                                                               |
| 060 Круглошліфувальна<br>3У12АФ11 Круглошліфувальний<br>Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню                                   | 060 Транспортна<br>Електрокар<br>Транспортувати деталі на дільницю зборки                                                                    |
| 065 Токарна<br>1ИС611В токарно-гвинторізний<br>Свердлити отвір                                                                    |                                                                                                                                              |
| 070 Транспортна<br>Електрокар<br>Транспортувати деталі на дільницю зборки                                                         |                                                                                                                                              |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 035 Плоскошліфувальна<br>3E711 Плоскошліфувальний<br>Шліфувати торець.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 040 Свердлильна<br>2Н135 Свердлильний<br>Свердлити отвір на прохід, розсвердлити<br>отвір на прохід, розсвердлити отвір.                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 045 Токарна з ЧПУ<br>16А20Ф3 Токарний з ЧПУ<br>Розточити отвір, розточити канавку,<br>розточити виточки, точити фаску.                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 050 Відрізна<br>BS-250-SSV Відрізний<br>Вирізати уступ.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 015 Відрізна<br>BS-250-SSV Відрізний<br>Вирізати уступ.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 055 Фрезерна з ЧПУ<br>6Т13Ф3 Фрезерний з ЧПУ<br>Фрезерувати поверхню.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 020 Фрезерна з ЧПУ<br>6Т13Ф3 Фрезерний з ЧПУ<br>Фрезерувати поверхню.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 060 Фрезерна з ЧПУ<br>6Т13Ф3 Фрезерний з ЧПУ<br>Фрезерувати ступінчасту поверхню.                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 025 Фрезерна з ЧПУ<br>6Т13Ф3 Фрезерний з ЧПУ<br>Фрезерувати ступінчасту поверхню.                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 065 Фрезерна з ЧПУ<br>6Т13Ф3 Фрезерний з ЧПУ<br>Фрезерувати похилу поверхню.                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 030 Фрезерна з ЧПУ<br>6Т13Ф3 Фрезерний з ЧПУ<br>Фрезерувати похилу поверхню.                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 070 Фрезерна з ЧПУ<br>ГФ2171С5 Фрезерний з ЧПУ<br>Фрезерувати три впадини зубчастої рейки<br>(попередньо, кінцево).                                                                                                                                                                                                                                                                    | 035 Фрезерна з ЧПУ<br>ГФ2171С5 Фрезерний з ЧПУ<br>Фрезерувати три впадини зубчастої<br>рейки (попередньо, кінцево).                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 075 Фрезерна<br>ОММ67 Фрезерний<br>Фрезерувати паз.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 040 Фрезерна<br>ОММ67 Фрезерний<br>Фрезерувати паз.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 080 Токарна з ЧПУ<br>16А20Ф3 Токарний з ЧПУ<br>Розточити отвір на прохід, розточити<br>виточку, точити зовнішню канавку.                                                                                                                                                                                                                                                               | 045 Токарна з ЧПУ<br>16А20Ф3 Токарний з ЧПУ<br>Розточити отвір на прохід, розточити<br>виточку, точити зовнішню канавку.                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 085 Фрезерна з ЧПУ<br>6Т13Ф3 Фрезерний з ЧПУ<br>Розточити отвір.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 050 Фрезерна з ЧПУ<br>6Т13Ф3 Фрезерний з ЧПУ<br>Розточити отвір.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 090 Фрезерна з ЧПУ<br>ИС-500 ПМФ3 Фрезерний обробний центр<br>з ЧПУ<br>Свердлити, зенкерувати та розвернути<br>два отвори на прохід послідовно з<br>поворотом деталі. Розсвердлити,<br>зенкерувати, розсвердлити два отвори<br>послідовно з поворотом деталі. Нарізати<br>різьбу в двох отворах послідовно з<br>поворотом деталі. Фрезерувати 2 паза<br>послідовно з поворотом деталі. | 055 Фрезерна з ЧПУ<br>ИС-500 ПМФ3 Фрезерний обробний<br>центр з ЧПУ<br>Свердлити, зенкерувати та розвернути<br>два отвори на прохід послідовно з<br>поворотом деталі. Розсвердлити,<br>зенкерувати, розсвердлити два отвори<br>послідовно з поворотом деталі. Нарізати<br>різьбу в двох отворах послідовно з<br>поворотом деталі. Фрезерувати 2 паза<br>послідовно з поворотом деталі. |

|                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 095 Свердлильна<br>2Н135 Свердлильний<br>Свердлити отвір а прохід з двох сторін.<br>Зенкувати дві фаски з поворотом деталі.<br>Цекувати два заглиблення з поворотом деталі. | 060 Свердлильна<br>2Н135 Свердлильний<br>Свердлити отвір а прохід з двох сторін.<br>Зенкувати дві фаски з поворотом деталі.<br>Цекувати два заглиблення з поворотом деталі. |
| 100 Свердлильна<br>2Н135 Свердлильний<br>Нарізати різьбу з двох сторін послідовно.                                                                                          | 065 Свердлильна<br>2Н135 Свердлильний<br>Нарізати різьбу з двох сторін послідовно.                                                                                          |
| 105 Плоскошліфувальна<br>3Е711В Плоскошліфувальний<br>Шліфувати торець.                                                                                                     | 070 Плоскошліфувальна<br>3Е711В Плоскошліфувальний<br>Шліфувати торець.                                                                                                     |
| 110 Внутрішньошліфувальна з ЧПУ<br>3М227ВФ2 Внутрішньошліфувальний з ЧПУ<br>Шліфувати отвір на прохід, шліфувати отвір, шліфувати торець.                                   | 075 Внутрішньошліфувальна з ЧПУ<br>3М227ВФ2 Внутрішньошліфувальний з ЧПУ<br>Шліфувати отвір на прохід, шліфувати отвір, шліфувати торець.                                   |
| 115 Круглошліфувальна напівавтоматна<br>3М151В Круглошліфувальний напівавтомат<br>Шліфувати зовнішній діаметр.                                                              | 080 Круглошліфувальна напівавтоматна<br>3М151В Круглошліфувальний напівавтомат<br>Шліфувати зовнішній діаметр.                                                              |
| 120 Плоскошліфувальна<br>3Е711В Плоскошліфувальний<br>Шліфувати торець.                                                                                                     | 085 Плоскошліфувальна<br>3Е711В Плоскошліфувальний<br>Шліфувати торець.                                                                                                     |
| 125 Плоскошліфувальна з ЧПУ<br>ОШ-620.5 Ф3 Плоскошліфувальний з ЧПУ<br>Шліфувати профіль зубців.                                                                            | 090 Плоскошліфувальна з ЧПУ<br>ОШ-620.5 Ф3 Плоскошліфувальний з ЧПУ<br>Шліфувати профіль зубців.                                                                            |
| 130 Координатно-шліфувальна<br>3283 Координатно-шліфувальний<br>Шліфувати канавку.                                                                                          | 095 Координатно-шліфувальна<br>3283 Координатно-шліфувальний<br>Шліфувати канавку.                                                                                          |
| 135 Універсально-заточна<br>3М642 Універсально-заточний<br>Полірувати 2 радіуси.                                                                                            | 100 Універсально-заточна<br>3М642 Універсально-заточний<br>Полірувати 2 радіуси.                                                                                            |
| 140 Промивка<br>ГМ752 Миюча машина<br>Промити деталь                                                                                                                        | 105 Промивка<br>ГМ752 Миюча машина<br>Промити деталь                                                                                                                        |
| 145 Контрольна<br>Стіл контролера<br>Перевірити розміри                                                                                                                     | 110 Контрольна<br>Стіл контролера<br>Перевірити розміри                                                                                                                     |
| 150 Транспортна<br>Електрокар<br>Транспортувати деталі на дільницю зборки                                                                                                   | 115 Транспортна<br>Електрокар<br>Транспортувати деталі на дільницю зборки                                                                                                   |

## 2.6. Вибір технологічних баз

Вибір раціональної схеми базування деталі під час механічної обробки є ключовим фактором для забезпечення технічних вимог, що висуваються до неї. Схема базування заготовки на верстатах повинна відповідати низці фундаментальних вимог: достатня жорсткість встановлення заготовки для уникнення вібрацій та деформацій; задана точність орієнтації деталі у технологічному пристрої відносно інструменту; надійність закріплення протягом усього циклу обробки. Вибір технологічних баз є послідовним процесом, що починається з визначення чорнової бази — базової поверхні, що використовується на першій операції технологічного процесу.

Головне призначення чорнової бази — забезпечити отримання точних чистових технологічних баз, які будуть використовуватися на наступних операціях. При виборі чорнової бази керуються критерієм забезпечення найбільш рівномірного зняття припуску з найточніших та найважливіших поверхонь деталі. Під час проєктування технологічного процесу необхідно дотримуватись принципу суміщення баз (намагатися поєднати конструкторські, вимірювальні та технологічні бази) та принципу постійності баз (використовувати один і той самий комплект баз для максимальної кількості операцій). У випадку вимушеної зміни баз, перехід має здійснюватися від менш точної базової поверхні до більш точної.

Нижче наведено приклади вибору баз для конкретних деталей та операцій. Для деталі типу «Корпус»: Операція 005 – установча база – отвір 6; направляюча база – отвір 16; опорна база – отвір 12 (згідно з рис. 1.4); Операції 010 та 015 – установча база – площина 5; направляюча та опорна бази – отвори 2; Операція 020 – бази – торець великої та меншої бонок, 2 отвори; Операція 025 – базові поверхні – отвір та вісь; Операція 030 – базові поверхні – торці бонок 4, 19 та отвори 2.

Для деталі типу «Вал»: Операції 005, 010, 015 – базові поверхні – зовнішня циліндрична та торцева поверхні; Операція 020 – базові поверхні – торець, центрувальні отвори, зовнішня циліндрична поверхня; Операція 025 – базові поверхні – торець та центрувальні отвори; Операції 030, 035, 040 – базові поверхні – торець, центрувальні отвори, установчий паз; Операція 045 – базові поверхні – торцева поверхня та вісь деталі; Операції 050, 055, 060 – базові поверхні – торець, отвір, зовнішня циліндрична поверхня.

## **2.7. Розробка структури технологічних операцій і вибір обладнання для їх здійснення**

Структура та зміст технологічних операцій для деталі корпус та вал наведені в таблиці 2.9. та таблиці 2.10.

Вибір типу та моделі металорізального обладнання здійснюється відповідно до обраних методів обробки поверхонь, вимог до точності, шорсткості та типу виробництва, із урахуванням габаритів і маси заготовки. При цьому враховується необхідність забезпечення стабільності розмірів, зручності базування та ефективності виконання технологічних переходів.

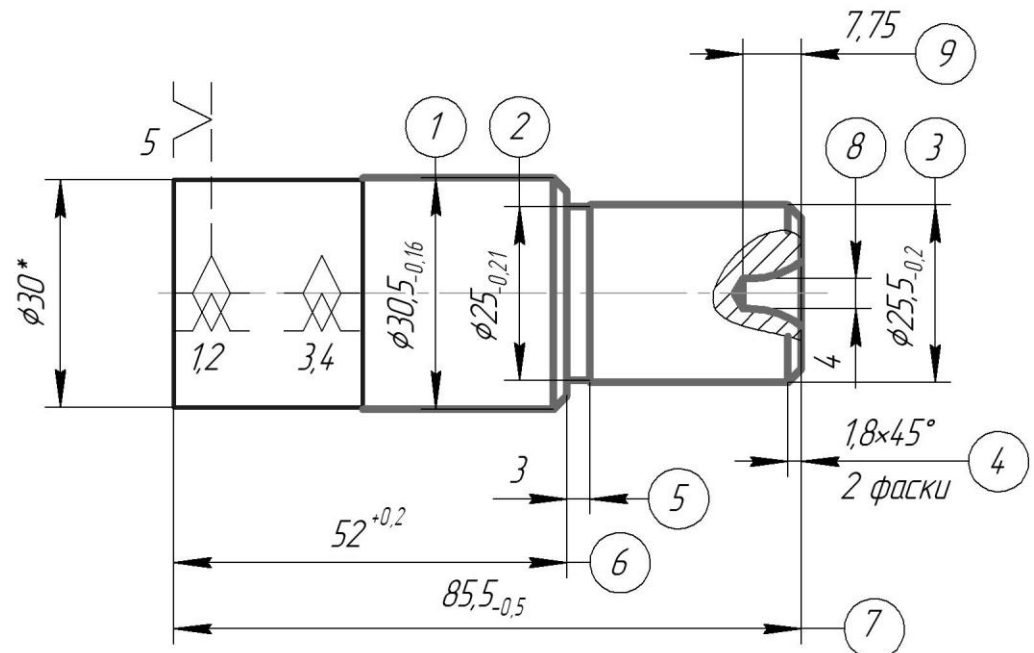
Моделі верстатів і їх основні технічні характеристики добираються за даними спеціалізованих каталогів і довідників, що гарантує відповідність обраного обладнання вимогам до потужності, точності, діапазону обертів шпинделя, розмірів робочої зони та продуктивності. Такий підхід дозволяє забезпечити оптимальне поєднання технічних і економічних показників процесу механічної обробки.

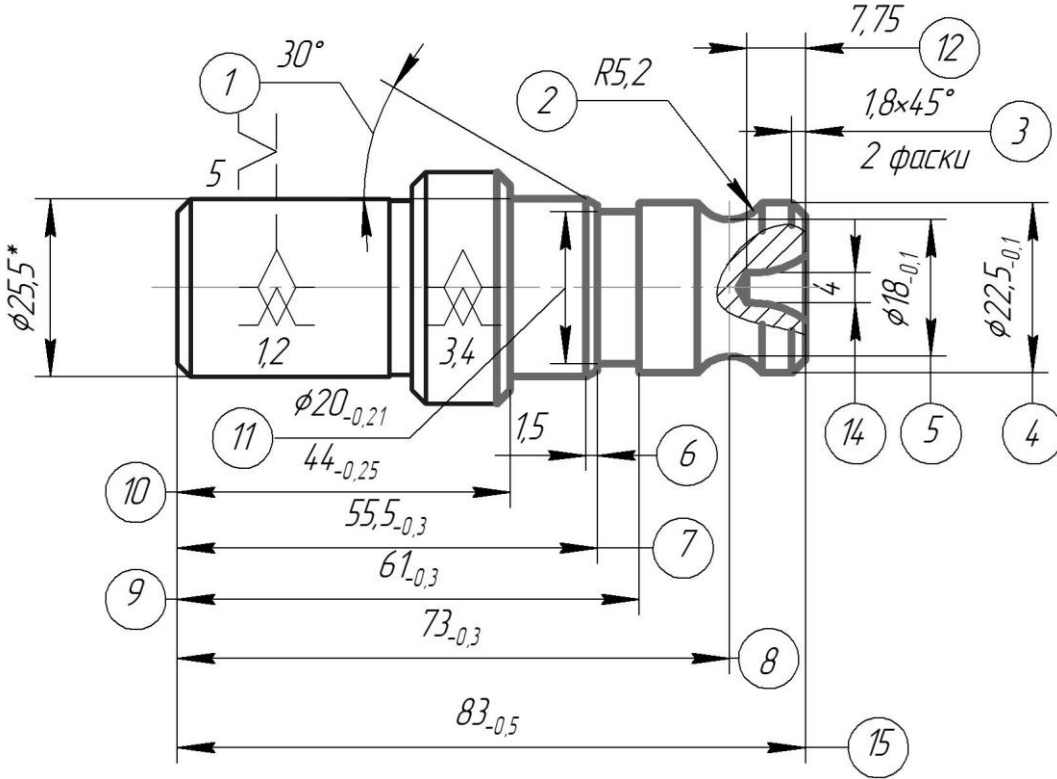
Вибрані верстати наведені у таблиці 2.11.

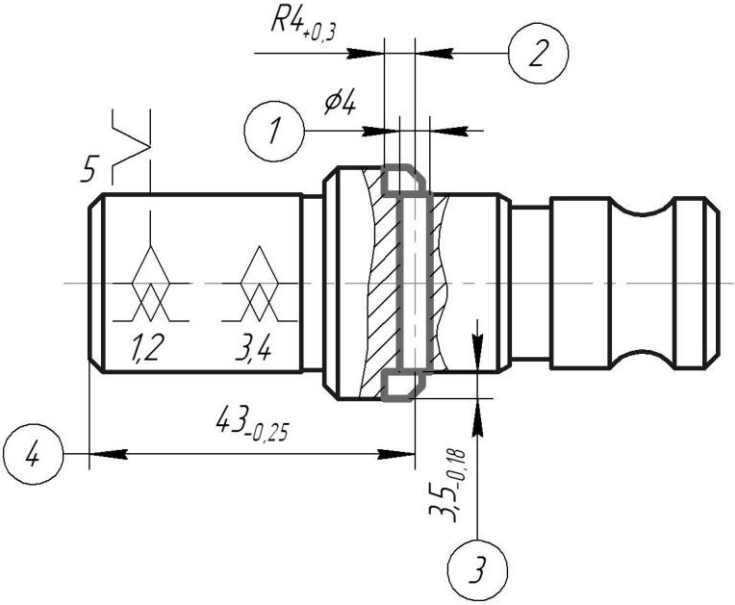
Таблиця 2.9

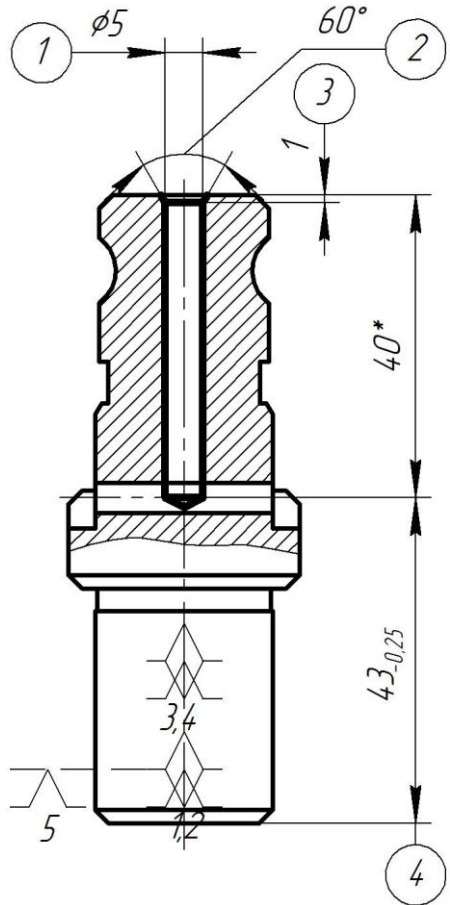
## Структура та зміст технологічних операцій обробки Вал УЯИШ 716614.019

| № та назва операції | Модель верстату, назва  | Операційний ескіз             | Зміст операції                                                                                                                         |
|---------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                   | 2                       | 3                             | 4                                                                                                                                      |
| 005 Відрізна        | BS-250-SSV<br>Відрізний | <p>1 * Размер для справок</p> | <p>1. Встановити та закріпити пруток.</p> <p>2. Відрізати заготовку, витримуючи розмір 1.</p> <p>3. Відкріпити та зняти заготовку.</p> |

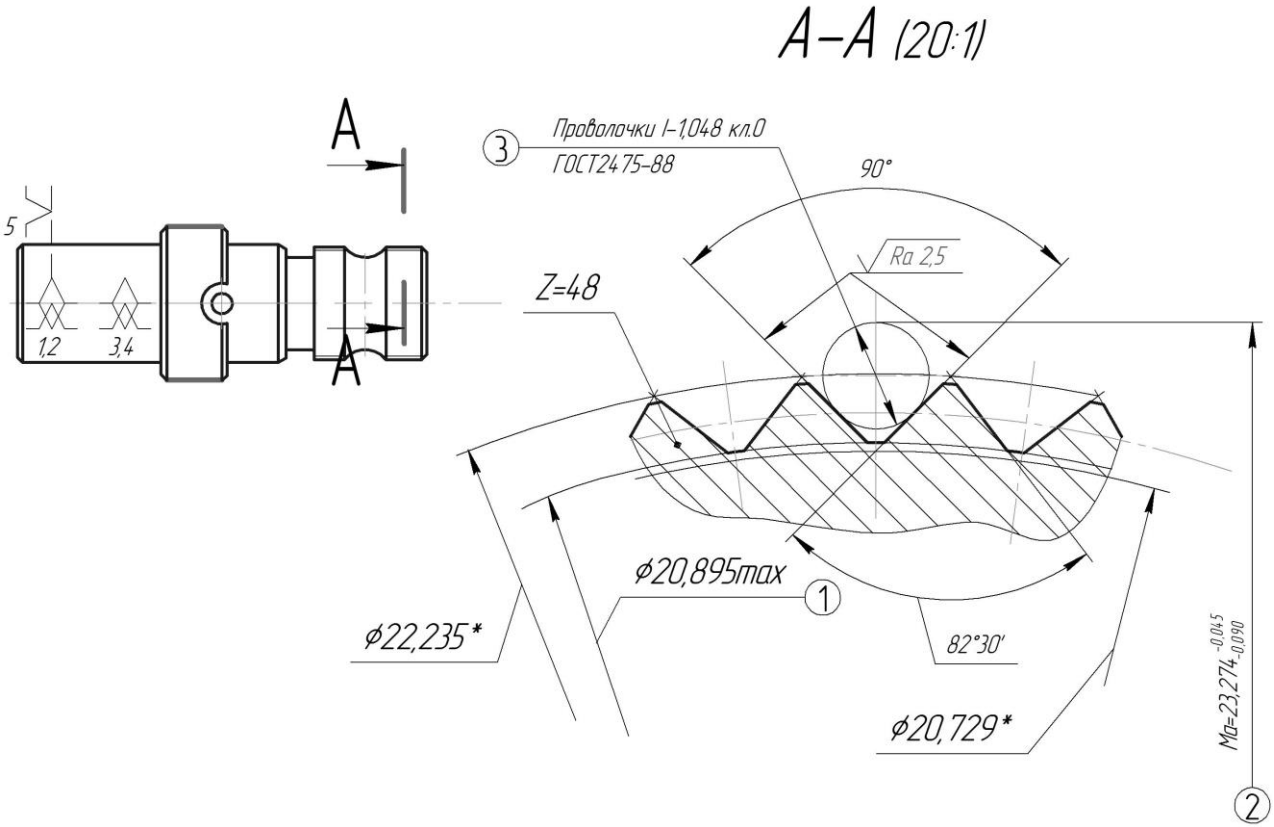
| 1                 | 2                               | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 010 Токарна з ЧПУ | HYUNDAI L150Y<br>Токарний з ЧПУ |  <p>The drawing shows a mechanical part with the following dimensions and features:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Overall length: 85,5<sub>-0,5</sub></li> <li>Overall diameter: <math>\phi 30^*</math></li> <li>Section 1: Length 12, diameter <math>\phi 30_{+0,16}^{0,16}</math></li> <li>Section 2: Length 3, diameter <math>\phi 25_{-0,21}^{0,21}</math></li> <li>Section 3: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 4: Length 7,75, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 5: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 6: Length 52<sup>+0,2</sup>, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 7: Length 7, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 8: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 9: Length 7,75, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 10: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 11: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 12: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 13: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 14: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 15: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 16: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 17: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 18: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 19: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 20: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 21: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 22: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 23: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 24: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 25: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 26: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 27: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 28: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 29: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 30: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 31: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 32: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 33: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 34: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 35: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 36: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 37: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 38: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 39: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 40: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 41: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 42: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 43: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 44: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 45: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 46: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 47: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 48: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 49: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 50: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 51: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 52: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 53: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 54: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 55: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 56: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 57: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 58: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 59: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 60: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 61: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 62: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 63: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 64: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 65: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 66: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 67: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 68: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 69: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 70: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 71: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 72: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 73: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 74: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 75: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 76: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 77: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 78: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 79: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 80: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 81: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 82: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 83: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 84: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 85: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 86: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 87: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 88: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 89: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 90: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 91: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 92: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 93: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 94: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 95: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 96: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 97: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 98: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 99: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> <li>Section 100: Length 3, diameter <math>\phi 25_{+0,02}^{0,02}</math></li> </ul> | <p>1. Встановити та закріпити заготовку.</p> <p>2. Точити торець, витримуючи розмір 7.</p> <p>3. Свердлити центрувальний отвір, витримуючи розмір 8,9.</p> <p>4. Точити зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри 3, 6.</p> <p>5. Точити зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри 1, 6.</p> <p>6. Точити канавку витримуючи розмір 2,5.</p> <p>7. Відкріпити та зняти деталь.</p> |

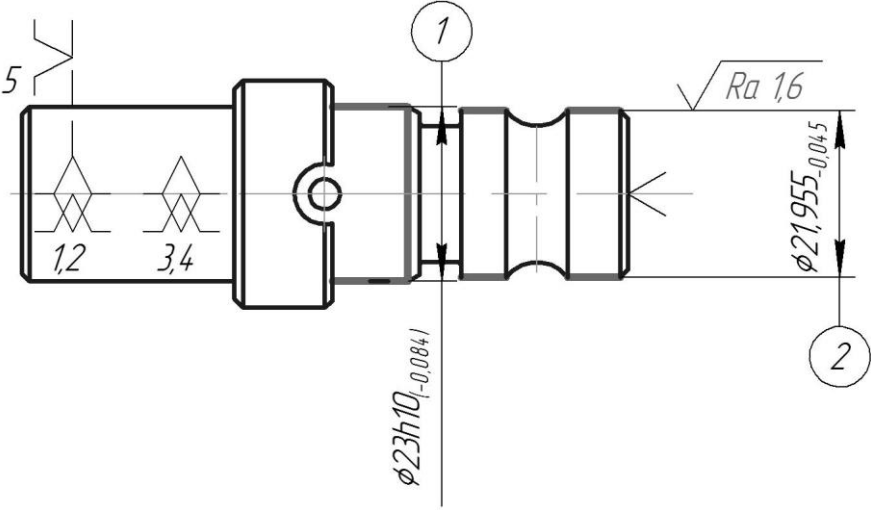
| 1                 | 2                               | 3                                                                                   | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 015 Токарна з ЧПУ | HYUNDAI L150Y<br>Токарний з ЧПУ |  | <p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Точити торець, витримуючи розмір 15.</p> <p>3. Свердлити центрувальний отвір, витримуючи розмір 12,14.</p> <p>4. Точити зовнішню циліндричну поверхню та фаски витримуючи розміри 3,4,10.</p> <p>5. Точити радіусну канавку, витримуючи розміри 2, 5, 8</p> <p>6. Точити канавку та фаску витримуючи розміри 1,6,7,9,11.</p> <p>7. Відкріпити та зняти деталь.</p> |

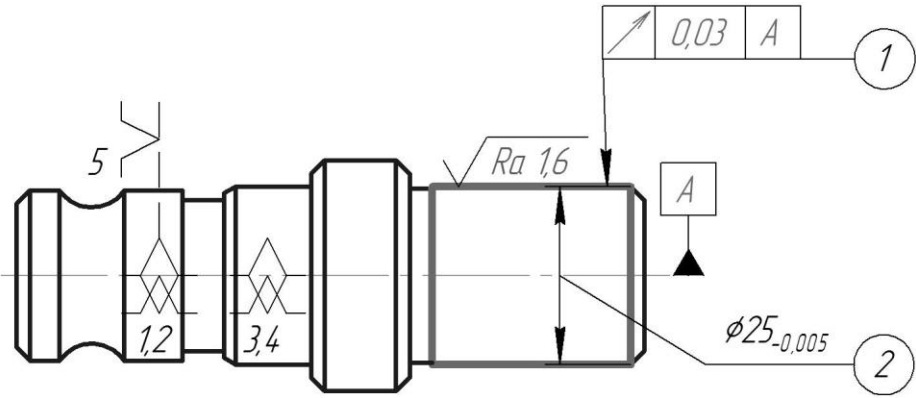
| 1                  | 2                                 | 3                                                                                   | 4                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 020 Фрезерна з ЧПУ | ГФ2171С5<br>Спеціальний фрезерний |  | <p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Свердлити отвір наскрізь витримуючи розмір 1,4.</p> <p>3. Фрезерувати пази послідовно з двох сторін витримуючи розмір 2,3.</p> <p>4. Відкріпити та зняти деталь.</p> |

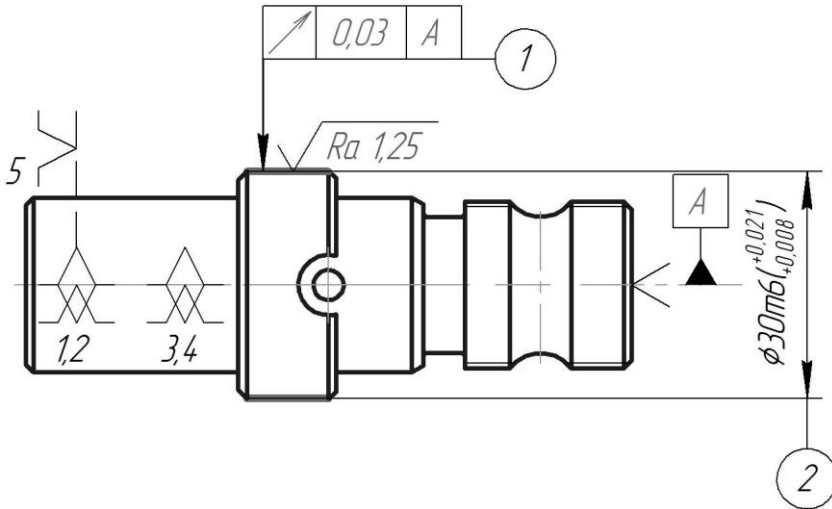
| 1               | 2                                | 3                                                                                   | 4                                                                                                                                                                                   |
|-----------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 025 Свердлильна | 2Н135<br>Вертикально-свердильний |  | <p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Свердлити отвір витримуючи розміри 1,4.</p> <p>3. Зенкувати фаску витримуючи розміри 2,3.</p> <p>4. Відкріпити та зняти деталь.</p> |

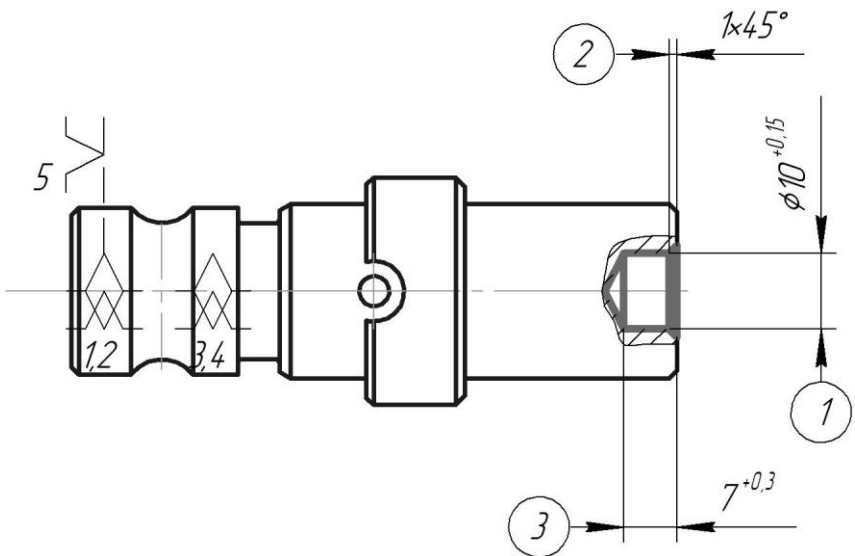


| 1                 | 2                        | 3                                                                                   | 4                                                                                                                                        |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 035 Шліцефрезерна | 5K301П<br>Шліцефрезерний |  | <p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Фрезерувати шліці, витримуючи розміри 1, 2, 3.</p> <p>3. Відкріпити та зняти деталь.</p> |

| 1                     | 2                              | 3                                                                                  | 4                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 040 Круглошліфувальна | ЗУ12АФ11<br>Круглошліфувальний |  | <p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розмір 1.</p> <p>3. Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розмір 2.</p> <p>4. Відкріпити та зняти деталь.</p> |

| 1                     | 2                              | 3                                                                                  | 4                                                                                                                                                                 |
|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 045 Круглошліфувальна | ЗУ12АФ11<br>Круглошліфувальний |  | <p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розмір 2, допуск 1.</p> <p>3. Відкріпити та зняти деталь.</p> |

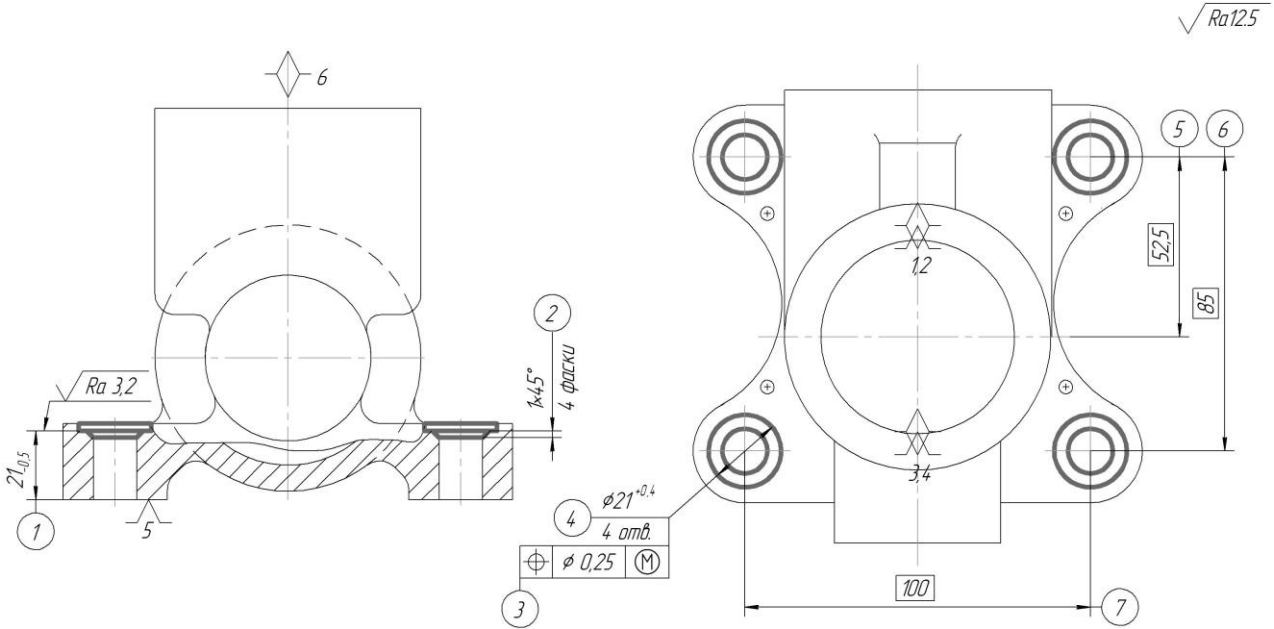
| 1                     | 2                              | 3                                                                                   | 4                                                                                                                                                                 |
|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 050 Круглошліфувальна | ЗУ12АФ11<br>Круглошліфувальний |  | <p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розмір 2, допуск 1.</p> <p>3. Відкріпити та зняти деталь.</p> |

| 1           | 2                                 | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 4                                                                                                                                   |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 055 Токарна | ІИС1-611В<br>Токарно-гвинторізний |  <p>The drawing shows a mechanical part with the following features and dimensions:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Callout 1: Points to the right end of the part.</li> <li>Callout 2: Points to a chamfer with a 45-degree angle (<math>1 \times 45^\circ</math>).</li> <li>Callout 3: Points to a dimension of <math>7^{+0.3}</math> from the right end to the start of a section.</li> <li>Callout 4: Points to a diameter of <math>\phi 10^{+0.15}</math> for a section.</li> <li>Callout 5: Points to a section line on the left end.</li> <li>Internal features: Two cross-hatched areas labeled 1,2 and 3,4 are shown on the left end.</li> </ul> | <p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Свердлити отвір витримуючи розміри 1,2,3.</p> <p>3. Відкріпити та зняти деталь.</p> |

Таблиця 2.10

Структура та зміст технологічних операцій обробки Корпус УЯИШ.731347.006

| № та назва операції | Модель верстату, назва            | Операційний ескіз | Зміст операції                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                   | 2                                 | 3                 | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 005 Фрезерна з ЧПУ  | ГФ2171С5<br>Спеціальний фрезерний |                   | <p>1. Встановити та закріпити заготовку.</p> <p>2. Фрезерувати площину витримуючи розмір 1 та 2</p> <p>3. Центрувати послідовно 4 отв. Витримуючи розміри 3,4,7.</p> <p>4. Свердлити 4 отв. послідовно витримуючи розміри 3,4,7,10.</p> <p>5. Розгорнути 4 отв. послідовно витримуючи розміри 3,4,7,8,9.</p> <p>6. Відкріпити та зняти деталь.</p> |

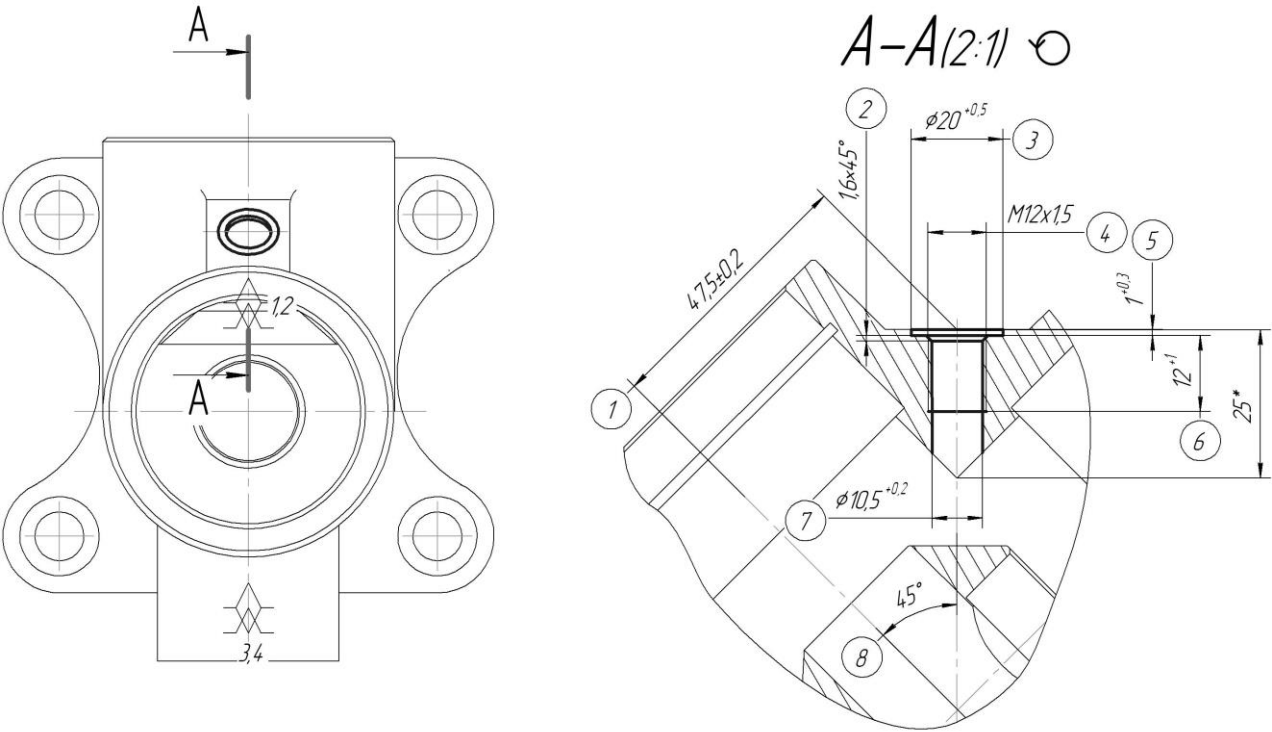
| 1                  | 2                                 | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 4                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 010 Фрезерна з ЧПУ | ГФ2171С5<br>Спеціальний фрезерний |  <p>Technical drawing of a mechanical part showing two views: a front view (left) and a top view (right). The front view shows a central circular feature with a diameter of 21.05, a surface finish of Ra 3.2, and a fillet radius of R4.5. The top view shows a square base with rounded corners, a central circular feature with a diameter of 100, and four circular features with a diameter of 21.05. Dimensions include 52.5, 85, and 100. A table of tolerances is provided: 4 отб. (4 deviations) with a tolerance of 0.25 and a maximum value of 0.4.</p> | <p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Цекувати 4 поглиблення послідовно витримуючи розміри 1,3,4,5,6,7.</p> <p>3. Зекнувати 4 фаски послідовно, витримуючи розміри 2,5,6,7.</p> <p>4. Відкріпити та зняти деталь.</p> |

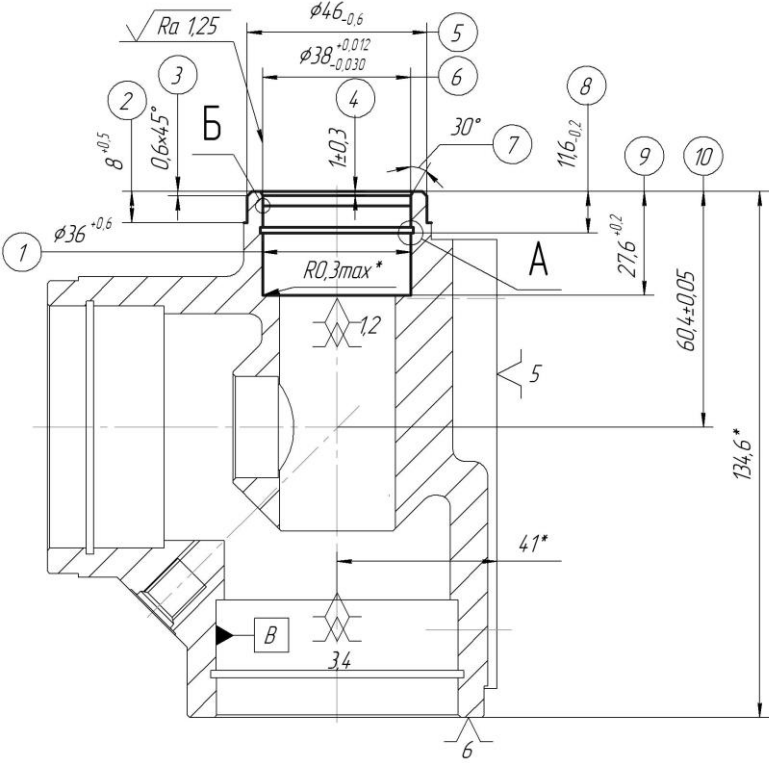
|                      |                                            |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------|--------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                    | 2                                          | 3                | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 015 Комплексна з ЧПУ | HYUNDAI WIA HS4000<br>Обробний центр з ЧПУ | <p>Позиція 1</p> | <p>1. Встановити та закріпити деталь. Позиція 1</p> <p>2. Фрезерувати поверхню витримуючи розмір 13.</p> <p>3. Фрезерувати циліндричну поверхню витримуючи розміри 4,8.</p> <p>4. Фрезерувати дно колодця, витримуючи розмір 10.</p> <p>5. Фрезерувати отвір, витримуючи розмір 22,23.</p> <p>6. Розточити отвір, витримуючи розміри 7,10.</p> <p>7. Розточити отвір витримуючи розмір 6,9.</p> <p>8. Фрезерувати дно колодця по контуру, витримуючи розміри 7,10,11,14,19,21</p> <p>9. Розточити отвір, витримуючи розмір 1,12,20.</p> |

| 1 | 2 | 3                 | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---|---|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   | <p>Позиція II</p> | <p>10. Фрезерувати кільцеву канавку витримуючи розміри 2,5,15,16.</p> <p>11. Зенкувати фаску витримуючи розмір 18.</p> <p>12. Зенкувати внутрішню фаску витримуючи розмір 3. Позиція 2</p> <p>14. Фрезерувати поверхню, витримуючи розмір 27.</p> <p>15. Фрезерувати дно колодця, витримуючи розмір 29.</p> <p>16. Свердлити отвір на прохід витримуючи розміри 24,25.</p> <p>17. Розточити отвір витримуючи розмір 24,29,34.</p> <p>18. Розточити отвір, витримуючи розміри 24,26,33,36,37</p> <p>19. Фрезерувати дно колодця по контуру витримуючи розміри 24,28,29,31,34,38.</p> |

Продовження таблиці 2.10

| 1 | 2 | 3 | 4                                                                                                                                                                               |
|---|---|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   | 21. Фрезерувати<br>кільцеву канавку,<br>витримуючи розмір<br>24,32,35,39,40.<br>22. Зенкувати<br>внутрішню фаску<br>витримуючи розмір 24,<br>23. Відкріпити та зняти<br>деталь. |

| 1                  | 2                                 | 3                                                                                   | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 020 Фрезерна з ЧПУ | ГФ2171С5<br>Спеціальний фрезерний |  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та закріпити деталь.</li> <li>2. Центрувати отвір витримуючи розміри 1,8.</li> <li>3. Цекувати поглиблення витримуючи розміри 1,3,5,8.</li> <li>4. Свердлити отвори на прохід витримуючи розміри 1,7,8.</li> <li>5. Зенкувати фаску витримуючи розмір 1,7,8.</li> <li>6. Нарізати різьбу, витримуючи розмір 1,4,6,8.</li> <li>7. Відкріпити та зняти деталь.</li> </ol> |

| 1                  | 2                                 | 3                                                                                   | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 025 Фрезерна з ЧПУ | ГФ2171С5<br>Спеціальний фрезерний |  | <p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Фрезерувати поверхню витримуючи розмір 10.</p> <p>3. Фрезерувати циліндричну поверхню витримуючи розмір 2,5.</p> <p>3. Розточити отвір начорно, витримуючи розмір 1,9.</p> <p>4. Розточити отвір начисто витримуючи розмір 6,9.</p> <p>5. Фрезерувати кільцеву канавку, витримуючи розмір 8,11,12,13.</p> <p>6. Фрезерувати кільцеву канавку, витримуючи розміри 14-18.</p> <p>7. Фрезерувати внутрішню фаску витримуючи розміри 14,18.</p> <p>8. Відкріпити та зняти деталь.</p> |

## Металорізальні верстати для обробки деталей корпус та вал

| № операції                  | Модель та найменування верстату | Стисла технічна характеристика                                 |                                          |                                            |                  |                                 |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------|---------------------------------|
|                             |                                 | Габаритні розміри робочого столу чи макс. діаметр обробки (мм) | Ряд частот обертання (хв <sup>-1</sup> ) | Ряд подач (мм/об)                          | Потужність (кВт) | Габаритні розміри верстату (мм) |
| 1                           | 2                               | 3                                                              | 4                                        | 5                                          | 6                | 7                               |
| Корпус УЯИШ.731347.006      |                                 |                                                                |                                          |                                            |                  |                                 |
| 005                         | Обробний центр HS4000           | 125x320                                                        | 63-3150                                  | 28-790                                     | 10,0             | 5260x<br>2000x<br>1320          |
| 005,<br>010,<br>020,<br>025 | Спеціальний фрезерний ГФ2171С5  | 400x<br>1600                                                   | 50-1600                                  | 8,3-416,6                                  | 5,5              | 2560x<br>2260x<br>2120          |
| Вал УЯИШ.716614.019         |                                 |                                                                |                                          |                                            |                  |                                 |
| 005                         | Відрізний BS-250 SSV            | -                                                              | 63-3150                                  | 28-790                                     | 0,75             | 2260x<br>1000x<br>1320          |
| 010<br>015                  | Токарний з ЧПУ HYUNDAI L150Y    | 165x249                                                        | 0÷6000                                   | 0,1÷5,3                                    | 22,3             | 3124x2540                       |
| 025,<br>030                 | Вертикально-свердильний 2Н125   | 400x450                                                        | 45-2000                                  | 0,1-2                                      | 2,2              | 2350x<br>785x<br>915            |
| 035                         | Шліцефрезерний 5К301П           | -                                                              | 100-500                                  | 0,35-<br>45/0,4-<br>60/0,18-16             | 7,5              | 132x1450x1820                   |
| 040,<br>045,<br>050         | Круглошліфувальний 3У12АФ11     | -                                                              | 55-900                                   | 0,3-5,0                                    | 4                | 3600x2260x2040                  |
| 055                         | Токарно-гвинторізний 1ИС611В    | 250                                                            | 20-2000                                  | Повзд.<br>0,01-1,8<br>Попер.<br>0,005-0,09 | 3                | 1770x970x1300                   |

## 2.8. Вибір затискних пристроїв

Тип і конструктивні особливості затискних пристроїв, застосовуваних при виконанні кожної технологічної операції, визначаються з урахуванням обраної теоретичної схеми базування деталі, вимог до точності встановлення та умов конкретного типу виробництва. Такий підхід забезпечує надійність фіксації заготовки, мінімізацію похибок установлення та стабільність результатів механічної обробки.

Відібрані затискні пристрої разом із їх стислою технічною характеристикою наведені в таблиці 2.12, що дозволяє оцінити їх відповідність вимогам кожної технологічної операції та оптимальність застосування в розробленому маршруті обробки

Таблиця 2.12

Затискні верстатні пристрої для деталей

| Номер операції         | Найменування пристрою | Стандарт (код) | Вид приводу  |
|------------------------|-----------------------|----------------|--------------|
| 1                      | 2                     | 3              | 4            |
| Корпус УЯИШ.731347.006 |                       |                |              |
| 005                    | Пристрій затискний    | Спец.          | Пневматичний |
| 010                    | Пристрій затискний    | Спец.          | Пневматичний |
| 015                    | Пристрій затискний    | Спец.          | Пневматичний |
| 020                    | Пристрій затискний    | Спец.          | Пневматичний |
| 025                    | Пристрій затискний    | Спец.          | Пневматичний |
| Вал УЯИШ.716614.019    |                       |                |              |
| 005                    | Тиски верстатні       | Спец.          | Ручний       |
| 010                    | Патрон                | Спец.          | Інерційний   |
| 015                    |                       |                |              |
| 020                    | Пристрій затискний    | Спец.          | Пневматичний |
| 025                    | Пристрій затискний    | Спец.          | Пневматичний |
| 030                    | Пристрій затискний    | Спец.          | Пневматичний |
| 035                    | Центра, поводок       | -              | Ручний       |
| 040                    |                       |                |              |
| 045                    |                       |                |              |
| 050                    |                       |                |              |
| 055                    | Патрон                | ГОСТ2675-80    | Пневматичний |

## 2.9. Вибір різальних інструментів

Вибір ріжучого інструменту для кожного технологічного переходу здійснюється з урахуванням методу та стадії обробки, типу виробництва, фізико-хімічних властивостей матеріалу заготовки, характеристик матеріалу інструменту, його міцності, зносостійкості та стійкості, а також специфіки формоутворення поверхонь. Такий комплексний підхід забезпечує отримання необхідних показників точності, шорсткості та продуктивності обробки.

У базовому технологічному процесі використовується як стандартний ріжучий інструмент, що відповідає вимогам чинних ГОСТів, так і сучасний інструмент виробництва корейських компаній TaeguTec та Korloy, який характеризується підвищеною стійкістю, оптимізованою геометрією різальних пластин і здатністю працювати на підвищених режимах різання.

Характеристики обраного інструменту для механічної обробки поверхонь деталей картер та ротор наведено в таблиці 2.13, що дозволяє обґрунтувати відповідність інструментального забезпечення вимогам технологічного процесу.

Таблиця 2.13

### *Ріжучий інструмент для механічної обробки деталі*

| Номер                  |          | Найменування інструменту | Стандарт на конструкцію інструменту (код) | Різальна частина |                 |
|------------------------|----------|--------------------------|-------------------------------------------|------------------|-----------------|
| Операції               | Переходу |                          |                                           | Матеріал         | Стандарт (ГОСТ) |
| 1                      | 2        | 3                        | 4                                         | 5                | 6               |
| Корпус УЯИШ.731347.006 |          |                          |                                           |                  |                 |
| 005                    | 2        | Фреза торцева 2214-0275  | ГОСТ 26595-85                             | BK8              | ГОСТ19064-80    |
|                        | 3        | Центровочне свердло      | ГОСТ14952-75                              | P6M5             | ГОСТ 19265-78   |
|                        | 4        | Свердло2301-0194         | СТУ ГОСТ 10903:2008                       | P6M5             | ГОСТ 19265-78   |
|                        | 5        | Розвертка                | УЯИШ 282511.002                           | BK8              | ГОСТ19064-80    |
| 010                    | 2        | Цековка                  | УЯИШ 282512.002                           | BK8              | ГОСТ19064-80    |
|                        | 3        | Зенківка 2353-0133       | ГОСТ 14953-80                             | BK8              | ГОСТ19064-80    |
| 015                    | 2,14     | Фреза торцева 2214-0275  | ГОСТ 26595-85                             | BK8              | ГОСТ19064-80    |
|                        | 3        | Фреза кінцева            | AMS 3032HS                                | APXT 1604PDS     |                 |

|                     |           |                           |                      |                              |               |
|---------------------|-----------|---------------------------|----------------------|------------------------------|---------------|
|                     |           |                           |                      | R-MM<br>PC3535               |               |
|                     | 4,15      | Фреза торцева 2223-0085   | ГОСТ 17026-71        | P6M5                         | ГОСТ 19265-78 |
|                     | 5,8,12,19 | Фреза кінцева             | LSBE 2120-Q          | M35                          |               |
| 63015               | 6,7,17,18 | Різець розточний          | S32U-MWLN-08         | WNMG<br>080404-B25<br>NC6010 |               |
|                     | 9         | Різець розточний          | S16N-STFPR-11        | TPGT11<br>0304-C05           |               |
|                     | 10        | Фреза Т-подібна 2254-1158 | ГОСТ2679-93          | P6M5                         | ГОСТ 19265-78 |
|                     | 1,22      | Зенківка 2353-0141        | ГОСТ 14953-80        | BK8                          | ГОСТ19064-80  |
|                     | 16        | Фреза кінцева             | УЯИШ 282617.002      | P6M5                         | ГОСТ 19265-78 |
|                     | 20        | Свердло 2301-0109         | ДСТУ ГОСТ 10903:2008 | P6M5                         | ГОСТ 19265-78 |
| 020                 | 2         | Свердло 2317-0104         | ГОСТ 14952-75        | P6M5                         | ГОСТ 19265-78 |
|                     | 3         | Фреза кінцева 2235-0057   | ГОСТ 9140-78         | P6M5                         | ГОСТ 19265-78 |
|                     | 4         | Свердло 2301-0030         | ДСТУ ГОСТ 10903:2008 | P6M5                         | ГОСТ 19265-78 |
|                     | 5         | Зенківка 2353-0133        | ГОСТ 14953-80        | BK8                          | ГОСТ19064-80  |
|                     | 6         | Метчик 2620-1515.2        | ГОСТ 3266-81         | P6M5                         | ГОСТ 19265-78 |
| 025                 | 2         | Фреза торцева 2214-0275   | ГОСТ 26595-85        | BK8                          | ГОСТ19064-80  |
|                     | 3         | Різець розточний          | S32U-MWLN-08         | WNMG<br>080404-B25<br>NC6010 |               |
|                     | 4         | Фреза Т-подібна 2254-0734 | ГОСТ 2679-93         | P6M5                         | ГОСТ 19265-78 |
|                     | 5         | Фреза Т-подібна           | УЯИШ 272517.002      | P6M5                         | ГОСТ 19265-78 |
|                     | 6         | Зенківка 2353-0126        | ГОСТ 14953-80        | BK8                          | ГОСТ19064-80  |
| Вал УЯИШ.716614.019 |           |                           |                      |                              |               |
| 005                 | 2         | Полотно                   | SG-4I6P              |                              |               |
| 010                 | 2         | Свердло центрувальне      | 2317-0118            | P6M5                         | ГОСТ 14925-75 |
|                     | 3,4       | Різець                    | SVJBR 2525-M16       | VBMТ<br>160404-HMP<br>NC3020 |               |
|                     | 5         | Різець канавковий         | TGB 32-5-M16         | TDC<br>160404-HMP<br>NC3020  |               |
| 015                 | 2         | Свердло центрувальне      | 2317-0118            | P6M5                         | ГОСТ 14925-75 |

|     |   |                    |                   |                                  |               |
|-----|---|--------------------|-------------------|----------------------------------|---------------|
|     | 3 | Різець             | SVJBR 2525-M16    | VBMT<br>160404-<br>HMP<br>NC3020 |               |
|     | 4 | Різець фасонний    | УЯИШ 761162.600   | P6M5                             | ГОСТ 14925-75 |
| 015 | 5 | Різець канавковий  | TGB 32-5-M16      | TDC<br>160404-<br>HMP<br>NC3020  |               |
| 020 | 2 | Свердло            | SM1008510         | TT9030                           |               |
|     | 3 | Фреза кінцева      | CFM4060M          | TT9030                           |               |
| 025 | 2 | Свердло            | SM0506510         | TT9030                           |               |
|     | 3 | Зенківка 2353-0126 | ГОСТ 14953-80     | BK8                              | ГОСТ19064-80  |
| 030 | 2 | Метчик 2620-1515.2 | ГОСТ 3266-81      | P6M5                             | ГОСТ 19265-78 |
| 035 | 2 | Фреза шліцева      | УЯИШ 282338.001   | P6M5                             |               |
| 040 | 2 | Круг шліфувальний  | ПП 300x40x127 25A | 16НСМ<br>2                       | ГОСТ 2424-83  |
|     | 3 | Круг шліфувальний  | ПП 250x5x76 25A   | 10НСМ<br>2                       | ГОСТ 2424-83  |
| 045 | 2 | Круг шліфувальний  | ПП 300x40x127 25A | 10НСМ<br>2                       | ГОСТ 2424-83  |
| 050 | 2 | Круг шліфувальний  | ПП 300x40x127 25A | 10НСМ<br>2                       | ГОСТ 2424-83  |
| 055 | 2 | Свердло            | SM1008510         | TT9030                           |               |

## 2.10. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Засоби технічного контролю для виконання відповідних технологічних операцій добираються з урахуванням необхідної точності вимірювань, габаритів і якості контрольованих поверхонь, а також характеру та типу виробництва. При виборі контролювального оснащення враховують вимоги до забезпечення стабільності вимірювань, мінімізації похибок та можливості інтеграції засобів контролю у виробничий процес.

Перелік відібраних засобів технічного контролю для обох деталей, разом із їх характеристиками та сферою застосування, наведено в таблиці 2.15, що дозволяє оцінити їх відповідність встановленим технічним вимогам і забезпечити необхідний рівень якості виготовлення виробів.

Таблиця 2.15

Вимірювальний інструмент і контрольні пристрої для деталей

| Номер                  |               | Параметр<br>деталі, який<br>контролюється                               | Найменування вимірювального<br>інструменту                                | Стандарт на<br>конструкцію    |
|------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Опе-<br>рації          | Пере-<br>ходу |                                                                         |                                                                           |                               |
| 1                      | 2             | 3                                                                       | 4                                                                         | 5                             |
| Корпус УЯИШ.731347.006 |               |                                                                         |                                                                           |                               |
| 005                    | 2             | $\nabla$ 0,08<br>160 $\pm$ 0,1                                          | Індикатор<br>Штангенциркуль ШЦЦ II-250-0,05                               | ГОСТ 9696-82<br>ГОСТ 166-89   |
|                        | 3             | $\surd$ $\varnothing$ 0,25 $\diamond$<br>$\varnothing$ 12,2 $^{+0,2}$   | Калібр на розташування УЯИШ<br>421418.002<br>Штангенциркуль ШЦЦ 1-125-0,1 | Спец.<br>ГОСТ 166-89          |
|                        | 4             | $\surd$ $\varnothing$ 0,25 $\diamond$<br>$\varnothing$ 12,5 $^{+0,027}$ | Калібр на розташування УЯИШ<br>421418.003<br>Калібр-пробка                | Спец.<br>СТП 23.113.01.073-78 |
| 010                    | 2             | $\surd$ $\varnothing$ 0,25 $\diamond$<br>$\varnothing$ 21 $^{+0,4}$     | Калібр на розташування УЯИШ<br>421418.004<br>Штангенциркуль ШЦЦ 1-125-0,1 | Спец.<br>ГОСТ 166-89          |
| 015                    | 2             | 115,2 $\pm$ 0,05                                                        | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                                             | ГОСТ 166-89                   |
|                        | 3             | $\varnothing$ 75 $^{-0,7}$<br>8 $^{+0,5}$                               | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                                             | ГОСТ 166-89                   |
|                        | 4             | 47,6 $^{+0,1}$                                                          | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                                             | ГОСТ 166-89                   |
|                        | 5             | $\varnothing$ 23 $^{+0,5}$<br>18 $\pm$ 0,05                             | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                                             | ГОСТ 166-89                   |
|                        | 6             | 47,6 $^{+0,1}$<br>$\varnothing$ 58 $^{+0,7}$                            | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                                             | ГОСТ 166-89                   |
|                        | 7             | 29,9 $\pm$ 0,05<br>$\varnothing$ 62 $^{+0,03}$                          | Штангенциркуль ШЦЦ 1-125-0,1<br>Нутромір                                  | ГОСТ 166-89<br>ГОСТ 9244-75   |
|                        | 8             | 47,6 $^{+0,1}$                                                          | Контрольне пристосування                                                  | Спец.                         |

|     |                                       |                                                                                                                                                   |                                                            |                             |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|-----|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------|---|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|     |                                       | $\varnothing 58^{+0,7}$<br>$47,6^{+0,1}$<br>R3                                                                                                    | Штангенциркуль ШЦЦ II-250-0,05                             | ГОСТ 166-89                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 9                                     | $55^{+0,7}$<br>$\varnothing 26^{+0,01}_{-0,02}$<br><table><tr><td>┐</td><td>0,04</td></tr></table>                                                | ┐                                                          | 0,04                        | Штангенциркуль ШЦЦ 1-125-0,1<br>Нутромір<br>Контрольне пристосування | ГОСТ 166-89<br>ГОСТ 9244-75<br>Спец. |      |   |                                                                                     |                                      |
| ┐   | 0,04                                  |                                                                                                                                                   |                                                            |                             |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 10                                    | $9_{-0,1}$<br>$\varnothing 65^{+0,4}$                                                                                                             | Штангенциркуль ШЦЦ 1-125-0,1<br>Нутромір                   | ГОСТ 166-89<br>ГОСТ 9244-75 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 14                                    | $74,2 \pm 0,05$                                                                                                                                   | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                              | ГОСТ 166-89                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 15                                    | $47,6^{+0,1}$                                                                                                                                     | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                              | ГОСТ 166-89                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
| 015 | 16                                    | $47,6^{+0,1}$<br>$\varnothing 58^{+0,7}$                                                                                                          | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                              | ГОСТ 166-89                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 17                                    | $41 \pm 0,05$<br>$\varnothing 62^{+0,03}$                                                                                                         | Штангенциркуль ШЦЦ 1-125-0,1<br>Нутромір                   | ГОСТ 166-89<br>ГОСТ 9244-75 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 18                                    | $41 \pm 0,05$<br>$\varnothing 62^{+0,03}$<br><table><tr><td>×</td><td>T0,06</td><td>Б</td></tr><tr><td>√</td><td>0,05</td><td>Б</td></tr></table> | ×                                                          | T0,06                       | Б                                                                    | √                                    | 0,05 | Б | Штангенциркуль ШЦЦ 1-125-0,1<br>Нутромір<br>Контрольний пристрій УЯИШ<br>401114.002 | ГОСТ 166-89<br>ГОСТ 9244-75<br>Спец. |
|     | ×                                     | T0,06                                                                                                                                             | Б                                                          |                             |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | √                                     | 0,05                                                                                                                                              | Б                                                          |                             |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 19                                    | $47,6^{+0,1}$<br>$\varnothing 58^{+0,7}$<br>$47,6^{+0,1}$<br>R3                                                                                   | Контрольне пристосування<br>Штангенциркуль ШЦЦ II-250-0,05 | Спец.<br>ГОСТ 166-89        |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 20                                    | $41 \pm 0,05$<br>$\varnothing 62^{+0,04}$                                                                                                         | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05<br>Нутромір                  | ГОСТ 166-89<br>ГОСТ 9244-75 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
| 21  | $9_{-0,1}$<br>$\varnothing 65^{+0,4}$ | Штангенциркуль ШЦЦ 1-125-0,1<br>Нутромір                                                                                                          | ГОСТ 166-89<br>ГОСТ 9244-75                                |                             |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
| 020 | 4                                     | $47,5 \pm 0,2$<br>$\varnothing 10,5^{+0,2}$                                                                                                       | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                              | ГОСТ 166-89                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 6                                     | M12x1,5                                                                                                                                           | Пробка для різі                                            | 8221-4014                   |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
| 025 | 2                                     | $60,4 \pm 0,05$                                                                                                                                   | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                              | ГОСТ 166-89                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 3                                     | $\varnothing 46^{+0,6}_{-0,5}$                                                                                                                    | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                              | ГОСТ 166-89                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 4                                     | $\varnothing 36^{+0,6}$<br>$27,6^{+0,2}$                                                                                                          | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                              | ГОСТ 166-89                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 5                                     | $27,6^{+0,2}$<br>$\varnothing 38^{+0,012}_{-0,030}$                                                                                               | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05<br>Нутромір                  | ГОСТ 166-89<br>ГОСТ 9244-75 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 6                                     | $11,6^{+0,2}_{-0,3}$<br>$\varnothing 40^{+0,3,4}$                                                                                                 | Штангенциркуль ШЦЦ 1-125-0,1<br>Нутромір                   | ГОСТ 166-89<br>ГОСТ 9244-75 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | Вал УЯИШ.716614.019                   |                                                                                                                                                   |                                                            |                             |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
| 005 | 2                                     | 88-2                                                                                                                                              | Лінійка 100                                                | ГОСТ 427-75                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
| 010 | 2                                     | $85,5_{-0,5}$                                                                                                                                     | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                              | ГОСТ 166-89                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 4                                     | $\varnothing 25,5_{-0,2}$<br>$52^{+0,2}$                                                                                                          | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                              | ГОСТ 166-89                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 5                                     | $\varnothing 30,5_{-0,16}$                                                                                                                        | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                              | ГОСТ 166-89                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 6                                     | $\varnothing 25_{-0,21}$<br>3                                                                                                                     | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                              | ГОСТ 166-89                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
| 015 | 2                                     | $83_{-0,5}$                                                                                                                                       | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                              | ГОСТ 166-89                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |
|     | 4                                     | $\varnothing 22,5_{-0,1}$<br>$44_{-0,25}$                                                                                                         | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                              | ГОСТ 166-89                 |                                                                      |                                      |      |   |                                                                                     |                                      |

|     |   |                                                                 |                                                                         |                               |
|-----|---|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|     | 5 | R5.2<br>Ø18 <sup>-0,1</sup> <sub>73-0,3</sub>                   | Калібр комплексний УЯИШ.<br>401751.002<br>Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05 | Спец.<br>ГОСТ 166-89          |
|     | 6 | Ø20 <sup>-0,21</sup> <sub>55.5-0,3</sub><br>1,5x30 <sup>0</sup> | Штангенциркуль ШЦЦ-I-150-0,1<br>Калібр                                  | ГОСТ 166:2009<br>Спец.        |
| 020 | 2 | Ø4                                                              | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                                           | ГОСТ 166-89                   |
|     | 3 | R4 <sup>+0,3</sup><br>3.5-0..18                                 | Калібр                                                                  | Спец.                         |
| 025 | 2 | Ø5                                                              | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                                           | ГОСТ 166-89                   |
| 030 | 2 | M6x1,0-6H                                                       | Пробка для різі                                                         | 8221-4014                     |
| 035 | 2 | Ø20.895 max<br>Ma=23.274 <sup>+0,045</sup> <sub>-0,090</sub>    | Штангенциркуль ШЦЦ-I-125-0,1<br>Проволочки I-1.048 кл0                  | ГОСТ 166:2009<br>ГОСТ 2475-88 |
| 040 | 2 | Ø23 <sup>-0,084</sup>                                           | Мікрометр МК-25                                                         | ГОСТ 19300-73                 |
|     | 3 | Ø21,955 <sup>-0,045</sup>                                       | CP25                                                                    | ГОСТ 11098-75                 |
| 045 | 2 | Ø25,5 <sup>-0,005</sup>                                         | CP25                                                                    | ГОСТ 11098-75                 |
| 050 | 2 | Ø30 <sup>+0,021</sup> <sub>+0,008</sub><br>Ra 1,25              | Мікрометр МК-50<br>Профілометр система-М                                | ГОСТ 19300-73<br>ГОСТ 6507-90 |
| 055 | 1 | Ø10 <sup>+0,15</sup><br>7 <sup>+0,3</sup>                       | Штангенциркуль ШЦЦ 1-160-0,05                                           | ГОСТ 166-89                   |

## 2.11. Визначення припусків та операційних розмірів деталей

Після визначення плану обробки поверхонь та розроблення маршрутної технології здійснюється розрахунок припусків на механічну обробку. Для цього використовується методика В.М. Кована [4], яка забезпечує аналітичне обґрунтування величин припусків з урахуванням технологічних можливостей обладнання, точності вихідної заготовки та вимог до чистової поверхні.

Аналітичний розрахунок припусків виконується для зовнішньої циліндричної поверхні 10 деталі вал діаметром  $\varnothing 25_{-0,005}$ , що дозволяє встановити раціональні значення проміжних розмірів на всіх етапах чорнової, напівчистової та чистової обробки та забезпечити досягнення необхідних параметрів точності та шорсткості.

Мінімальний припуск на точіння чорнове:

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

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

Мінімальний припуск на чистову обробку:

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

Мінімальний припуск на шліфування:

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

Максимальний припуск на точіння чорнове:

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

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

Максимальний припуск на чистову обробку:

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

Максимальний припуск на шліфування:

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

Карта розрахунку припусків на обробку поверхні

Таблиця 2.16

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

Схему графічного розташування припусків і допусків для поверхні 10 деталі вал  $\varnothing 25_{-0,005}$  представлена на рис. 2.1.

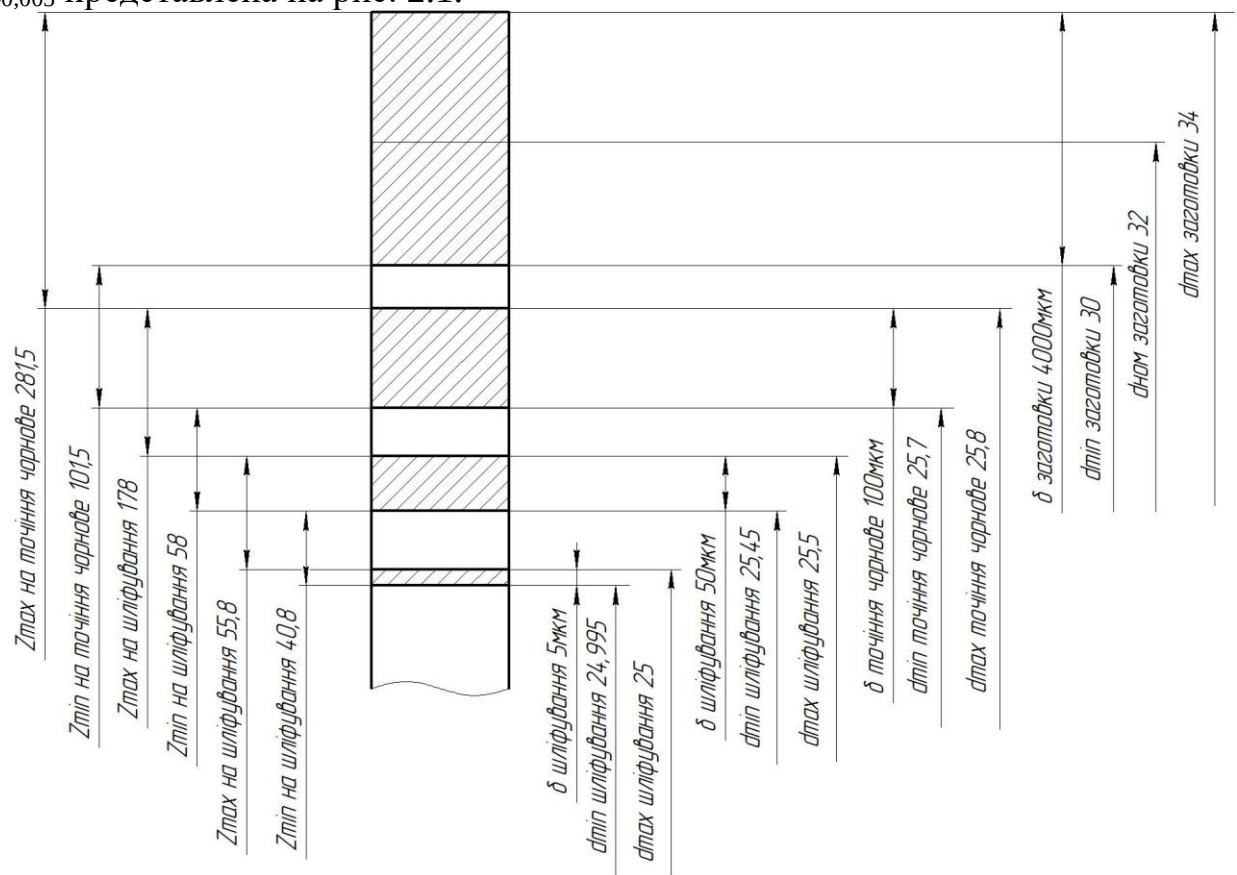


Рис. 2.1. Схема припусків на обробку поверхні  $\varnothing 25_{-0,005}$

На решту поверхонь деталей корпус і вал припуски визначаємо за довідковими таблицями. Вибрані величини припусків подаємо у вигляді таблиці 2.17.

Таблиця 2.17

Зведена таблиця припусків на обробку деталей Корпус УЯИШ.731347.006 та Вал УЯИШ 716614.019

| № пов-ні               | Найменування поверхні          | Припуск $Z_{\min}$ , мм | Технологічний допуск, мм |
|------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1                      | 2                              | 4                       | 5                        |
| Корпус УЯИШ.731347.006 |                                |                         |                          |
| 1,5                    | Площина                        | 2,5                     | 0,87                     |
| 2                      | Отвір                          | 12,5                    | 0,43                     |
| 3                      | Зовнішня циліндрична поверхня  | 1,5                     | 0,74                     |
| 4                      | Торець                         | 2,5                     | 0,74                     |
| 6,16                   | Внутрішня циліндрична поверхня | 4                       | 0,03                     |
| 7,18                   | Канавка                        | 3                       | 0,4                      |
| 8,15                   | Внутрішня циліндрична поверхня | 2                       | 0,74                     |
| 9                      | Внутрішня циліндрична поверхня | 0,75                    | 0,03                     |

|                     |                                |            |       |
|---------------------|--------------------------------|------------|-------|
| 10                  | Зовнішня циліндрична поверхня  | 0,8        | 0,62  |
| 11                  | Торець                         | 2,5        | 0,7   |
| 12                  | Внутрішня циліндрична поверхня | 38         | 0,042 |
| 14                  | Внутрішня циліндрична поверхня | 12         | 0,59  |
| 17                  | Торець                         | 2,5        | 0,15  |
| 19                  | Торець                         | 2,5        | 0,87  |
| 20                  | Різьбовий отвір                | M12x1,5-6H |       |
| 21                  | Отвір                          | 2,1        | 0,25  |
| Вал УЯИШ 716614.019 |                                |            |       |
| 1,8                 | Торцева                        | 2,5        | 0,87  |
| 2                   | Зовнішня циліндрична поверхня  | 3,5        | 0,005 |
| 3                   | Зовнішня циліндрична поверхня  | 2          | 0,013 |
| 4                   | Зовнішня циліндрична поверхня  | 4,5        | 0,084 |
| 5                   | Канавка                        | 1,5        | 0,52  |
| 6                   | Шліці                          | 2,95       | 0,1   |
| 7                   | Канавка                        | 2,5        | 0,43  |
| 9                   | Отвір                          | 4          | 0,3   |
| 10                  | Паз                            | 4          | 0,3   |
| 11                  | Отвір                          | 10         | 0,15  |
| 12                  | Різьбовий отвір                | M6x1,0     |       |

## 2.12. Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання для операцій механічної обробки виконується розрахунково-аналітичним методом. Зокрема, для **020 фрезерної операції** обробки деталі *вал* визначення параметрів різання здійснюється відповідно до методики, наведеної у джерелі [26].

Для інших операцій механічної обробки деталей *вал* і *корпус* елементи режимів різання встановлюються на основі чинних нормативних документів, галузевих довідників та виробничих нормативів, що забезпечує відповідність вибраних параметрів технічним вимогам, можливостям обладнання та характеристикам ріжучого інструменту.

Отримані значення елементів режимів різання для всіх операцій зведено до таблиці **2.18**, що дозволяє узагальнити вибрані параметри та застосувати їх у подальших розрахунках технологічного процесу.

Приймаємо необхідні величини режимів різання:

- подача – 0,08 мм/зуб (табл. 33 [26])
- подача  $S_o$  – 24 мм/об (табл. 37 [26])
- глибина різання – 3,725 мм
- довжина обробки – 8 мм
- Швидкість різання:

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

де:  $C_v = 46,7$ ,  $q = 0,45$ ,  $x = 0,5$ ,  $y = 0,5$ ,  $u = 0,1$ ,  $p = 0,1$ ,  $m = 0,33$  (табл. 39 [26]);

$T$  - період стійкості інструменту.  $T = 80$  хв. (табл. 40 [26])

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

де:  $K_{mv}$  - коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу (табл. 2 [26]).

$$K_{mv} = 0,4;$$

$K_{nv}$  - коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки (табл. 5 [26]).  $K_{nv} = 0,9$ ;

$K_{uv}$  - коефіцієнт, який враховує матеріал інструменту (табл. 6 [26]).  $K_{uv} = 1$

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

$$V = \frac{46,7 \cdot 8^{0,5}}{80^{0,33} \cdot 3,725^{0,5} \cdot 0,08^{0,5} \cdot 3^{0,1} \cdot 3,1^{0,1}} \cdot 0,36 = 31,5 \text{ м/хв.}$$

- Частота обертання:

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

- Колова сила різання:

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

де:  $C_p = 68,2$ ,  $x = 0,68$ ,  $y = 0,72$ ,  $u = 0,1$ ,  $q = 0,86$ ,  $w = 0$  (табл. 41 [26])

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 3,75^{0,86} \cdot 0,08^{0,72} \cdot 2,7^{0,1} \cdot 3}{8^{0,86} \cdot 1040^0} \cdot 1 = 366,6 \text{ Н}$$

- Крутний момент:

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

- Потужність різання:

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

Таблиця 2.18

## Режими різання на операціях механічної обробки деталей

| Номер                  |               | t, мм  | S <sub>мм/об</sub><br>S <sub>мм/хв</sub> | V м/хв | n, хв. <sup>-1</sup> | to, хв |     |      |
|------------------------|---------------|--------|------------------------------------------|--------|----------------------|--------|-----|------|
| опе-<br>рації          | пере-<br>ходу |        |                                          |        |                      |        |     |      |
| 1                      | 2             | 3      | 4                                        | 5      | 6                    | 7      |     |      |
| Корпус УЯИШ.731347.006 |               |        |                                          |        |                      |        |     |      |
| 005                    | 2             | 2      | 0,7                                      | 132    | 315                  | 5,14   |     |      |
|                        | 3             | 6,0    | 0,5                                      | 22     | 710                  |        |     |      |
|                        | 4             | 0,25   | 0,8                                      | 60     | 710                  |        |     |      |
| 010                    | 2             | 0,5    | 0,8                                      | 60     | 710                  | 2,10   |     |      |
|                        | 3             | 0,25   | 0,8                                      | 60     | 710                  |        |     |      |
| 015                    | 2             | 2      | 0,7                                      | 132    | 315                  | 12,676 |     |      |
|                        | 4             | 0,5    | 0,1                                      | 295    | 800                  |        |     |      |
|                        | 5             | 1      | 0,2                                      | 250    | 630                  |        |     |      |
|                        | 6             | 0,25   | 0,8                                      | 60     | 710                  |        |     |      |
|                        | 7             | 0,0025 | 0,2                                      | 125    | 315                  |        |     |      |
|                        | 8             | 1,15   | 0,25                                     | 148    | 1000                 |        |     |      |
|                        | 9             | 0,25   | 0,8                                      | 60     | 710                  |        |     |      |
|                        | 10            | 0,0025 | 0,2                                      | 125    | 315                  |        |     |      |
|                        | 11            | 0,0025 | 0,2                                      | 125    | 315                  |        |     |      |
|                        | 12            | 0,25   | 0,8                                      | 60     | 710                  |        |     |      |
|                        | 14            | 2      | 0,7                                      | 132    | 315                  |        |     |      |
|                        | 15            | 0,5    | 0,1                                      | 295    | 800                  |        |     |      |
|                        | 16            | 1      | 0,2                                      | 250    | 630                  |        |     |      |
|                        | 17            | 1      | 0,2                                      | 250    | 630                  |        |     |      |
|                        | 18            | 0,25   | 0,8                                      | 60     | 710                  |        |     |      |
|                        | 19            | 0,0025 | 0,2                                      | 125    | 315                  |        |     |      |
|                        | 20            | 1,15   | 0,25                                     | 148    | 1000                 |        |     |      |
|                        | 21            | 0,25   | 0,8                                      | 60     | 710                  |        |     |      |
|                        | 22            | 0,0025 | 0,2                                      | 125    | 315                  |        |     |      |
|                        | 020           | 2      | 2,5                                      | 0,7    | 132                  |        | 315 | 7,15 |
|                        |               | 3      | 0,5                                      | 0,8    | 60                   |        | 710 |      |
|                        |               | 4      | 6,0                                      | 0,5    | 22                   |        | 710 |      |
| 5                      |               | 1,5    | 0,09                                     | 14,5   | 290                  |        |     |      |
| 025                    | 2             | 2      | 0,7                                      | 132    | 315                  | 5,160  |     |      |
|                        | 3             | 0,5    | 0,1                                      | 295    | 800                  |        |     |      |
|                        | 4             | 1      | 0,2                                      | 250    | 630                  |        |     |      |
|                        | 5             | 0,25   | 0,8                                      | 60     | 710                  |        |     |      |
|                        | 6             | 0,0025 | 0,2                                      | 125    | 315                  |        |     |      |
|                        | 7             | 1,15   | 0,25                                     | 148    | 1000                 |        |     |      |
|                        | 8             | 0,25   | 0,8                                      | 60     | 710                  |        |     |      |
| Вал УЯИШ 716614.019    |               |        |                                          |        |                      |        |     |      |
| 005                    | 2             | -      | 0,2                                      | 25     | 250                  | 0,1    |     |      |
| 010                    | 2             | 2      | 0,4                                      | 157    | 800                  | 2,15   |     |      |
|                        | 3             | 2      | 0,13                                     | 17,6   | 1400                 |        |     |      |

|     |     |      |      |      |      |      |
|-----|-----|------|------|------|------|------|
|     | 4   | 1,25 | 0,4  | 140  | 630  |      |
|     | 5   | 1,85 | 0,16 | 209  | 1000 |      |
| 015 | 2   | 0,6  | 0,4  | 120  | 800  | 2,29 |
|     | 3   | 2    | 0,13 | 17,6 | 1400 |      |
|     | 4   | 1,55 | 0,4  | 115  | 750  |      |
|     | 5   | 1,45 | 0,2  | 190  | 1200 |      |
|     | 6   | 1,25 | 0,01 | 125  | 630  |      |
| 020 | 2   | 1,3  | 0,01 | 60   | 630  | 0,2  |
| 025 | 2   | 3,25 | 0,15 | 21,9 | 630  | 1,0  |
| 030 | 1,5 | 0,09 | 14,5 | 290  | 1,5  | 1,0  |
| 035 | 2   | 0,7  | 0,02 | 20   | 450  | 4    |
| 040 | 2   | 0,25 | 0,01 | 124  | 1590 | 0,38 |
| 045 | 2   | 0,25 | 0,01 | 124  | 1590 | 0,52 |
| 050 | 2   | 0,25 | 0,01 | 124  | 1590 | 0,45 |
| 055 | 2   | 3,25 | 0,15 | 21,9 | 630  | 1,2  |

### 2.13. Технічне нормування операцій

Норми часу на виконання технологічних операцій у масовому та серійному виробництві визначають розрахунково-аналітичним методом, що забезпечує достатню точність у врахуванні технічних параметрів обладнання, характеристик інструменту, умов різання та організаційно-технічних факторів.

У межах даної роботи здійснюється розрахунок норм часу для 010 токарної операції з ЧПК при обробці деталі вал УЯИШ.716614.019. Розрахунок включає визначення основного, допоміжного та підготовчо-заклучного часу, що дозволяє встановити раціональну тривалість виконання операції та обґрунтувати її трудомісткість у виробничих умовах.

Штучний час:

$$T_{шт} = (T_{ца} + T_{доп} \cdot K_{тв}) \cdot \left( 1 + \frac{t_{то} + t_{орг} + t_{сид}}{100} \right),$$

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

$$T_{ца} = t_o + T_{мд}$$

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

$T_{мд}$  – машинно-допоміжний час за програмою:

- час на зміну інструмента – 0,0025 хв;

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

$$T_{мд} = 0,0025 \cdot 15 + 0,067 \cdot 24 + 0,3 + 0,017 \cdot 6 = 1,05 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{ца}} = 1,7 + 1,05 = 2,07 \text{ хв.}$$

$T_{\text{ДОП}}$  – допоміжний час, хв:

$$T_{\text{ДОП}} = T_{\text{д.в.}} + T_{\text{д}} + T_{\text{д.вим.}}$$

де:  $T_{\text{д.в.}}$  – час на встановлення та зняття деталі (стор. 55 [18]),  $T_{\text{д.в.}} = 0,26$  хв;

$T_{\text{д}}$  – допоміжний час, пов'язаний із операцією (стор. 79 [18]), хв;

$$T_{\text{д}} = 0,32 + 0,15 + 0,03 = 0,5$$

$T_{\text{д.вим.}}$  – допоміжний неперекриваємий час на вимірювання (стор. 80, карта 15 [19]), хв;

$$T_{\text{д.вим.}} = 0,16 \cdot 5 + 0,1 + 0,13 \cdot 2 = 1,16$$

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

$K_{\text{ІВ}}$  – поправочний коефіцієнт на час виконання ручної допоміжної праці в залежності від партії оброблюваних деталей (стор. 50 [19])  $K_{\text{ІВ}} = 0,71$ ;

$t_{\text{ТО}}$  – час на технічне обслуговування робочого місця (стор. 90 [19]);

$t_{\text{орг}}$  – час на організаційне обслуговування робочого місця;

$t_{\text{від}}$  – час на відпочинок.

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

$$T_{\text{ит}} = (2,07 + 1,92 \cdot 0,71) \cdot \left(1 + \frac{2,78}{100}\right) = 5,43$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт.к}} = t_o + T_{\text{ДОП}} + t_{\text{ТО}} + t_{\text{орг}} + \frac{T_{\text{нз}}}{n}$$

де:  $T_{\text{нз}}$  – підготовчо-заключний час, (стор. 98 [19]) хв.

$$T_{\text{нз}} = 2 + 2 + 2 + 0,3 + 4 + 0,3 \cdot 16 + 1 + 0,3 = 12 \text{ хв.}$$

$n$  – розмір партії,  $n = 625$  шт.

$$T_{\text{шт.к}} = 1,56 + 1,92 + 2,78 + \frac{23,4}{625} = 2,27$$

Результати розрахунків норм часу по всім операціям механічної обробки деталей корпус та вал зводимо в таблицю 2.18.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.19.

Таблиця 2.19

### Норми часу на обробку деталей

| № операції             | t <sub>о</sub> , хв. | t <sub>доп</sub> , хв. | t <sub>ТО</sub> , хв. | t <sub>орг.об.</sub> , хв. | t <sub>від</sub> , хв. | T <sub>шт</sub> , хв. | T <sub>пз</sub> , хв. | T <sub>шт.к</sub> , хв. |
|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1                      | 2                    | 3                      | 4                     | 5                          | 6                      | 7                     | 8                     | 9                       |
| Корпус УЯИШ.731347.006 |                      |                        |                       |                            |                        |                       |                       |                         |
| 005                    | 5,14                 | 3,15                   | 0,04                  | 0,02                       | 0,04                   | 8,39                  | 12                    | 8,51                    |
| 010                    | 2,10                 | 1,75                   | 0,04                  | 0,02                       | 0,02                   | 3,93                  | 12                    | 4,05                    |
| 015                    | 12,676               | 7,47                   | 0,04                  | 0,03                       | 0,09                   | 20,306                | 12                    | 20,426                  |
| 020                    | 7,15                 | 5,46                   | 0,04                  | 0,03                       | 0,07                   | 12,75                 | 12                    | 12,87                   |
| 025                    | 5,16                 | 3,2                    | 0,04                  | 0,02                       | 0,04                   | 8,46                  | 12                    | 8,58                    |
| Вал УЯИШ 716614.019    |                      |                        |                       |                            |                        |                       |                       |                         |
| 005                    | 0,1                  | 0,5                    | 0,02                  | 0,03                       | 0,04                   | 0,7                   | 12                    | 0,82                    |
| 010                    | 1,56                 | 0,5                    | 0,02                  | 0,03                       | 0,04                   | 2,15                  | 12                    | 2,27                    |
| 015                    | 1,7                  | 0,5                    | 0,02                  | 0,03                       | 0,04                   | 2,29                  | 12                    | 2,41                    |
| 020                    | 0,2                  | 0,3                    | 0,03                  | 0,05                       | 0,01                   | 0,41                  | 12                    | 0,53                    |
| 025                    | 1,0                  | 0,73                   | 0,04                  | 0,08                       | 0,04                   | 1,07                  | 8                     | 1,15                    |
| 030                    | 1,0                  | 0,5                    | 0,03                  | 0,05                       | 0,01                   | 1,9                   | 8                     | 1,98                    |
| 035                    | 4                    | 1,18                   | 0,09                  | 0,18                       | 0,02                   | 6,34                  | 8                     | 6,42                    |
| 040                    | 0,38                 | 0,5                    | 0,03                  | 0,05                       | 0,01                   | 1,7                   | 8                     | 1,78                    |
| 045                    | 0,52                 | 0,5                    | 0,03                  | 0,05                       | 0,01                   | 1,35                  | 8                     | 1,43                    |
| 050                    | 0,45                 | 0,5                    | 0,03                  | 0,05                       | 0,01                   | 0,9                   | 8                     | 0,98                    |
| 055                    | 1,2                  | 0,5                    | 0,03                  | 0,05                       | 0,01                   | 2,3                   | 8                     | 2,38                    |

### 3. Конструкторська частина

#### 3.1. Розрахунок та розробка конструкції затискного пристрою

У межах даної роботи розробляється інерційний патрон для обробки деталі *вал УЯИШ.716614.019* на токарному верстаті з ЧПК **HUYNDAI L150Y**. Конструктивне виконання та принцип дії запропонованого інерційного патрона наведено на рисунку **3.1**, що слугує основою для подальшого аналізу його роботоздатності та технологічної ефективності.

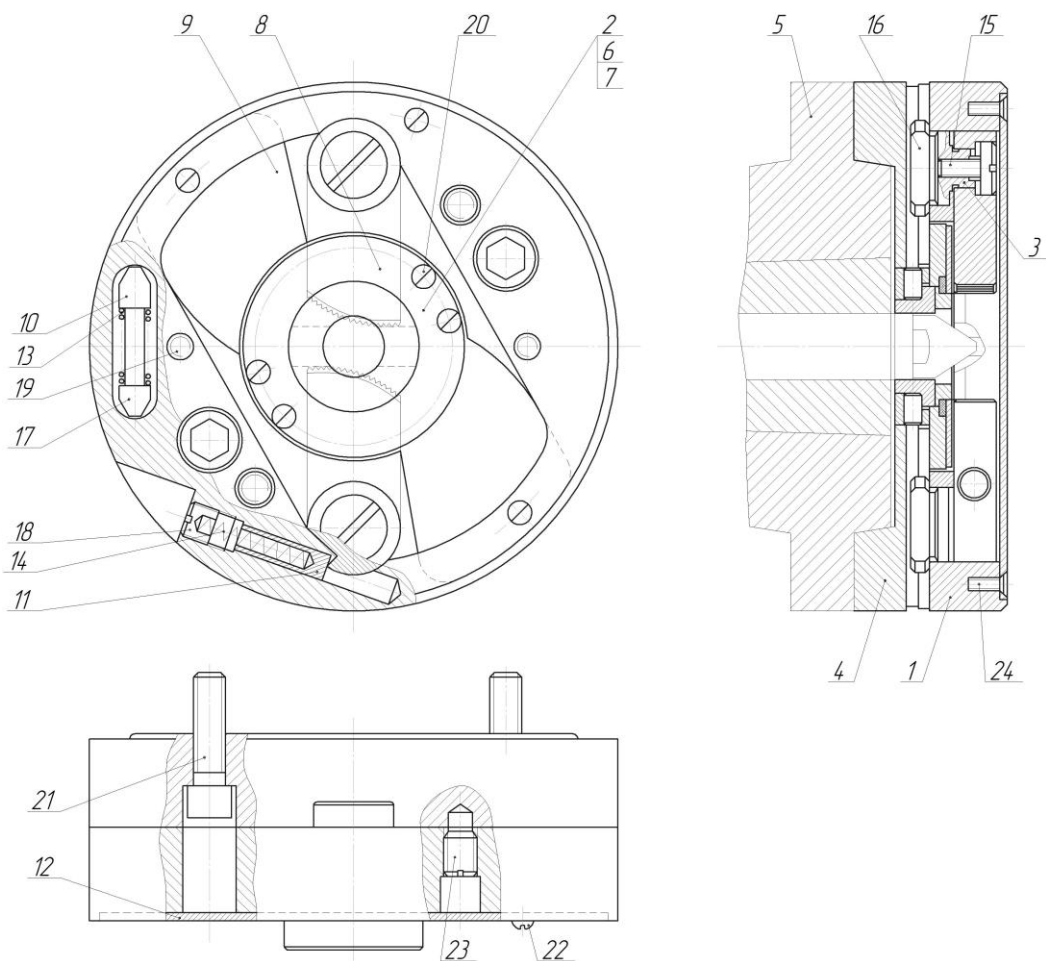


Рис. 3.1 Конструкція інерційного патрону

Інерційний патрон призначений для передавання крутного моменту оброблюваній деталі під час її встановлення на токарному верстаті. Він монтується на планшайбу шпинделя та забезпечує надійне силове з'єднання з верстатним обладнанням. Попередня установка деталі здійснюється в центрах верстата, що забезпечують орієнтацію в радіальному напрямку та утворюють подвійну напрямну базу. Осьова

орієнтація реалізується підтисканням заднім центром до опорної поверхні патрона, при цьому передній центр, конструктивно поєднаний із патроном, має плаваючу будову, що компенсує похибки встановлення.

Конструктивно інерційний патрон складається з корпусу у формі циліндричного диска з радіальними пазами на торцевій поверхні, у яких розміщується самоцентруюча планшайба разом з осями та інерційними кулачками, на яких встановлені вантажі. На зворотному боці корпус має конічний отвір для базування на шпинделі, а також отвори під кріпильні болти, розташовані по концентричному колу. Самоцентруюча планшайба виконана у вигляді диска з прямокутним наскрізним пазом, у якому переміщуються кулачки з вантажами. Її радіальне переміщення забезпечують центруючі штирі та пружини, а повернення кулачків у початкове положення здійснюється плунжером зворотного ходу та відповідною пружиною.

Принцип роботи патрона ґрунтується на використанні відцентрових сил. Під час обертання шпинделя вантажі під дією інерції зміщуються радіально, повертаючи кулачки до моменту їх контакту з поверхнею деталі, яка одночасно закріплена в центрах верстата. Оскільки зовнішня поверхня деталі може містити похибки форми або зміщення осі відносно центрових отворів, а також можливі неточності виготовлення елементів патрона, необхідна компенсація, що забезпечує одночасний контакт обох кулачків із поверхнею деталі. Це досягається завдяки можливості переміщення самоцентруючої планшайби вздовж лінії, яка проходить через осі кулачків. Після самовстановлення кулачків планшайба переміщується у положення, що гарантує рівномірний затиск деталі з обох боків.

Працездатність патрона забезпечується виконанням умов, за яких момент від сил затиску повинен перевищувати момент від сил різання, інакше можливе провертання деталі та поломка ріжучого інструменту. Другою критичною умовою є гарантоване розкриття кулачків при зупинці шпинделя, що реалізується дією плунжера зворотного ходу та пружини. Для перевірки здатності патрона передавати необхідний крутний момент здійснюється відповідний інженерний розрахунок, який визначає межі його роботоздатності та забезпечує надійність фіксації деталі в процесі обробки.

Побудуємо розрахункову схему затиску деталі в інерційному патроні див. рис.3.2.

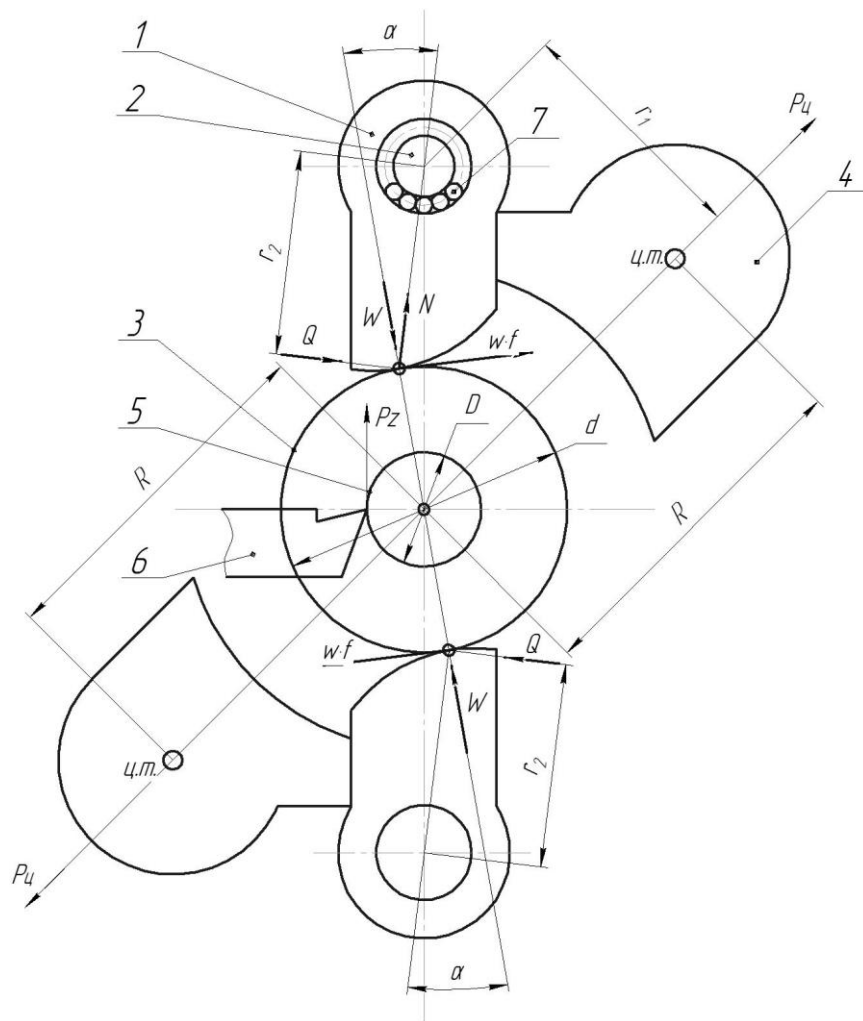


Рис. 3.2. Розрахункова схема затиску деталі

1 – кулачок з радіально-ексцентричною затискною поверхнею; 2 – вісь обертання кулачка; 3 – поверхня затиску; 4 – інерційний вантаж; 5 – оброблювана поверхня; 6 – різець; 7 – ролики;  $P_u$  – відцентрова сила;  $P_z$  – тангенційна сила різання;  $r_1$  – плече дії сили  $P_u$ , відстань від вісі обертання кулачка до центру ваги вантажу;  $Q$  – сила діюча на кулачок внаслідок сил інерції  $P_u$ ;  $r_2$  – плече дії сили  $Q$ ;  $N$  – складова від сили  $W$  на нормаль до вісі;  $R$  – відстань від центру обертання патрону до центру ваги вантажу  $W$  – сила затиску деталі, виникаюча від взаємодії радіально-ексцентрикової поверхні кулачка і поверхні затиску;  $d$  – діаметр поверхні затиску;  $D$  – діаметр оброблюємої поверхні;  $\alpha$  – кут підйому радіально-ексцентрикової поверхні кулачка;  $f$  – коефіцієнт тертя між поверхнями і кулачка і затискаємою деталлю.

На схемі приведено вектори дії сили різання  $P_z$  утвореної в процесі обробки. Також наведені протидіючі сили, які виникають в затискних елементах з врахуванням до

плеча дії сили, яка виникає за рахунок інструкції. Та дії нормальної сили. Представлена дія відцентрової сили  $P_{\text{ц}}$  з врахування плеча дії сили у вигляді відстані від вісі обертання кулачка до центру ваги вантажу. Та відстані від центру обертання патрону до центра ваги вантажу.

Враховано дію кута підйому радіального-ексцентрика поверхні кулачка.

Визначимо головну умову рівноваги розрахунку інерційного вантажу. Головна умова рівноваги системи на Рис. 3.2 описується рівнянням:

$$M(Pz) \leq \frac{M(w \cdot f)}{\eta} \quad (3.1)$$

де  $M(Pz)$  – крутний момент від сил різання;

$M(w \cdot f)$  – крутний момент від сил затиску;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії пари кулачок-вісь.

Згідно Рис. 3.2 визначимо значення моменту  $M(Pz)$ :

$$M(Pz) = Pz \cdot 0,5D \quad (3.2)$$

Тоді момент від сил затиску визначиться:

$$M(w \cdot f) = w \cdot f \cdot 0,5d \quad (3.3)$$

Прирівнявши рівняння (3.1) і (3.2), з урахуванням рівняння (3.3), отримуємо:

$$Pz \cdot 0,5D = W \cdot f \cdot 0,5d \cdot \eta \quad (3.4)$$

Визначимо із рівняння (13) значення  $W$ :

$$W = \frac{Pz \cdot 0,5D}{f \cdot 0,5d \cdot \eta} \quad (3.5)$$

З розкладу сил на Рис. 3.2 відомо співвідношення між силами  $W$  та  $Q$ :

$$W = \frac{Q}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (3.6)$$

Одночасно з тим, рівняння яке виказує дію сили  $Q$  має вигляд:

$$Q \cdot r_2 = P_{\text{ц}} \cdot r_1 \quad (3.7)$$

Визначивши з рівняння (3.7) силу  $Q$  отримаємо:

$$Q = \frac{P_{\psi} \cdot r_1}{r_2} \quad (3.8)$$

Відцентрова сила  $P_{\psi}$  визначена рівнянням, приведеним в роботі [12]:

$$P_{\psi} = 0,001G \cdot R \cdot n^2 \quad (3.9)$$

де  $G$  – вага інерційного вантажу;

$n$  – кількість обертів патрону.

Підставивши значення  $P_{\psi}$  із формули (3.6) в формулу (3.7) отримаємо:

$$Q = \frac{0,001G \cdot R \cdot n^2 \cdot r_1}{r_2} \quad (3.10)$$

Підставимо значення  $Q$  із рівняння (3.8) в рівняння (3.3), отримаємо:

$$W = \frac{0,001G \cdot R \cdot n^2 \cdot r_1}{r_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (3.11)$$

Прирівнюємо рівняння (3.3) та (3.8), отримуємо:

$$\frac{P_z \cdot 0,5D}{f \cdot \eta \cdot d} = \frac{0,001G \cdot R \cdot n^2 \cdot r_1}{r_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (3.12)$$

Вирішимо дане рівняння відносно ваги інерційного вантажу  $G$ :

$$G = \frac{P_z \cdot r_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot D}{d \cdot f \cdot \eta \cdot 0,001R \cdot n^2 \cdot r_1} \quad (3.13)$$

З урахуванням того, що затиск деталі здійснюється одночасно двома кулачками, а також з урахуванням коефіцієнту запасу  $K_3$  вираз (3.12) має вигляд:

$$G = \frac{P_z \cdot r_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot D \cdot K_3}{2d \cdot f \cdot \eta \cdot 0,001R \cdot n^2 \cdot r_1} \quad (3.14)$$

Виконуємо розрахунок патрону. Вихідні дані для розрахунку наведено в табл.3.1

## Вихідні дані

| №<br>п/п | Найменування                                                              | Значення | Джерело<br>інформації             |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------|
| 1        | 2                                                                         | 3        | 4                                 |
| 1        | Тангенціальна сила різання $P_z$ , кг                                     | 342      | Розділ 2.15                       |
| 2        | Кількість обертів патрону $n$ , об/хв                                     | 670      | Розділ 2.15                       |
| 3        | Оброблюємий діаметр $D$ , мм                                              | 42,0     | Креслення деталі                  |
| 4        | Закріплюємий діаметр $d$ , мм                                             | 38,5     | Креслення деталі                  |
| 5        | Кут підйому радіально-ексцентрикової<br>поверхні кулачка $\alpha$ , град. | 12,0     | [12], стор. 139<br>(рекомендації) |
| 6        | Коефіцієнт тертя між взаємодіючими<br>поверхнями $f$                      | 17       | [18], стор.158                    |
| 7        | Коефіцієнт корисної дії пари<br>кулачок-вісь, $\eta$                      | 0,95     | [15], стор.227                    |
| 8        | Відстань від центра обертання патрону<br>до центру ваги вантажа $R$ , мм  | 55,0     | Креслення<br>патрону              |
| 9        | Плече дії сили $P_u$ , $r_1$ , мм                                         | 50,0     | Креслення<br>патрону              |
| 10       | Плече дії сили $Q$ , $r_2$ , мм                                           | 35,0     | Креслення<br>патрону              |
| 11       | Коефіцієнт запасу затиску $K_3$                                           | 1,5      | [12], стор.141                    |

Виконуємо розрахунок ваги інерційних вантажів:

$$G = \frac{342 \cdot 0,035 \cdot 0,212 \cdot 0,042 \cdot 1,5}{2 \cdot 0,0385 \cdot 0,7 \cdot 0,95 \cdot 0,001 \cdot 0,055 \cdot 670^2 \cdot 0,05} = 2,5 \text{ кг}$$

### Розрахунок контактних напружень в з'єднанні кулачок-вісь

На Рис. 3.2 видно, що на вісь кулачка 2 діє сила  $N$ , яка є складовою сили  $W$ , розміщеній на нормалі до вісі. Значення сили  $N$  визначається рівнянням:

$$N = W \cdot \cos \alpha \quad (3.15)$$

З урахуванням рівняння (14) визначаємо:

$$N = \frac{P_z \cdot 0,5D}{f \cdot 0,5d\eta} \cdot \cos \alpha \quad (3.16)$$

Як видно з Рис. 3.2 кулачок контактує з віссю через ролики 7, з урахуванням чого необхідно визначити допустимість контактних напружень, виникаючих між поверхнями вісі 2 і роликів 7. Згідно з формулою Герца [16] для визначення контактних напружень маємо вираз:

$$\tau = 0,145 \sqrt{\frac{q \cdot E}{\rho}} \quad (3.17)$$

де  $q$  – питоме навантаження на 1 см довжини контактних ліній;

$\rho$  – приведений радіус кривизни контактуємих поверхонь;

$E$  – модуль пружності,  $E = 2,15 \times 10^6$  кг/см<sup>2</sup>;

Значення  $q$  визначаємо по формулі:

$$q = \frac{N}{l} \quad (3.18)$$

де  $l$  – довжина контактної лінії.

Значення  $\rho$  визначаємо по формулі:

$$\rho = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \quad (3.19)$$

де  $\rho_1$  – радіус ролика;

$\rho_2$  – радіус вісі.

Таким чином, з урахуванням приведених виразів, отримаємо:

$$\tau = 0,145 \sqrt{\frac{N \cdot 2,15 \cdot 10^6 (\rho_1 + \rho_2)}{l \cdot \rho_1 \cdot \rho_2}} \quad (3.20)$$

При цьому для прийнятих матеріалів ролика – сталь ШХ15 і вісі – сталь 40Х:

$$[\tau] = \frac{[\sigma]}{2,9} = \frac{10000}{2,9} = 3448 \text{ кг/см}^2$$

Таблиця 3.2

Розрахунок контактних напружень

| № з/п | Визначаємий параметр                                | Розрахункова формула                                                                                | Розрахунок                                                                                                |
|-------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Осьова сила<br>N, кг                                | $N = \frac{Pz \cdot 0,5D}{f \cdot 0,5d\eta}$                                                        | $N = \frac{342 \cdot 0,5 \cdot 0,042}{0,7 \cdot 0,5 \cdot 0,0385 \cdot 0,95} = 56,1 \text{ кг}$           |
| 2     | Контактне напруження<br>$\tau$ , кг/см <sup>2</sup> | $\tau = 0,145 \sqrt{\frac{N \cdot 2,15 \cdot 10^6 (\rho_1 + \rho_2)}{l \cdot \rho_1 \cdot \rho_2}}$ | $\tau = 0,145 \sqrt{\frac{56,1 \cdot 2,15 \cdot 1,6 \cdot 10^6}{2,0 \cdot 0,437}} = 2860 \text{ кг/см}^2$ |

$$[\tau] = 3448 \text{ кг/см}^2, \tau = 2860 \text{ кг/см}^2$$

Таким чином  $\tau_p < [\tau]$ .

Розрахунок пристрою на точність має за мету визначення необхідної точності його виготовлення по вибраному параметру, до яких відносяться:

- а) допуски на координуючі розміри, що задані від баз чи базових поверхонь;
- б) допуски взаємного розміщення (непаралельності або не перпендикулярності тощо) баз або базових поверхонь затискного пристрою.

Точність виготовлення пристрою з достатнім наближенням, а саме тих його елементів, які впливають на точність оброблюваного розміру може бути оцінена допуском, який визначається за формулою:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = T_A - K_m \cdot (K_{m1} \cdot \varepsilon_{\text{б}})^2 + \varepsilon_3^2 + (k_{m2} \cdot \omega_{m.o})^2$$

де  $T_A$  — допуск на виконуваний розмір;

$\varepsilon_{\text{б}}$  — похибка базування деталі;

$K_m$  — коефіцієнт, що враховує відхилення розкиду значень складових величин від закону нормального розподілу ( $K_m = 0,9-1,2$ );

$K_{m1}$  — коефіцієнт, що враховує зменшення граничного значення похибки

базування при роботі на налаштованому обладнанні ( $K_{m1}=0,8-0,85$ );

$K_{m2}$  — коефіцієнт, що враховує долю похибки обробки в сумарній похибці, що є наслідком факторів, які не залежать від пристрою  $K_{m2}=(0,6-0,8)$ ;

$\omega_{m.o}$  — середня економічна точність обробки (визначається по таблицям допустимих похибок для даного методу обробки)[11, т.1 с.8-12]

$\varepsilon_3$  — похибка закріплення деталі [8, с.16-19]

При використанні механізованих затискних пристроїв, що забезпечують сталість сили затиску похибка закріплення деталі дорівнює нулю.

$$\varepsilon_{\text{пр}} = 0.062 \cdot 0.9 \cdot \sqrt{(0.8 \cdot 0)^2 + 0 + (0.6 \cdot 0.062)^2} = 0.00207$$

## **3.2. Розрахунок та розробка конструкції контрольно-вимірювального пристрою**

### **3.2.1. Опис конструкції та роботи пристрою**

Контрольний пристрій індикаторного типу (рис. 3.3) призначений для вимірювання розміру  $44,3 \pm 0,05$  мм у корпусі кутової головки УЯИШ.731347.006 ГУ 90-3 та забезпечує стабільність контролю геометричного параметра з високою точністю.

Конструктивно пристрій складається з кутника (поз. 1), корпусу (поз. 11), кулачків (поз. 16), кронштейна (поз. 18), вставки (поз. 8) та стійки (поз. 14). Кожен елемент виконує функцію забезпечення необхідної жорсткості, точності позиціонування та відтворюваності вимірювання.

Корпус пристосування (поз. 11) встановлюється у вертикальний колодязь корпусу кутової головки й фіксується за допомогою гвинта та затискних кулачків, що

забезпечує надійне та безперешкодне розміщення пристрою під час контролю. Перед затисканням пристосування виконується його попередня орієнтація за допомогою вставки (поз. 8), яка забезпечує правильне взаємне положення елементів і мінімізує похибку базування.

Такий підхід гарантує стабільність вимірювань та забезпечує відповідність контрольованого розміру вимогам технічної документації.

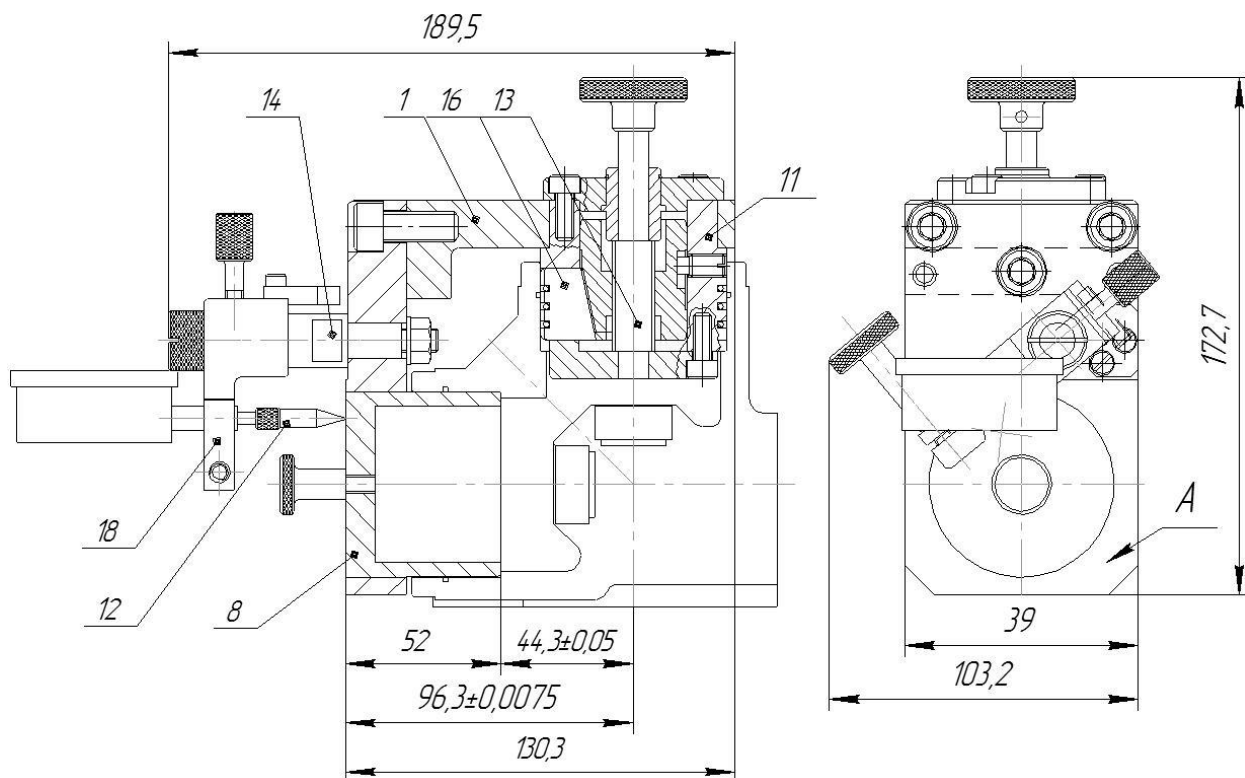


Рис. 3.3. Конструкція контрольно-вимірювального пристрою:  
1- кутник; 8 – вставка; 11- корпус; 12 – ніжка індикатора; 13 – гвинт; 14 – стійка; 16 – кулачок; 18 – кронштейн.

Після закріплення пристосування вставка (поз. 8) встановлюється до упору в горизонтальний колодязь корпусу ГУ, що забезпечує точне базування елемента відносно контрольованої зони. Після фіксації пристосування кронштейн (поз. 18) повертається таким чином, щоб ніжка індикатора торкалася площини А, яка є контрольованою базовою поверхнею.

Далі здійснюється установка індикатора на нульове значення. Після цього кронштейн плавно повертається до положення, у якому ніжка індикатора контактує з торцевою поверхнею вставки. За зміною показів індикатора

визначається різниця між виміряними значеннями на площині А та площині вставки.

Отримана різниця не повинна перевищувати  $\pm 0,05$  мм, що свідчить про відповідність контрольованого розміру вимогам технічної документації та забезпечує необхідну геометричну точність деталі.

Перевірку умов працездатності контрольного пристрою визначаємо за формулою:

$$\sqrt{\Delta_{\delta}^2 + \Delta_{\delta\delta}^2 + \Delta_{nn}^2 + \Delta_{\delta\delta}^2 + \Delta_{\delta\delta}^2 + \Delta_{\delta\delta}^2} \leq [\Delta_{\text{вим}}],$$

де:  $\Delta_{\delta}$  – похибка базування контрольованої деталі,  $\Delta_{\delta} = 0$ ;

$\Delta_{\delta\delta}$  – похибка встановлення деталі,  $\Delta_{\delta\delta} = 0,001$  мм ;

$\Delta_{nn}$  – похибка передавального пристрою,  $\Delta_{nn} = 0,002$  мм ;

$\Delta_{\delta\delta}$  – похибка вимірювального засобу,  $\Delta_{\delta\delta} = 0,0005$  мм ;

$\Delta_{\delta\delta}$  – похибка встановлення засобу вимірювання,  $\Delta_{\delta\delta} = 0,0009$  мм ;

$\Delta_{\delta\delta}$  – похибка відліку ,  $\Delta_{\delta\delta} = 0$

$[\Delta_{\text{вим}}]$  – допустима похибка вимірювання,  $[\Delta_{\text{вим}}] = 0,0025$  мм .

Тоді:

$$\sqrt{0,001^2 + 0,002^2 + 0,0005^2 + 0,0009^2} = 0,0024 \text{ мм}$$

Умова виконується.

Креслення загального виду контрольного пристрою виконується в такій кількості проєкцій, яка є достатньою для повного розкриття його конструкції та принципу роботи. Деталь, що підлягає контролю, зображується тонкими лініями у положенні, яке відповідає фактичним умовам вимірювання, що забезпечує наочність та коректність сприйняття конструктивних рішень.

На кресленні наносяться всі необхідні габаритні та установчі розміри, а також посадки основних спряжень. Додатково вказуються допуски розташування найважливіших поверхонь, що впливають на точність контролю. У стислому вигляді формулюються технічні вимоги до контрольного пристрою, включаючи вимоги до точності, жорсткості, надійності фіксації та умов експлуатації.

Креслення загального виду контрольного пристосування подано в графічній частині дипломного проєкту та є основою для виготовлення, налаштування та подальшого використання пристрою у виробничих умовах.

### 3.3. Розрахунок та розробка конструкції спеціального ріжучого інструменту

#### 3.3.1. Опис конструкції спеціального ріжучого інструменту

Розрахунок проводимо для торцевої насадної фрези (рис. 3.4) з механічним кріпленням пластинок з твердого сплаву, яка використовується при обробці торця корпус УЯИШ.731347.006 на обробному центрі HYUNDAI WIA HS4000.

#### 3.3.2. Розрахунок фрези

Попередньо задаємося шириною  $B$  фрези і відповідно її діаметром  $D$ , числом зубців  $z$  і кутом  $\omega$ :  $B=46\text{мм}$ ;  $D=105\text{мм}$ ;  $z=6\text{шт}$ ;  $\omega=20^\circ$ .

Подачу вибираємо по карті 32 [7]. Для чорнового фрезерування заготовки із високоміцного чавуну торцевою фрезою із вставними ножами при заданих умовах роботи  $s_z=0,12-0,2$  мм/зуб приймаємо  $s_z=0,15$  мм/зуб.

Діаметр отвору під оправку

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{сум}}}{0,1\sigma_{\text{ИД}}}}$$

а) Сила різання при  $t=h=4\text{мм}$  [4]

$$P_z = \frac{C_p t^{x_p} s^{y_p} B z}{D^{q_p}} = \frac{68 \cdot 3^{0,86} \cdot 0,15^{0,74} \cdot 46 \cdot 6}{105^{0,86}} = 1285 \text{кгс}$$

б) Рівнодіюча сила

$$R = 1,411 P_z = 1,411 \cdot 1285 = 1814 \text{кгс}$$

в) Сумарний момент, що діє на фрезерну оправку,

$$\begin{aligned} M_{\text{ссу}} &= \sqrt{\left(\frac{3}{16} R l\right)^2 + \left(\frac{P_z D}{2}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{3}{16} 1814 \cdot 70\right)^2 + \left(\frac{1285 \cdot 105}{2}\right)^2} = 155200 \text{кгс} \cdot \text{мм} \end{aligned}$$

д) Допустиме напруження на згин матеріалу оправки приймаємо  $\sigma_{\text{ид}}=250\text{МН/м}^2$  ( $\sim 25\text{кгс/мм}^2$ ); підставив а приведену вище формулу знайдені значення  $M_{\text{сум}}$  и  $\sigma_{\text{ид}}$ , отримаємо діаметр отвору фрези:

$$d = \sqrt[3]{\frac{155200}{0,1 \cdot 25}} 38,4\text{мм}$$

приймаємо найближчий діаметр отвору фрези по табл.79 [9]:  $d=40\text{мм}$ .

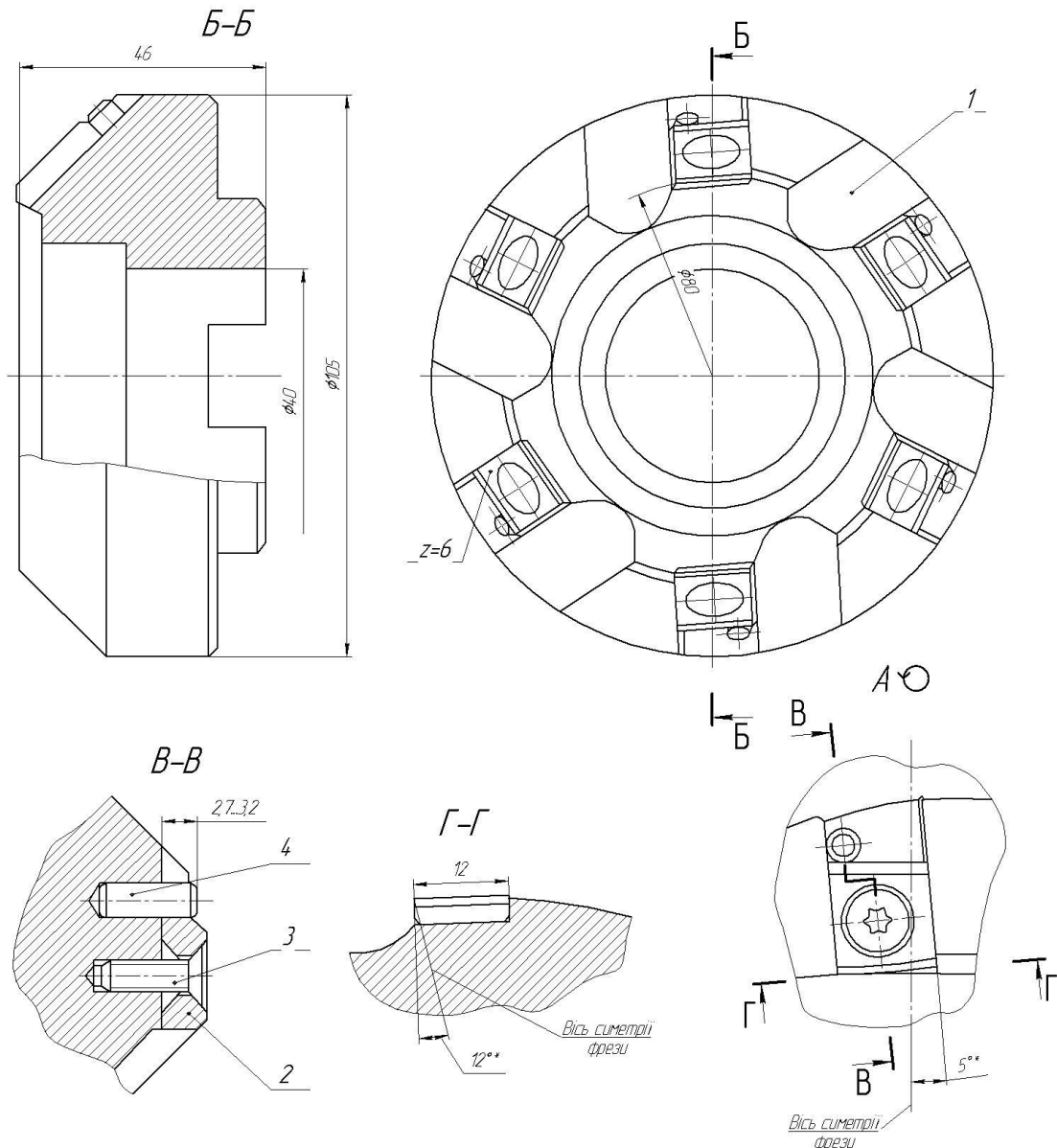


Рис. 3.4 Конструкція торцевої насадної фрези

Встановлюємо кінцево зовнішній діаметр фрези  $D=2,5 \cdot d=2,5 \cdot 38,4=96\text{мм}$ ; приймаємо ближчий діаметр фрези по ГОСТу  $D=105\text{мм}$ .

Кінцево число зубів фрези  $z=m\sqrt{D}=1,5\sqrt{105}=5,23$ ; приймаємо  $z=6$ .

Визначаємо геометричні параметри ріжучої частини фрези: головний задній кут  $\alpha=12^\circ$ ; передній кут  $\gamma=10^\circ$ .

Вибираємо матеріал фрези: корпус – сталь 40Х; ножі – твердий сплав Т15К6.

Креслення спеціального ріжучого інструменту виконується в такій кількості проєкцій і перерізів, яка є необхідною для повного розкриття його конструктивних особливостей та принципу роботи. Це забезпечує коректне відтворення форми інструмента та його функціональних елементів, що є критично важливим для виготовлення та подальшої експлуатації.

На кресленні наносяться всі необхідні розміри, вимоги до параметрів шорсткості поверхонь, а також допуски розташування найбільш відповідальних поверхонь, які впливають на точність обробки та стабільність ріжучих властивостей інструмента. У стислому вигляді формулюються технічні вимоги, що регламентують характеристики матеріалу, твердість робочих частин, точність виготовлення та умови контролю.

Складальне креслення ріжучого інструменту наведено в графічній частині дипломного проєкту та слугує основою для його виготовлення, налаштування та застосування у виробничому процесі.

## **4. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА**

### **4.1 Дослідженням операції зубофрезерування методом копіювання з використання дискового інструменту .**

Проблематика традиційних методів виготовлення зубчастих профілів механічних передач належить до категорії найбільш технологічно складних задач машинобудування. Традиційно дана операція реалізується методом обкочування на спеціалізованих зубообробних верстатах із використанням інструменту складної геометричної форми. Суттєвим недоліком цього підходу є наявність жорсткого кінематичного зв'язку (ланцюга обкочування) між рухами інструменту та заготовки. Цей фактор лімітує швидкість різання і, як наслідок, унеможливорює повну реалізацію потенціалу різальних властивостей сучасних інструментальних матеріалів, обмежуючи загальну продуктивність обробки.

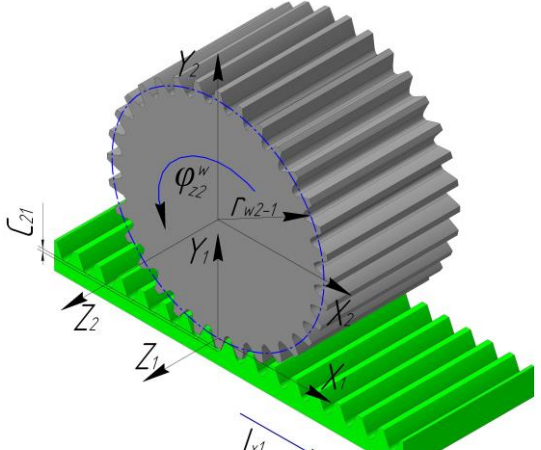
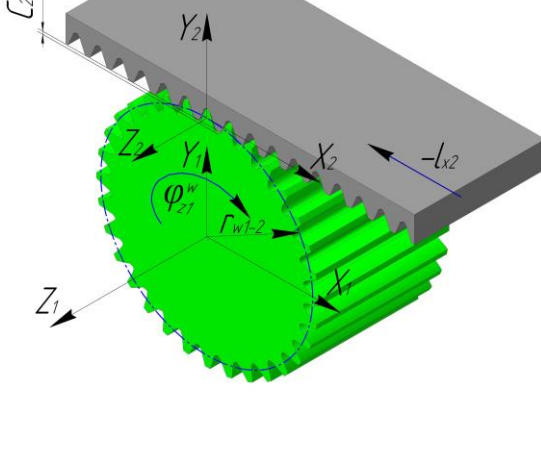
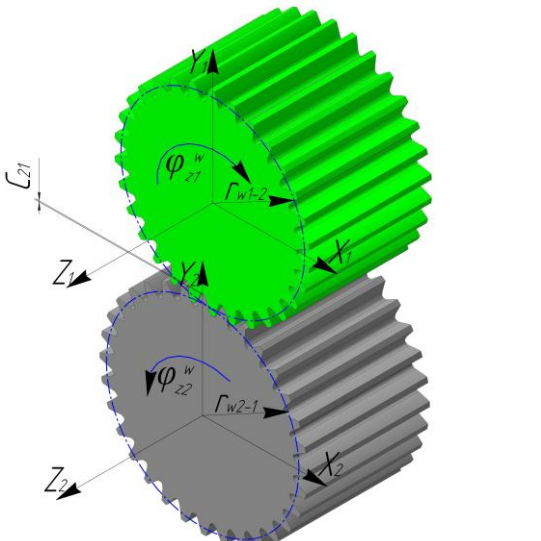
Альтернативні технологічні рішення Перспективним напрямком вирішення окресленої проблеми є застосування методу контурної обробки (метод копіювання), який дозволяє елімінувати залежність швидкості різання від кінематики формоутворення профілю. Використання цього методу для виготовлення зубчастих ланок забезпечує синергію технологічних можливостей сучасних металорізальних верстатів та експлуатаційних характеристик нових інструментальних матеріалів [3, 4].

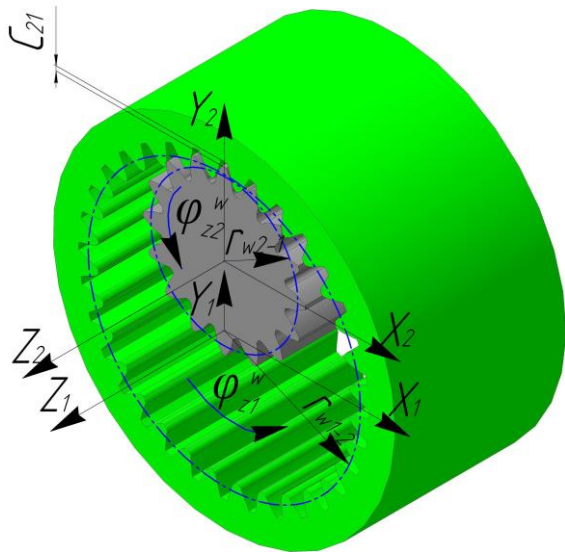
Об'єкт та умови дослідження У рамках даної роботи розглядається технологічний процес виготовлення деталі типу вал. Обробка зубчастого профілю здійснюється на сучасному багатоцільовому верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК) моделі WIA HYUNDAI KH63G, що створює передумови для реалізації високоефективних схем різання.

Аналіз кінематичних схем Для визначення оптимального методу обробки зубчастого профілю деталі «рейка-поршень» проведено систематизацію та аналіз узагальнених кінематичних схем і математичних моделей зубчастих профілів різних класів та типів. Такий підхід дозволяє уніфікувати множину можливих варіантів теоретичного та технологічного формоутворення поверхонь.

Класифікацію схем наведено в табл. 4.1, де зеленим кольором марковано вихідні твірні контури (або вихідні твірні поверхні).

Таблиця 4.1.

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | $m_{rII(1-2)} = m_{\varphi_{z2}^w} m_{Cy12} m_{l1} m_{rII(1)}$ $-\frac{\pi}{4} \leq \varphi_{z2}^w \leq \frac{\pi}{4}$ $l_{x1} = K_{lx1} \varphi_{z2}^w$ $K_{lx1} = -r_{w(2-1)}$ $C_{y12} = -r_{w(2-1)}$ $n_x \cdot v_x + n_y v_y = 0$                                                                         |
|   | $m_{rII(1-2)} = m_{l2} m_{Cy12} m_{\varphi_{z1}^w} m_{rII(1)}$ $-\frac{\pi}{4} \leq \varphi_{z1}^w \leq \frac{\pi}{4}$ $l_{x2} = K_{lx2} \varphi_{z1}^w$ $K_{lx2} = r_{w(1-2)}$ $C_{y12} = -r_{w(1-2)}$ $n_x \cdot v_x + n_y v_y = 0$                                                                          |
|  | $m_{rII(1-2)} = m_{\varphi_{z2}^w} m_{Cy12} m_{\varphi_{z1}^w} m_{rII(1)}$ $-\frac{\pi}{4} \leq \varphi_{z1}^w \leq \frac{\pi}{4}$ $\varphi_{z2}^w = K_{\varphi_{z2}^w} \varphi_{z1}^w$ $K_{\varphi_{z2}^w} = \frac{r_{w(1-2)}}{r_{w(2-1)}}$ $C_{y12} = r_{w(1-2)} + r_{w(2-1)}$ $n_x \cdot v_x + n_y v_y = 0$ |



$$m_{rII(1-2)} = m_{\phi_{z2}^w} m_{Cy12} m_{\phi_{z1}^w} m_{rII(1)}$$

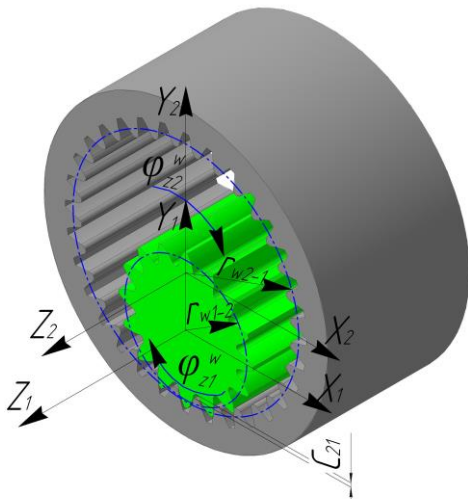
$$-\frac{\pi}{4} \leq \phi_{z1}^w \leq \frac{\pi}{4}$$

$$\phi_{z2}^w = K_{\phi_{z2}^w} \phi_{z1}^w$$

$$K_{\phi_{z2}^w} = -\frac{r_{w(2-1)}}{r_{w(1-2)}}$$

$$C_{y12} = -(r_{w(2-1)} - r_{w(1-2)})$$

$$n_x \cdot v_x + n_y v_y = 0$$



$$m_{rII(1-2)} = m_{\phi_{z2}^w} m_{Cy12} m_{\phi_{z1}^w} m_{rII(1)}$$

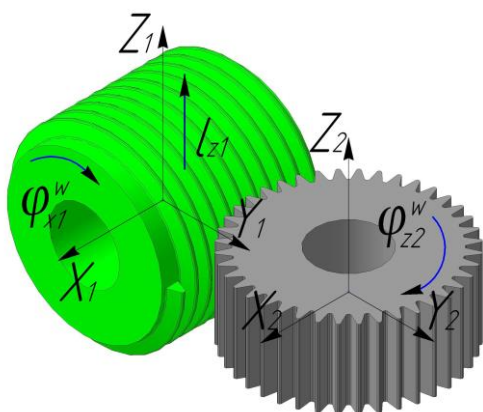
$$-\frac{\pi}{4} \leq \phi_{z1}^w \leq \frac{\pi}{4}$$

$$\phi_{z2}^w = K_{\phi_{z2}^w} \phi_{z1}^w$$

$$K_{\phi_{z2}^w} = -\frac{r_{w(1-2)}}{r_{w(2-1)}}$$

$$C_{y12} = -(r_{w(2-1)} - r_{w(1-2)})$$

$$n_x \cdot v_x + n_y v_y = 0$$



$$m_{rII(1-2)} = m_{\phi_{z2}^w} m_{Cy12} m_{\phi_{z1}^w} m_{rII(1)}$$

$$-\frac{\pi}{4} \leq \phi_{z1}^w \leq \frac{\pi}{4}$$

$$\phi_{z2}^w = K_{\phi_{z2}^w} \phi_{z1}^w$$

$$K_{\phi_{z2}^w} = -\frac{r_{w(2-1)}}{r_{w(1-2)}}$$

$$C_{y12} = r_{w(2-1)} - r_{w(1-2)}$$

$$n_x \cdot v_x + n_y v_y = 0$$

Обґрунтування вибору моделі На основі проведеного аналізу для подальших теоретичних досліджень обрано математичну модель № 1. Дана модель аналітично описує умови зачеплення рейкової передачі та є найбільш релевантною для задач проектування технології обробки деталі типу «рейка-поршень».

Моделювання кінематики контурної обробки Наступний етап роботи присвячено дослідженню процесу контурного фрезерування зубчастих вінців із довільним, попередньо детермінованим профілем, із застосуванням інструменту простої геометричної форми (наприклад, стандартних кінцевих фрез).

У рамках дослідження розроблено узагальнену математичну модель кінематики формоутворення вказаних поверхонь на фрезерному обладнанні, оснащеному поворотним столом (4-та або 5-та координата).

На основі розробленої моделі виконано:

Розрахунок траєкторій руху виконавчих органів верстата.

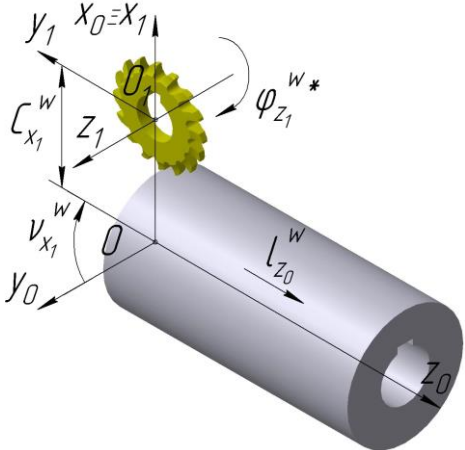
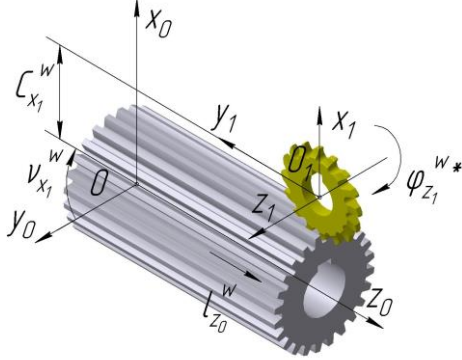
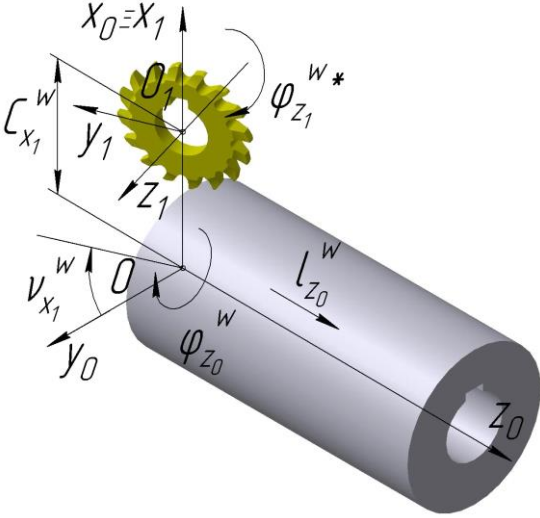
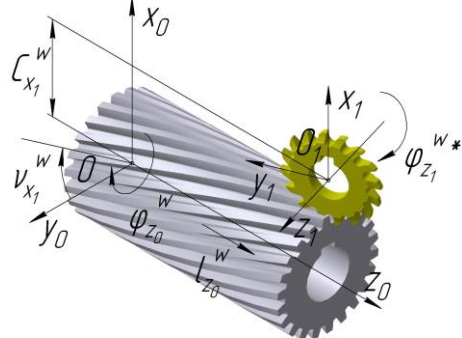
Визначення характеру та діапазону варіювання кінематичних параметрів рухів (лінійних та кутових переміщень, швидкостей, прискорень).

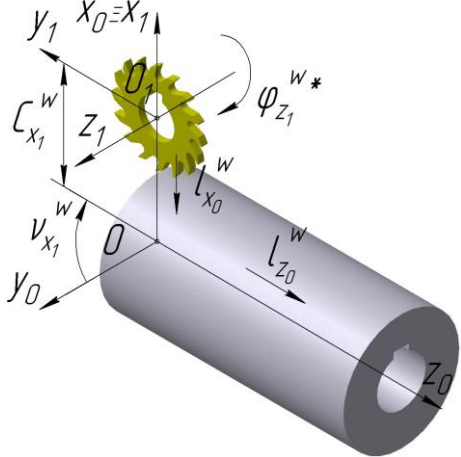
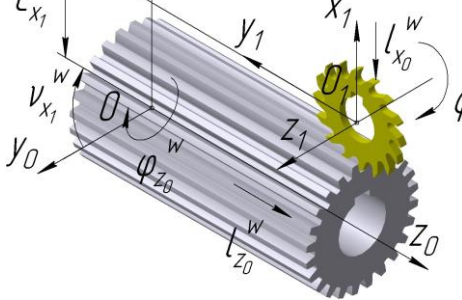
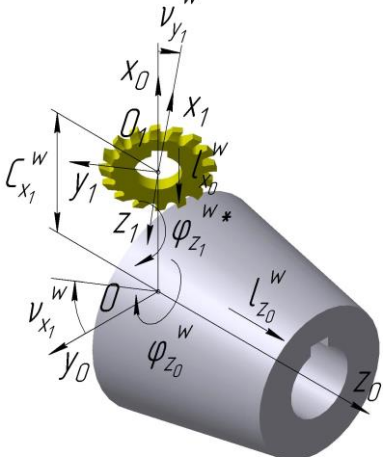
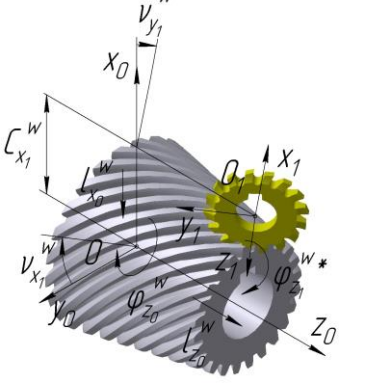
Зведені результати кінематичного аналізу представлено в табл. 4. 2.

Перспективи подальших досліджень Логічним продовженням роботи є оцінка ефективності запропонованого методу обробки. Пріоритетним завданням визначено аналіз продуктивності процесу та встановлення кореляційних зв'язків між показниками продуктивності та силовими характеристиками різання (силами різання, крутним моментом), що виникають у процесі формоутворення.

Таблиця 4.2.

Приклади кінематичних схем та математичних моделей формоутворення зубчастих вінців зубчастих коліс дисковими тілами різними способами

| №<br>п/п | Кінематична модель<br>формоутворення                                                | Математична модель<br>формоутворення                                                                                                                                                                                                               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | 2                                                                                   | 3                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 1        |    |  $m_{r\partial 0 I / D} = m_{\ell_{z0}^w} \cdot$ $\cdot m_{v_{x1}^w C_1^w} \cdot m_{rH1},$ $v_{x1}^w = 90^\circ$                                                 |
| 2        |  |  $m_{r\partial 0 I / D} = m_{\varphi_{z0}^w \ell_{z0}^w} \cdot$ $\cdot m_{v_{x1}^w C_{x1}^w} \cdot m_{rH1},$ $v_{x1}^w = 70^\circ, l_{z0}^w = K\varphi_{z0}^w$ |

|   |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 |   |  $m_{r\partial 0 I / D} = m_{\ell_{x0}^w} \cdot m_{\varphi_{z0}^w \ell_{z0}^w} \cdot m_{v_{x1}^w C_{x1}^w} \cdot m_{v_{y1}^w} \cdot m_{r_{H1}},$ $l_{x0}^w = f(\varphi_{z0}^w), v_{x1}^w = 90^\circ, l_{z0}^w = K \varphi_{z0}^w$ |
| 4 |  |  $m_{r\partial 0 I / D} = m_{\ell_{x0}^w} \cdot m_{\varphi_{z0}^w \ell_{z0}^w} \cdot m_{v_{x1}^w C_{x1}^w} \cdot m_{v_{y1}^w} \cdot m_{r_{H1}},$ $l_{x0}^w = K_1 l_{z0}^w, v_{x1}^w = 45^\circ, l_{z0}^w = K_2 \varphi_{z0}^w$   |

#### Мета роботи

Метою дослідження є комплексна оцінка продуктивності процесу контурної обробки зубчастих профілів механічних передач дисковим інструментом, а також встановлення функціональних залежностей між силовими характеристиками різання та показниками продуктивності в умовах варіювання режимів обробки.

#### Задачі дослідження

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі задачі:

Розробка математичної моделі процесу контурної обробки зубчастих профілів із застосуванням дискового інструменту.

Виведення аналітичних залежностей для розрахунку продуктивності формоутворення та продуктивності зняття стружки (об'ємної продуктивності) для даного методу обробки.

Проведення експериментальних досліджень процесу контурної обробки при нарізанні періодичних профілів на призматичних заготовках для верифікації теоретичних положень.

Встановлення емпіричних залежностей сили різання від показників продуктивності для різних режимів різання.

Показники продуктивності процесу

Основними критеріями ефективності, що характеризують інтенсивність функціонування формоутворюючої системи верстата, визначено продуктивність формоутворення та продуктивність зняття стружки [1].

Продуктивність формоутворення визначається як швидкість зростання площі обробленої поверхні в часі. Для кількісної оцінки цього параметра використовують значення миттєвої продуктивності, що описується залежністю [1]:

$$\Pi_{\phi} = \frac{dS}{dt} \quad (1)$$

Площа обробленої поверхні розраховується за залежністю:

$$S = \iint_S |d\mathbf{S}| \quad (2)$$

де  $d\mathbf{S}$  – вектор, модуль якого визначає елемент площі поверхні [7]:

$$|d\mathbf{S}| = |\mathbf{r}_u \times \mathbf{r}_v| du dv \quad (3)$$

$\mathbf{r}_u, \mathbf{r}_v$  – часткові похідні вектора  $\mathbf{r}_0$  по змінних  $u, v$ :  $\mathbf{r}_u = \frac{d\mathbf{r}_0}{du}$ ,  $\mathbf{r}_v = \frac{d\mathbf{r}_0}{dv}$ ;

$\mathbf{r}_0$  – радіус-вектор точки на оброблюваній поверхні.

У загальному випадку криволінійні координати  $u, v$  залежать від часу  $t$ :

$$u = u(w, t), \quad v = v(w, t) \quad (4)$$

де  $w$  – деяка змінна.

Тоді площа обробленої поверхні визначатиметься за залежністю:

$$S = \iint_S |\mathbf{r}_u \times \mathbf{r}_v| |D| dt dw, \quad (5)$$

де  $D$  – яacobіан перетворення [7]:

$$D = \begin{vmatrix} \frac{\partial u}{\partial w} & \frac{\partial u}{\partial t} \\ \frac{\partial v}{\partial w} & \frac{\partial v}{\partial t} \end{vmatrix}. \quad (6)$$

Підставивши вираз (5) у залежність (1), отримаємо вираз для розрахунку миттєвої продуктивності формоутворення:

$$\Pi_\phi(t) = \int_{w_1(t)}^{w_2(t)} |\mathbf{r}_u \times \mathbf{r}_v| |D| dw, \quad (7)$$

де  $w_1(t)$  і  $w_2(t)$  – граничні значення змінної  $w$  на координатній лінії виду  $t = \text{const}$ , що відповідають границям оброблюваної поверхні.

Продуктивність зняття стружки – це швидкість зростання об'єму знятої стружки в процесі обробки, для оцінки якої використовують значення миттєвої продуктивності зняття стружки  $\Pi_c$ , [1]:

$$\Pi_c = \frac{dV}{dt}. \quad (8)$$

Елемент об'єму визначається за залежністю:

$$dV = \mathbf{b} \cdot d\mathbf{S}, \quad (9)$$

де  $\mathbf{b}$  – вектор припуску, що визначається як різниця радіус-векторів точок на поверхні заготовки ( $\mathbf{r}_3$ ) і оброблюваній поверхні ( $\mathbf{r}_0$ ), записаних в одних і тих же координатах  $u, v$ :

$$\mathbf{b} = \mathbf{r}_3 - \mathbf{r}_0, \quad (10)$$

Тоді об'єм знятої стружки визначатиметься за залежністю:

$$V = \iint_S \mathbf{b} \cdot d\mathbf{S} = \iint_S \left( \mathbf{b} \cdot \frac{d\mathbf{r}_0}{du} \cdot \frac{d\mathbf{r}_0}{dv} \right) du dv. \quad (11)$$

Провівши відповідні перетворення по переходу до нових змінних  $w, t$  із використанням залежностей (8) і (11) отримаємо вираз для розрахунку миттєвої продуктивності зняття стружки:

$$P_c(t) = \int_{w_1(t)}^{w_2(t)} \left( \mathbf{b} \cdot \frac{d\mathbf{r}_0}{du} \cdot \frac{d\mathbf{r}_0}{dv} \right) |D| dw, \quad (12)$$

При фіксованих режимах різання за миттєвою продуктивністю зняття стружки  $P_c$  можна визначити величину зусилля різання.

Потужність різання  $N_{piz}$  пов'язана з  $P_c$  і тангенціальною складовою сили різання  $F_\tau$  співвідношеннями [1]:

$$N_{piz} = k_N \cdot P_c = |F_\tau \cdot v_{piz}|, \quad (13)$$

де  $k_N$  — коефіцієнт, який характеризує питому роботу по зняттю одиниці об'єму матеріалу і визначається експериментально для заданих умов обробки;  $v_{piz}$  — швидкість різання.

Тоді складову сили різання  $F_\tau$  можна визначити за залежністю:

$$|F_\tau| = \frac{k_N \cdot P_c}{v_{piz}}. \quad (14)$$

Методологія експериментального дослідження та фізичного моделювання  
Обґрунтування методу дослідження

Експериментальне визначення емпіричних коефіцієнтів для заданої кінематичної схеми формоутворення є необхідною умовою для подальшого теоретичного розрахунку сил різання при варіюванні геометрії оброблюваної поверхні.

Однак безпосереднє вимірювання силових характеристик процесу контурної обробки зубчастих профілів дисковим інструментом ускладнене відсутністю спеціалізованої експериментальної бази. У зв'язку з цим доцільним є застосування методу фізичного імітаційного моделювання. Суть методу полягає у відтворенні процесу на кінематично подібній схемі взаємодії інструменту та заготовки.

Кінематична схема експерименту

Як модель-аналог обрано процес обробки, що реалізується через суперпозицію двох рухів:

Планетарного руху дискової фрези (частота обертання  $n$  об/хв).

Безперервного поступального руху призматичної заготовки вздовж осі фрези (подача  $s$ ).

Така комбінація рухів забезпечує формування на заготовці періодичних контурів (рис. 4.1), що кінематично відповідає досліджуваному процесу профілювання.

#### Технічна реалізація

Практична реалізація запропонованої схеми можлива на базі горизонтально-фрезерного верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК) або аналогічного багатоцільового оброблювального центру. Ключовим елементом технологічної оснастки є спеціальна фрезерна оправка, конструкція якої передбачає зміщення (ексцентриситет) центру осі обертання фрези (рис. 4.2).

#### Математичне моделювання формоутворюючої системи

Для аналітичного опису кінематики верстата використано метод перетворення координатних систем. Базуючись на апараті однорідних матриць перетворення [1, 5], математичну модель формоутворюючої системи для даної схеми (рис. 4.2) можна представити у наступному вигляді:

$$\mathbf{r}_0 = A_{0,1}^1(l) \cdot A_{1,2}^2(y) \cdot A_{2,3}^4(\psi) \cdot A_{3,4}^3(-e) \cdot A_{4,5}^4(\theta_i) \cdot A_{5,6}^2(-R) \cdot A_{6,7}^1(\pm B) \cdot \mathbf{e}^4, \quad (15)$$

де  $\mathbf{r}_0$  - радіус-вектор точки обробленої поверхні в системі координат заготовки;

$A_{i-1,i}^j(f)$  - матриці перетворення координат;  $i$  - номер координатного перетворення у відносному русі заготовки і інструмента;  $k$  - індекс виду координатного перетворення:  $k=1, 2, 3$  для поступальних рухів відносно осей  $OX, OY, OZ$ ;  $k=4, 5, 6$  для оберткових рухів навколо осей  $OX, OY, OZ$ ;  $f$  - параметр координатного перетворення;

$l$  - переміщення заготовки вздовж осі шпинделя;

$y$  - висота розміщення шпинделя верстата над поверхнею стола; для початкового положення фрези  $y = R + H$ , де  $H$  - висота заготовки,  $R$  - радіус фрези;

$\Psi$  – кут повороту оправки з ексцентрично розміщеною фрезою, який пов'язаний з осьовим переміщенням заготовки залежністю  $\psi = \frac{2\pi ml}{S_{x\phi}}$ , де  $n$  – частота обертання шпинделя, об/хв;  $S_{x\phi}$  – хвилинна подача стола з заготовкою, мм/хв;

$e$  – ексцентриситет встановлення фрези на оправці, для початкового положення  $e_y = 0$ ,  $e_z = 0$ ;

$\theta_i$  – кутове положення  $i$ -го леза фрези;

$B$  – половина ширини фрези, знак „ $\pm$ ” відповідає правій та лівій різальним кромкам фрези.

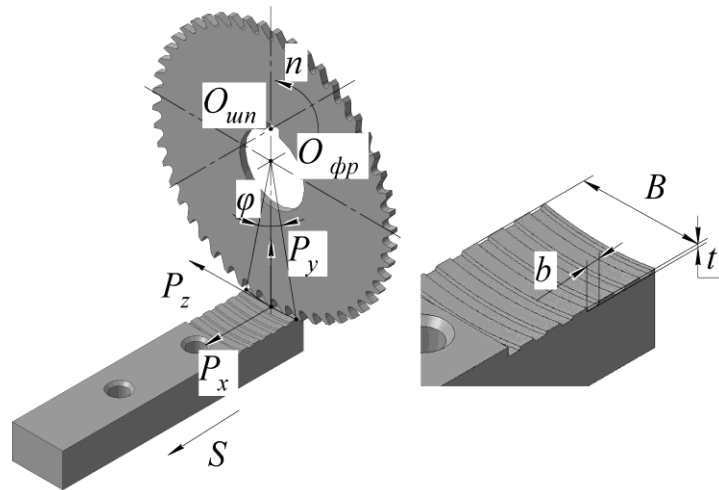


Рис. 4. 1. Імітаційна модель процесу контурної обробки зубчастих профілів дисковим інструментом

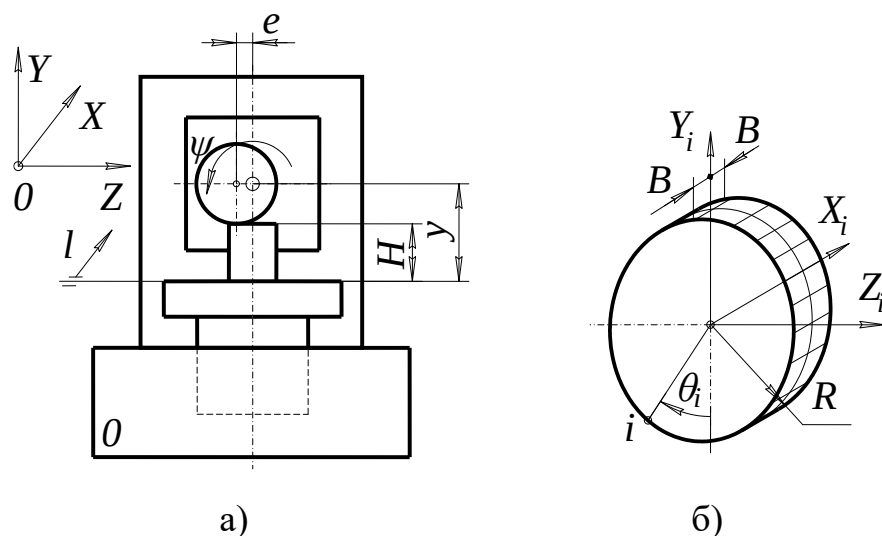


Рис. 4.2. Компонівка верстату (а) і геометрична модель фрези (б)

У розширеному вигляді рівняння (15) буде таким:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{r}_0 &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & l \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & R+H \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\left(\frac{2\pi nl}{S_{x\theta}}\right) & -\sin\left(\frac{2\pi nl}{S_{x\theta}}\right) & 0 \\ 0 & \sin\left(\frac{2\pi nl}{S_{x\theta}}\right) & \cos\left(\frac{2\pi nl}{S_{x\theta}}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \\
 &\times \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -e \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & 0 \\ 0 & \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -R \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & \pm B \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \\
 &= \begin{vmatrix} l \pm B \\ -R \cos\left(\frac{2\pi nl}{S_{x\theta}} + \theta_i\right) - e \cos\left(\frac{2\pi nl}{S_{x\theta}}\right) + R + H \\ -R \sin\left(\frac{2\pi nl}{S_{x\theta}} + \theta_i\right) - e \sin\left(\frac{2\pi nl}{S_{x\theta}}\right) - z \\ 1 \end{vmatrix}. \tag{16}
 \end{aligned}$$

Незалежними змінними в математичній моделі (15) є  $u=l$ ,  $v=\theta_i$ , тоді часткові похідні вектора  $\mathbf{r}_0$  по цих змінних:

$$\mathbf{r}_l = \frac{d\mathbf{r}_0}{dl} = \begin{vmatrix} \frac{2\pi nR}{S_{x\theta}} \sin\left(\frac{2\pi nl}{S_{x\theta}} + \theta_i\right) + \frac{2\pi ne}{S_{x\theta}} \sin\left(\frac{2\pi nl}{S_{x\theta}}\right) \\ -\frac{2\pi nR}{S_{x\theta}} \cos\left(\frac{2\pi nl}{S_{x\theta}} + \theta_i\right) - \frac{2\pi ne}{S_{x\theta}} \cos\left(\frac{2\pi nl}{S_{x\theta}}\right) \\ 1 \end{vmatrix}, \tag{17}$$

$$\mathbf{r}_\theta = \frac{d\mathbf{r}_0}{d\theta} = \begin{vmatrix} 0 \\ R \sin\left(\frac{2\pi nl}{S_{x\theta}} + \theta_i\right) \\ -R \cos\left(\frac{2\pi nl}{S_{x\theta}} + \theta_i\right) \\ 1 \end{vmatrix}. \tag{18}$$

Підставивши вирази (15) і (16) у рівняння (3) і здійснивши необхідні перетворення, отримаємо:

$$|d\mathbf{S}| = |\mathbf{r}_l \times \mathbf{r}_\theta| dld\theta_i = \left| R \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 n^2 e^2}{S_{x\theta}^2} \sin^2(\theta_i)} dld\theta_i \right|. \tag{19}$$



$$L_{BC} = \sqrt{(x_B - x_C)^2 + (y_B - y_C)^2},$$

де  $x_A, y_A, x_B, y_B, x_C, y_C$  – координати відповідних точок  $\Delta ABC$  (рис. 3), які у свою чергу знаходяться з наступних систем рівнянь:

$$\begin{cases} x_1^2 + (y_1 - t_{pi3})^2 = (R + e)^2; \\ \left( x_1 + \sqrt{e^2 - y_e(t)^2} \right)^2 + (y_1 - y_e(t))^2 = R^2; \\ -\frac{W}{2} \leq x_1 \leq \frac{W}{2}. \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_2 = \frac{W}{2}; \\ \left( x_2 + \sqrt{e^2 - y_e(t)^2} \right)^2 + (y_2 - y_e(t))^2 = R^2; \\ y_2 \leq 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_3 = -\frac{W}{2}; \\ \left( x_3 + \sqrt{e^2 - y_e(t)^2} \right)^2 + (y_3 - y_e(t))^2 = R^2; \\ y_3 \leq 0. \end{cases}$$

$$y_e(t) = -e \cos\left(\frac{2\pi n l}{S_{xg}}\right) = -e \cos\left(\frac{2\pi n t}{60}\right).$$

Підставивши (19...21) у залежність (7), отримаємо вираз для визначення продуктивності формоутворення:

$$P_\phi(t) = R \frac{S_{xg}}{60} \int_0^{\theta_i(t)} \left| \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 n^2 e^2}{S_{xg}^2} \sin^2(\theta_i)} \right| d\theta_i. \quad (22)$$

Зважаючи, що вектор припуску  $\mathbf{b}$  практично співпадає з нормаллю до поверхні, що формоутворюється, вираз (12) можна записати у вигляді:

$$P_c(t) = \int_{w_1(t)}^{w_2(t)} |\mathbf{b}| \left| \frac{d\mathbf{r}_0}{du} \times \frac{d\mathbf{r}_0}{dv} \right| |D| dw, \quad (23)$$

де  $|\mathbf{b}| \approx |b_y|$ , так як  $b_x = 0, b_y \gg b_z$ .

Середнє значення  $b_y$  у момент часу  $t$  визначається з фігури  $DCB$  (рис. 3):

$$b_y^{cp}(t) = \frac{S_{C_1CBB_1} - S_{C_1DBB_1}}{\theta_i R}, \quad (24)$$

де  $S_{C_1CB}$ ,  $S_{C_1CB_1B}$  – відповідно площі фігур  $C_1CBB_1$  і  $C_1DBB_1$  (рис. 3):

$$S_{C_1CBB_1} = \int_{x_A}^{x_B} \left( \sqrt{(R+e)^2 - (x)^2} - t_{pi3} \right) dx;$$

$$S_{C_1DBB_1} = \int_{x_A}^{x_B} \left( \sqrt{R^2 - \left( x + \sqrt{e^2 - y_e(t)} \right)^2} - y_e(t) \right) dx.$$

Аналогічно вищевикладеному, із залежності (11) отримаємо вираз для розрахунку продуктивності зняття стружки:

$$P_c(t) = b_y^{cp}(t) R \frac{S_{x\phi}}{60} \int_0^{\theta_i(t)} \left| \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 n^2 e^2}{S_{x\phi}^2} \sin^2(\theta_i)} \right| d\theta_i. \quad (25)$$

З врахуванням (25) за залежністю (14) можна визначити коефіцієнт оброблюваності матеріалу:

$$k_N = \frac{|F_\tau| v_{pi3}}{P_c}. \quad (26)$$

Для цього необхідно мати експериментальні значення тангенціальної складової сили різання  $F_\tau$  при обробці із заданою швидкістю різання  $v_{pi3}$ .

На основі розробленої математичної моделі процесу контурної обробки зубчастих профілів механічних передач дисковим інструментом (для випадку нарізання періодичних профілів на призматичних заготовках) встановлено аналітичні залежності для розрахунку показників продуктивності формоутворення та продуктивності зняття стружки. Доведено, що отримані залежності можуть бути використані для ідентифікації коефіцієнта оброблюваності матеріалу шляхом кореляції з експериментальними значеннями тангенціальної складової сили різання.

## 5. Організаційна частина.

|                            |                                    |
|----------------------------|------------------------------------|
| Деталь:                    | корпус УЯИШ. 731347.006            |
| Маса виробу:               | 0,872 кг                           |
| Маса заготовки             | 1,207 кг                           |
| Річна програма випуску:    | 2750 шт. /рік                      |
| Кількість деталей у вузлі: | 1 шт.                              |
| Матеріал:                  | алюмінієвий сплав АК7 ДСТУ 2839-94 |

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Деталь:                    | вал УЯИШ. 716614.019 |
| Маса виробу:               | 0,195 кг             |
| Маса заготовки             | 0,307 кг             |
| Річна програма випуску:    | 5500 шт./рік         |
| Кількість деталей у вузлі: | 1 шт.                |
| Матеріал:                  | сталь 40 X           |

### 5.1. Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження

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

Визначається потрібна кількість робочих місць на всіх операціях технологічного процесу за формулою:

$$q_{p(i)} = \frac{N_z \cdot t_{um(i)}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot k_v}, \quad (1)$$

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

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

$$F_{дрм} = F_n S (1 - 0,01 f), \quad (2)$$

де  $F_{дрм}$  - номінальний (режимний) фонд часу роботи обладнання в одну зміну, годин (визначається щорічно за календарем);

$S$  - режим (кількість змін) роботи цеху;

$f$  - регламентований процент втрат робочого часу, пов'язаний з плановими простоюваннями обладнання під час планових ремонтів та міжремонтного обслуговування. Для механообробного обладнання величина  $f$  може складати 8-10% ;  $k_g$  - нормативний коефіцієнт виконання норм часу (приймається у розмірі 1,01-1,1).

$$q_p = \frac{2750 \cdot 8,39}{3890 \cdot 60 \cdot 1} = 0,099$$

Далі визначається коефіцієнт завантаження обладнання по кожній деталі-операції:

$$\eta_{z(i)} = \frac{q_{p(i)}}{q_{np(i)}} \quad (3)$$

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

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

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

$m$  - кількість операцій технологічного процесу.

Таблиця 5.1

Розрахунок завантаження обладнання

| №<br>опер               | Найменування<br>операції | Т <sub>шт</sub> | Кількість<br>обладнання |                 | η <sub>з</sub> | η̄ <sub>з</sub> |
|-------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
|                         |                          |                 | q <sub>p</sub>          | q <sub>np</sub> |                |                 |
| корпус УЯИШ. 731347.006 |                          |                 |                         |                 |                |                 |
| 005                     | Фрезерна з ЧПК           | 8,39            | 0,099                   | 1               | 0,099          | 0,127           |
| 010                     | Токарна з ЧПК            | 3,93            | 0,046                   | 1               | 0,046          |                 |
| 015                     | Комплексна з ЧПК         | 20,306          | 0,24                    | 1               | 0,24           |                 |
| 020                     | Комплексна з ЧПК         | 12,87           | 0,15                    | 1               | 0,15           |                 |

|                      |                   |       |       |   |       |       |
|----------------------|-------------------|-------|-------|---|-------|-------|
| 025                  | Фрезерна з ЧПК    | 8,58  | 0,10  | 1 | 0,10  |       |
|                      | $\Sigma$          | 54,08 |       |   |       |       |
| вал УЯИШ. 716614.019 |                   |       |       |   |       |       |
| 005                  | Відрізна          | 0,7   | 0,016 | 1 | 0,016 | 0,045 |
| 010                  | Токарна з ЧПК     | 2,29  | 0,053 | 1 | 0,053 |       |
| 015                  | Токарна з ЧПК     | 2,15  | 0,05  | 1 | 0,05  |       |
| 020                  | Фрезерна з ЧПК    | 0,41  | 0,009 | 1 | 0,009 |       |
| 025                  | Свердлильна       | 1,07  | 0,025 | 1 | 0,025 |       |
| 030                  | Свердлильна       | 1,9   | 0,045 | 1 | 0,045 |       |
| 035                  | Шліцефрезерна     | 6,34  | 0,15  | 1 | 0,15  |       |
| 040                  | Круглошліфувальна | 1,7   | 0,04  | 1 | 0,04  |       |
| 045                  | Круглошліфувальна | 1,35  | 0,032 | 1 | 0,032 |       |
| 050                  | Круглошліфувальна | 0,9   | 0,021 | 1 | 0,021 |       |
| 055                  | Токарна           | 2,3   | 0,054 | 1 | 0,054 |       |
|                      | $\Sigma$          | 21,11 |       |   |       |       |

## 5.2. Розрахунок календарно-планових нормативів

Розрахунок партії деталей

$$n_{p\text{ вт}} = \frac{0,5 \cdot F_{\text{зм}}}{t_{\text{ум}}^{\text{min}}} \quad (5)$$

$F_{\text{зм}}$  – дійсний фонд часу зміни (440 хв.)

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

$$n_p^{\kappa} = \frac{0,5 \cdot 440}{3,93} \approx 56 \text{ шт.};$$

$$n_p^{\epsilon} = \frac{0,5 \cdot 440}{0,41} \approx 537 \text{ шт.}$$

Кількість запуску деталей протягом року:

$$A = \frac{N_3}{n_p} \quad (6)$$

$$A^\kappa = \frac{2750}{56} = 49;$$

$$A^\epsilon = \frac{5500}{537} = 10$$

Приймаємо  $A$  з стандартного ряду

$$A_{np}^\kappa = 48;$$

$$A_{np}^\epsilon = 8$$

Перераховуємо партію

$$n = \frac{N_3}{A_{np}} \quad (7)$$

$$n_{np}^\kappa = \frac{2750}{48} \approx 57 \text{ шт.};$$

$$n_{np}^\epsilon = \frac{5500}{8} \approx 687 \text{ шт.}$$

Тривалість операційного циклу

$$T_o = \frac{n \cdot t_{\kappa\partial}}{S \cdot F_{3\mu\partial}} \quad (8)$$

$t_{\kappa\partial}$  - калькуляційно-дійсний час

$$t_{\kappa\partial} = \frac{t_{um}}{q \cdot p \cdot k_\epsilon} + \frac{t_{n3}}{n} \quad (9)$$

$$t_{\kappa\partial 005}^\kappa = \frac{8,39}{1 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{12}{57} = 8,6 \text{ хв.}$$

## Розрахунок тривалості операційного циклу

| № оп.    | корпус                |             | № оп. | вал                   |             |
|----------|-----------------------|-------------|-------|-----------------------|-------------|
|          | $T_{к\partial}$ , хв. | $T_o$ , дн. |       | $T_{к\partial}$ , хв. | $T_o$ , дн. |
| 005      | 8,6                   | 0,56        | 005   | 0,72                  | 0,56        |
| 010      | 4,14                  | 0,27        | 010   | 2,31                  | 1,8         |
| 015      | 20,52                 | 1,33        | 015   | 0,43                  | 0,34        |
| 020      | 13,08                 | 0,85        | 020   | 1,08                  | 0,84        |
| 025      | 8,79                  | 0,57        | 025   | 1,91                  | 1,49        |
|          |                       |             | 030   | 6,35                  | 4,95        |
|          |                       |             | 035   | 1,71                  | 1,33        |
|          |                       |             | 040   | 1,36                  | 1,06        |
|          |                       |             | 045   | 0,91                  | 0,71        |
|          |                       |             | 050   | 2,31                  | 1,8         |
| $\Sigma$ |                       | 3,58        |       |                       | 14,88       |

Приймаємо послідовний рух партії деталей для корпусу і валу

$$T_n = \sum_1^m T_o + m \cdot t_{mo}$$

$t_{mo}$  - межопераційний час. Приймаємо  $t_{mo} = 0,1$  дн.

$$T_n^k = 3,58 + 5 \cdot 0,1 = 4,08 \text{ дн};$$

$$T_n^e = 14,88 + 11 \cdot 0,1 = 15,98 \text{ дн.}$$

Розрахунок чисельності виробничих робітників:

$$R^{вир} = \frac{T_p}{F_{оп} \cdot k_m} \quad (10)$$

$$T_p = \frac{N_z \cdot \sum_1^m t_{um} \cdot (1 + 0,01 \cdot \alpha)}{60}$$

$T_p$  - трудомісткість річної програми випуску деталей;

$k_m$  - коефіцієнт багатоверстатного обслуговування;

$F_{op}$  - фонд часу річний одного робітника;

$\alpha$  - процент додаткових робіт.

Коефіцієнт довантаження

$$K_{\text{доп}} = \frac{\eta_{\text{норм}}}{\bar{\eta}} \quad (11)$$

$\eta$  - нормативний коефіцієнт навантаження обладнання в часі.

$$K_{\text{доп}}^{\kappa} = \frac{0,8}{0,127} = 6,29 ;$$

$$K_{\text{доп}}^{\epsilon} = \frac{0,85}{0,045} = 18,9$$

$$T_p^{\kappa} = \frac{2750 \cdot 54,08 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20)}{60} = 2974 \text{ год.}$$

$$T_p^{\epsilon} = \frac{5500 \cdot 21,11 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20)}{60} = 2322 \text{ год.}$$

Чисельність робітників:

$$R_{\text{вир}}^{\kappa} = \frac{2974 \cdot 6,29}{1840 \cdot 1,1} \approx 10 \text{ чол.};$$

$$R_{\text{вир}}^{\epsilon} = \frac{2322 \cdot 18,9}{1840 \cdot 1,1} \approx 22$$

Загальна чисельність:

$$R^{\text{вир}} = 10 + 22 = 32 \text{ чол.}$$

Розрахунок заробітної плати.

Приймаємо відрядно-преміальну систему оплати праці.

Розцінка на деталь:

$$P_{\kappa} = 1,1 \sum_{i=1}^m P_i \quad (12)$$

$P_i$  - розцінка на  $i$ -й операції

$$P_i = l_{год.i} \cdot t_{умi} \quad (13)$$

$l_{год.i}$  - годинна тарифна ставка відповідного розряду.

$$P_{\kappa} = 1,1 \cdot \left[ \frac{38,36}{60} (8,39 + 3,93 + 20,306 + 12,87 + 8,58) \right] = 38,03 \text{ грн}$$

$$P_{\epsilon} = 1,1 \cdot \left[ \frac{38,36}{60} (2,29 + 2,15 + 0,41 + 6,34 + 2,3) + \frac{32,72}{60} (0,7 + 1,07 + 1,9 + 1,7 + 1,35 + 0,9) \right] = 14,06 \text{ грн}$$

Відрядна заробітна плата за рік

$$Z_{відр} = N_z \cdot P_{\kappa} \quad (14)$$

$$Z_{відр}^{\kappa} = 2750 \cdot 38,03 = 104583 \text{ грн.}$$

$$Z_{відр}^{\epsilon} = 5500 \cdot 14,06 = 77330 \text{ грн.}$$

З урахуванням додаткової заробітної плати (10 %) та коефіцієнту довантаження середньомісячна заробітна плата на ділянці складає

$$Z_{срм}^{вир} = \frac{(38,03 \cdot 2750 \cdot 6,29 + 14,06 \cdot 5500 \cdot 18,9) \cdot (1 + 0,1)}{32 \cdot 12} = 6071 \text{ грн.}$$

## 6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 6.1 Аналіз варіантів технологічного процесу

$$C_{\text{цех}} = M_o + Z_{op} + B_{\text{соц}} + Z_{\text{зо}} + P_o + P_{\text{цех}}$$

$M_o$  – витрати на основні матеріали

$$M_o = a_{\partial} \cdot \Pi_{\text{м}} \cdot K_{\text{тр}} - a_{\text{в}} \cdot \Pi_{\text{в}}$$

$a_{\partial}$ ,  $a_{\text{в}}$  – відповідно маса деталі, відходів;

$\Pi_{\text{м}}$ ,  $\Pi_{\text{в}}$  – відповідно ціна матеріалу, відходів;

$K_{\text{тр}}$  – коефіцієнт, враховуючий транспортні витрати.

$$M_o^{\kappa} = 0,872 \cdot 37,58 \cdot 1,05 - 0,335 \cdot 6,8 = 32,13 \text{ грн.}$$

$$M_o^{\text{в}} = 0,195 \cdot 19,07 \cdot 1,05 - 0,112 \cdot 1,95 = 3,5 \text{ грн.}$$

$Z_{\text{од}}$  – заробітна плата основна та додаткова

$$Z_{\text{од}}^{\kappa} = 1,1 \cdot \left[ \frac{38,36}{60} (8,39 + 3,93 + 20,306 + 12,87 + 8,58) \right] = 38,03 \text{ грн}$$

$$Z_{\text{од}}^{\text{в}} = 1,1 \cdot \left[ \frac{38,36}{60} (2,29 + 2,15 + 0,41 + 6,34 + 2,3) + \right. \\ \left. \frac{32,72}{60} (0,7 + 1,07 + 1,9 + 1,7 + 1,35 + 0,9) \right] = 14,06 \text{ грн}$$

$\alpha$  - процент додаткової заробітної плати (10%)

$B_{\text{соц}}$  – відрахування на соціальне страхування

$$B_{\text{соц}}^{\kappa} = 38,03 \cdot 0,22 = 8,36 \text{ грн.} \quad B_{\text{соц}}^{\text{в}} = 14,06 \cdot 0,22 = 3,09 \text{ грн.}$$

$Z_{\text{со}}$  – витрати на спецоснащення;

$$Z_{\text{со}}^{\kappa} = \frac{0,5}{60} (8,39 + 3,93 + 20,306 + 12,87 + 8,58) = 0,45 \text{ грн.}$$

$$Z_{\text{со}}^{\text{в}} = \frac{0,5}{60} \cdot 21,11 = 0,18 \text{ грн.}$$

$P_o$  – витрати на утримання і експлуатацію обладнання

$$P_o = \frac{Z_o \cdot \alpha_o}{100}$$

$\alpha_o$  – процент витрат на утримання і експлуатацію обладнання (200 %)

$$P_o^{\kappa} = \frac{34,57 \cdot 200}{100} = 69,14 \text{ грн.};$$

$$P_o^{\epsilon} = \frac{12,78 \cdot 200}{100} = 25,56 \text{ грн.}$$

$P_{цех}$  – цехові витрати

$$P_{цех} = \frac{3_o \cdot \alpha_{цех}}{100}$$

$\alpha_{цех}$  – цехові витрати (90 %)

$$P_{цех}^{\kappa} = \frac{34,57 \cdot 90}{100} = 31,11 \text{ грн.};$$

$$P_{цех}^{\epsilon} = \frac{12,78 \cdot 90}{100} = 11,5 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.3

Калькуляція собівартості виробів і собівартості річного випуску деталей

| N<br>зп/п | Стаття витрат                                        | корпус              |                          | вал                    |                            |
|-----------|------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|
|           |                                                      | на одиницю,<br>грн. | на річний<br>випуск грн. | на<br>одиницю,<br>грн. | на річний<br>випуск, грн.. |
| 1         | Основні матеріали                                    | 32,13               | 88358                    | 3,5                    | 19250                      |
| 2         | Основна заробітна<br>плата                           | 34,57               | 95067                    | 12,78                  | 70290                      |
| 3         | Додаткова заробітна<br>плата                         | 3,46                | 9515                     | 1,28                   | 7040                       |
| 4         | Відрахування до<br>соціальних фондів                 | 8,36                | 22990                    | 3,09                   | 16995                      |
| 5         | Витрати на спец.<br>оснащення                        | 0,45                | 1238                     | 0,18                   | 990                        |
| 6         | Витрати на утримання<br>та експлуатацію<br>оснащення | 69,14               | 190135                   | 25,56                  | 140580                     |
| 7         | Цехові витрати                                       | 31,11               | 85553                    | 11,5                   | 63250                      |
| Всього    |                                                      | 179,22              | 492855                   | 57,89                  | 318395                     |

### 6.3. Аналіз варіантів техпроцесів.

Зміни в технологічному процесі обробки деталі корпус представлено в табл.6.4.

## Характеристика змін при обробці деталі барабан правильний

| Номер опер. | базовий варіант                |                | Номер опер. | проектний варіант                       |                |
|-------------|--------------------------------|----------------|-------------|-----------------------------------------|----------------|
|             | Модель обладнання              | $t_{шт}$ , хв. |             | Модель обладнання                       | $t_{шт}$ , хв. |
| 015         | Спеціальний фрезерний ГФ2171С5 | 12,15          | 015         | Обробний центр з ЧПК HYUNDAI WIA HS4000 | 20,306         |
| 020         | Спеціальний фрезерний ГФ2171С5 | 14,306         | 025         | Спеціальний фрезерний ГФ2171С5          | 12,87          |
| 025         | Спеціальний фрезерний ГФ2171С5 | 12,75          | 030         | Спеціальний фрезерний ГФ2171С5          | 8,58           |
| 030         | Спеціальний фрезерний ГФ2171С5 | 8,46           |             |                                         |                |
|             | $\Sigma$                       | 47,67          |             | $\Sigma$                                | 41,756         |

Порівняння здійснюється на базі технологічної собівартості за принципом відхилень:

$$C_{tex} = a \cdot N_z + b$$

$a$  - змінні витрати;

$b$  - постійні витрати.

$$a = M_o + Z_{одз} + C_{ел} + C_{рем} + C_{дм} + C_{ур} + C_{ом} + C_{ен}$$

$M_o$  - витрати на основні матеріали – не змінюються, тому не розраховуються;

$Z_{одз}$  - основна та додаткова заробітна плата з відрахуваннями.

$$Z_{одз} = \frac{l_{шт}}{60} \cdot l_{зод} \cdot k_{zn}$$

$k_{zn}$  - коефіцієнт додаткової заробітної плати (1,1)

$$Z_{одз}^{баз} = 1,1 \cdot \left[ \frac{38,36}{60} (12,15 + 14,306 + 12,75 + 8,46) \right] = 33,52 \text{ грн}$$

$$Z_{од}^{np} = 1,1 \cdot \left[ \frac{38,36}{60} (20,306 + 12,87 + 8,58) \right] = 29,37 \text{ грн}$$

Таблиця 6.5

Характеристика обладнання

| N<br>\п | Модель обладнання                             | габаритні<br>розміри,<br>м×м | потужність<br>двигунів,<br>кВт | Ремонтна<br>складність,<br>УРО | Балансова<br>вартість,<br>грн. |
|---------|-----------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1       | Спеціальний<br>фрезерний<br>ГФ2171C5          | 2,56х2,26                    | 5,5                            | 20                             | 425000                         |
| 2       | Обробний центр з ЧПК<br>HYUNDAI WIA<br>HS4000 | 5,26х2,0                     | 10,0                           | 30                             | 1500000                        |

Витрати на силову енергію

$$C_{ел} = \frac{N_{\epsilon} \cdot K_{oi} \cdot K_n \cdot K_r}{\eta_{\delta} \cdot \eta_m} \cdot \frac{t_{ум}}{60} \cdot C_{ел}$$

$N_{\epsilon}$  - потужність встановлених двигунів;

$C_{ел}$  - ціна силової електроенергії (2,4 грн. /кВт)

$$C_{ел015}^{баз} = \frac{5,5 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,3}{0,9 \cdot 0,95} \cdot \frac{12,15}{60} \cdot 2,4 = 0,36 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.6

Розрахунок витрат на електроенергію силову

| номер<br>опер. | базовий варіант         |                   |                    | номер<br>опер. | проектний варіант       |                |                    |
|----------------|-------------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------------|----------------|--------------------|
|                | $N_{\epsilon}$ ,<br>кВт | $t_{ум}$ ,<br>хв. | $C_{ел}$ ,<br>грн. |                | $N_{\epsilon}$ ,<br>кВт | $t_{ум}$ , хв. | $C_{ел}$ ,<br>грн. |
| 015            | 5,5                     | 12,15             | 0,36               | 015            | 10                      | 20,306         | 1,11               |
| 020            | 5,5                     | 14,306            | 0,43               | 025            | 5,5                     | 12,87          | 0,39               |
| 025            | 5,5                     | 12,75             | 0,38               | 030            | 5,5                     | 8,58           | 0,26               |
| 030            | 5,5                     | 8,46              | 0,25               |                |                         |                |                    |
| Σ              |                         | 47,67             | 1,42               | Σ              |                         | 41,756         | 1,76               |

### Витрати на ремонт

$$C_{рем} = \frac{W \cdot R \cdot K_e \cdot K_{ел} \cdot t_{ум}}{T_{рц} \cdot 60}$$

$W$  - витрати на 1 одиницю ремонтної складності;

$R$  - ремонтна складність;

$T_{рц}$  - тривалість ремонтного циклу.

$$C_{рем015}^{баз} = \frac{570 \cdot 20 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 12,15}{20400 \cdot 60} = 0,18 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.7

### Розрахунок витрат на ремонт

| номер<br>опер. | базовий варіант |     |                      |           | номер<br>опер. | проектний варіант |     |                      |           |
|----------------|-----------------|-----|----------------------|-----------|----------------|-------------------|-----|----------------------|-----------|
|                | $R$             | $W$ | $t_{ум}, \text{хв.}$ | $C_{рем}$ |                | $R$               | $W$ | $t_{ум}, \text{хв.}$ | $C_{рем}$ |
| 015            | 20              | 570 | 12,15                | 0,18      | 015            | 30                | 570 | 20,306               | 0,44      |
| 020            | 20              | 570 | 14,306               | 0,21      | 025            | 20                | 570 | 12,87                | 0,19      |
| 025            | 20              | 570 | 12,75                | 0,19      | 030            | 20                | 570 | 8,58                 | 0,12      |
| 030            | 20              | 570 | 8,46                 | 0,12      |                |                   |     |                      |           |
| $\Sigma$       |                 |     | 47,67                | 0,7       | $\Sigma$       |                   |     | 41,756               | 0,75      |

### Витрати на допоміжні матеріали

$$C_{дн} = \frac{M_{зв} \cdot R \cdot t_{ум}}{60} \cdot K_n$$

$K_n$  - коефіцієнт типу виробництва;

$M_{зв}$  - годинні витрати на допоміжні матеріали

$$C_{дн}^{баз} = \frac{0,1 \cdot 1}{60} [20 \cdot (12,15 + 14,306 + 12,75 + 8,46)] = 1,59 \text{ грн.}$$

$$C_{дн}^{пр} = \frac{0,1 \cdot 1}{60} [(30 \cdot 20,306 + 20 \cdot (12,87 + 8,58))] = 1,73 \text{ грн.}$$

### Експлуатація приміщення

$$B_n = \frac{S_d \cdot B_{пл} \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot \eta_{зн}}$$

$S_d$  - загальна площа, яку займає верстат;

$B_{пл}$  - вартість (річна) експлуатації 1 м<sup>2</sup> приміщення.

$$B_{n015}^{баз} = \frac{5,79 \cdot 810 \cdot 3 \cdot 12,15}{3890 \cdot 60 \cdot 0,85} = 0,86 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.8

Розрахунок витрат на експлуатацію приміщення

| номер<br>опер. | базовий варіант |          |       | номер<br>опер. | проектний варіант |          |       |
|----------------|-----------------|----------|-------|----------------|-------------------|----------|-------|
|                | $S_y$           | $t_{ум}$ | $B_n$ |                | $S_y$             | $t_{ум}$ | $B_n$ |
| 015            | 2,56x2,26       | 12,15    | 0,86  | 015            | 5,26x2,0          | 20,306   | 0,87  |
| 020            | 2,56x2,26       | 14,306   | 1,01  | 025            | 2,56x2,26         | 12,87    | 0,91  |
| 025            | 2,56x2,26       | 12,75    | 0,9   | 030            | 2,56x2,26         | 8,58     | 0,61  |
| 030            | 2,56x2,26       | 8,46     | 0,60  |                |                   |          |       |
| $\Sigma$       |                 | 47,67    | 3,37  | $\Sigma$       |                   | 41,756   | 2,39  |

Амортизація універсального обладнання

$$C_{аму} = \frac{\Phi_{бал} \cdot H_a \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot \eta_n \cdot 100}$$

$H_a$  - річна норма амортизації;

$\Phi_{бал}$  - балансова вартість універсального обладнання.

$$C_{ам015}^{баз} = \frac{425000 \cdot 15 \cdot 12,15}{3890 \cdot 60 \cdot 0,85 \cdot 100} = 3,9 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.10

Розрахунок амортизації універсального обладнання

| номер<br>опер. | базовий варіант     |                |                 | номер<br>опер. | проектний варіант   |                |                 |
|----------------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|---------------------|----------------|-----------------|
|                | $\Phi_{бал}$ , грн. | $t_{ум}$ , хв. | $C_{ам}$ , грн. |                | $\Phi_{бал}$ , грн. | $t_{ум}$ , хв. | $C_{ам}$ , грн. |
| 015            | 425000              | 12,15          | 3,9             | 015            | 1500000             | 20,306         | 23,03           |
| 020            | 425000              | 14,306         | 4,59            | 025            | 425000              | 12,87          | 4,13            |
| 025            | 425000              | 12,75          | 4,09            | 030            | 425000              | 8,58           | 2,75            |
| 030            | 425000              | 8,46           | 2,72            |                |                     |                |                 |
| $\Sigma$       |                     | 47,67          | 15,3            | $\Sigma$       |                     | 41,756         | 29,91           |

Постійні витрати

$$b = Z_{нал} + C_{ен} + C_{амсп}$$

$Z_{нал}$  – витрати на налагодження обладнання.

$$Z_{нал} = \frac{t_{пз}}{60} \cdot l_{год}^{нал} \cdot A \cdot K_{зн}$$

$l_{год}^{нал}$  - годинна тарифна ставка налагоджувача;

$$Z_{нал}^{баз} = \frac{(12 + 12 + 12 + 12) \cdot 38,6}{60} \cdot 48 \cdot 1,1 = 1630 \text{ грн.}$$

$$Z_{нал}^{пр} = \frac{(12 + 12 + 12) \cdot 38,6}{60} \cdot 48 \cdot 1,1 = 1223 \text{ грн.}$$

$C_{сп}$  – витрати на спеціальне оснащення.

В проектному варіанті спеціальним оснащенням є керуючі програми для верстатів з ЧПК.

$$C_{сп} = 0,6 \cdot S_n$$

$S_n$  – первісна вартість спеціального оснащення.

Вартість програми

$$S_n^{прогр} = T_{прогр} \cdot l_{год}^{пр} \cdot K_{зн}$$

$T_{прогр}$  – трудомісткість розробки програми;

$l_{год}^{пр}$  - годинна ставка програміста;

$K_{зн}$  – коефіцієнт додаткової зарплати.

Таблиця 6.11

## Розрахунок трудомісткості керуючої програми

| номер<br>опер. | Кількість<br>поверхонь | Кількість<br>розмірів | Трудомісткість розробки, н/год. |                      |                                  |                    |        |
|----------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------|--------|
|                |                        |                       | операц.<br>карти                | керуючої<br>програми | налагод-<br>жування<br>інструмен | карти<br>кодування | Σ      |
| Базовий        |                        |                       |                                 |                      |                                  |                    |        |
| 015            | 7                      | 23                    | 9,13                            | 40                   | 0,9                              | -                  | 50,03  |
| 020            | 7                      | 17                    | 6,91                            | 30                   | 0,8                              | -                  | 37,71  |
| 025            | 2                      | 8                     | 3,44                            | 21                   | 0,6                              | -                  | 25,04  |
| 030            | 4                      | 18                    | 6,01                            | 30                   | 0,8                              | -                  | 36,81  |
| Σ              |                        |                       |                                 |                      |                                  |                    | 149,59 |
| Проектний      |                        |                       |                                 |                      |                                  |                    |        |
| 015            | 14                     | 35                    | 10,50                           | 44                   | 1,1                              | -                  | 55,6   |
| 025            | 2                      | 18                    | 4,54                            | 30                   | 0,8                              | -                  | 35,34  |
| 030            | 4                      | 8                     | 4,54                            | 21                   | 0,6                              | -                  | 26,14  |
| Σ              |                        |                       |                                 |                      |                                  |                    | 117,08 |

$$S_n^{\bar{a}z} = 149,59 \cdot 40,5 \cdot 1,1 = 6664,23 \text{ грн.}$$

$$C_{en}^{\bar{a}z} = 0,6 \cdot 6664,23 = 3998,54 \text{ грн.}$$

$$S_n^{np} = 117,08 \cdot 40,5 \cdot 1,1 = 5215,91 \text{ грн.}$$

$$C_{en}^{np} = 0,6 \cdot 5215,91 = 3129,55 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.12

## Розрахунок технологічної собівартості

| N<br>з/п             | Статті витрат                            | Витрати, грн.   |                      |
|----------------------|------------------------------------------|-----------------|----------------------|
|                      |                                          | базовий варіант | проектний<br>варіант |
| 1                    | 2                                        | 3               | 4                    |
| I. Змінні витрати    |                                          |                 |                      |
| 1                    | Заробітна плата                          | 33,52           | 29,37                |
| 2                    | Силова енергія                           | 1,42            | 1,76                 |
| 3                    | Ремонт обладнання                        | 0,7             | 0,75                 |
| 4                    | Допоміжні матеріали                      | 1,59            | 1,73                 |
| 5                    | Амортизація універсального<br>обладнання | 15,3            | 29,91                |
| 6                    | Експлуатація приміщення                  | 3,37            | 2,39                 |
|                      | $\Sigma$                                 | 55,9            | 65,91                |
| II. Постійні витрати |                                          |                 |                      |
| 1                    | Налагоджування<br>обладнання             | 1630            | 1223                 |
| 2                    | Спеціальне оснащення                     | 3998,54         | 3129,55              |
|                      | $\Sigma$                                 | 5628,54         | 4352,55              |
|                      | Технологічна собівартість                | 159353          | 185605               |

$$C_{tex}^{\bar{a}z} = 55,9 \cdot 2750 + 5628,54 = 159353 \text{ грн.}$$

$$C_{tex}^{np} = 65,91 \cdot 2750 + 4352,55 = 185605 \text{ грн.}$$

## Розрахунок критичної програми

$$N_{кр} = \frac{b^{np} - b^{\bar{a}z}}{a^{\bar{a}z} - a^{np}}$$

$$N_{кр} = \frac{4352,55 - 5628,54}{55,9 - 65,91} = 127 \text{ шт.}$$

$$C_{кр} = a_{np} \cdot N_{кр} + b_{np}$$

$$C_{кр} = 65,91 \cdot (127) + 4352,55 = 12723 \text{ грн.}$$

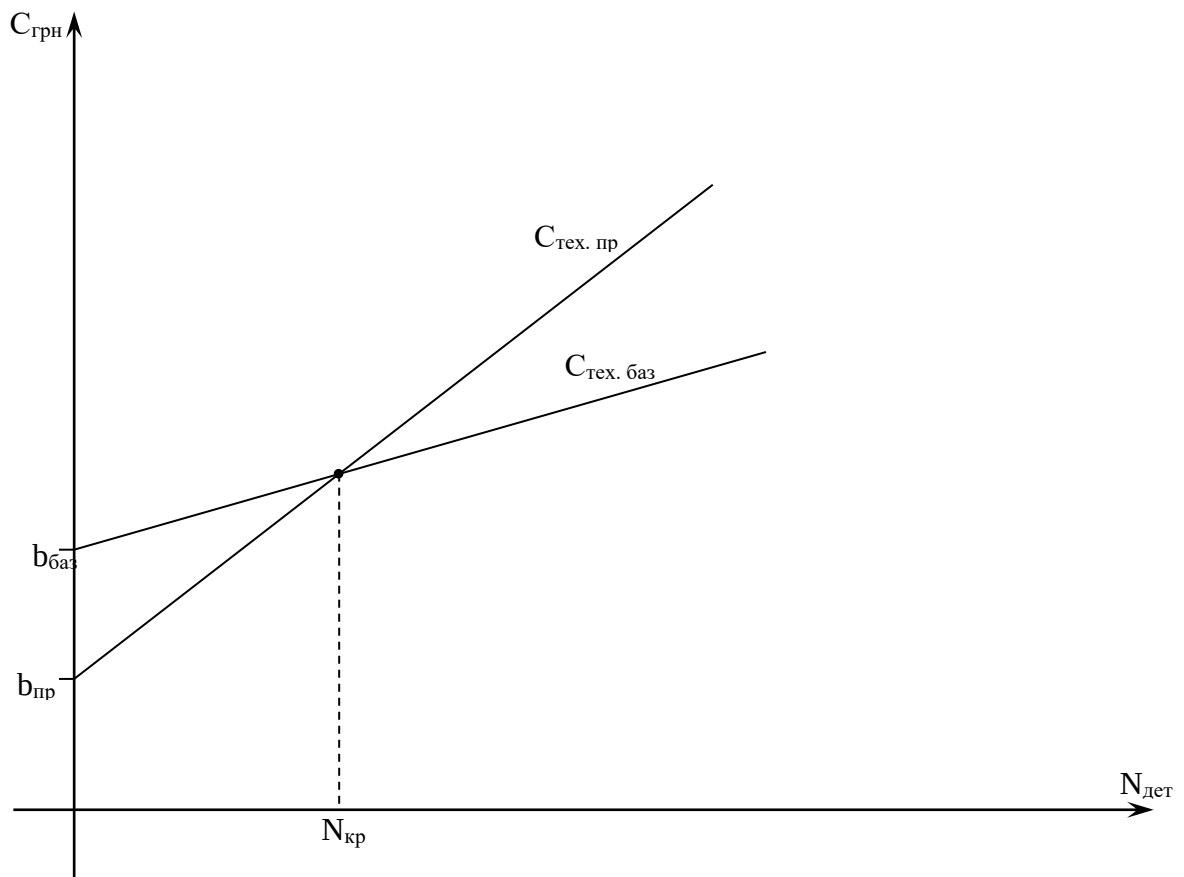


Рис . 6.1 Графік порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі корпус за варіантами.

Річний економічний ефект:

$$E_{річн} = (C_{тех}^{баз} + E \cdot K^{баз} \cdot \eta^{баз}) - (C_{тех}^{пр} + E \cdot K^{пр} \cdot \eta^{пр})$$

$K^{баз}$ ,  $K^{пр}$  – капіталовкладення за варіантами;

$E$  – нормативний коефіцієнт окупності капіталовкладень;

$\eta^{баз}$ ,  $\eta^{пр}$  - коефіцієнт завантаження обладнання;

$$K = K_{б\gamma\delta} + K_{обл} + K_{осн}$$

$$K_{б\gamma\delta}^{баз} = 4 \cdot 20 \cdot 8 \cdot 810 = 518400 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{б\у\д}}^{np} = 3 \cdot 20 \cdot 8 \cdot 810 = 388800 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{обл}}^{\text{баз}} = 425000 \cdot 4 = 1700000 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{обл}}^{np} = 1500000 + 425000 \cdot 2 = 2350000 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{осн}}^{\text{баз}} = 0,07 \cdot 1700000 = 119000 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{осн}}^{np} = 0,07 \cdot 2350000 = 164500 \text{ грн.}$$

$$\eta^{\text{баз}} = 0,127$$

$$\eta^{np} = 0,127$$

$$K^{\text{баз}} = 518400 + 1700000 + 119000 = 2337400 \text{ грн.}$$

$$K^{np} = 388800 + 2350000 + 164500 = 2903300 \text{ грн.}$$

$$E_{\text{річн}} = (C_{\text{тех}}^{\text{баз}} + E \cdot K^{\text{баз}} \cdot \eta^{\text{баз}}) - (C_{\text{тех}}^{np} + E \cdot K^{np} \cdot \eta^{np})$$

$$E_{\text{річн}} = (159353 + 0,16 \cdot 2337400 \cdot 0,127) - (185605 + 0,16 \cdot 2903300 \cdot 0,127) = -37751 \text{ грн.}$$

#### 6.4. Планування техніко-економічних показників.

Чисельність виробничих робітників

$$R_{\text{цех}}^{\text{вир}} = R_{\text{дільн}}^{\text{вир}} \cdot K_{\text{пер}}$$

$K_{\text{пер}}$  – коефіцієнт переведу на цех

$$R_{\text{цех}}^{\text{вир}} = 32 \cdot 3 = 96 \text{ чол.}$$

Чисельність допоміжних робітників

$$R_{\text{цех}}^{\text{дон}} = 97 \cdot 0,3 = 29$$

Чисельність керуючого персоналу та спеціалістів

$$R_{\text{цех}}^{\text{пер}} = (32 + 29) \cdot 0,1 = 6 \text{ чол.}$$

Загальна чисельність

$$R = R_{\text{цех}}^{\text{вир}} + R_{\text{цех}}^{\text{дон}} + R_{\text{цех}}^{\text{кер}} = 32 + 29 + 6 = 67 \text{ чол.}$$

Наводимо розраховані техніко – економічні показники до таблиці 6.14.

Таблиця 6.14

## Показники роботи підрозділів

| N<br>з/п | Показники                                                     | Одиниця вимірю-<br>вання | Дільниці |         | Цех |
|----------|---------------------------------------------------------------|--------------------------|----------|---------|-----|
|          |                                                               |                          | корпус   | вал     |     |
| 1        | Річний об'єм виробництва                                      |                          |          |         |     |
|          | а) за кількістю виробів                                       | шт.                      | 2750     | 550     |     |
|          | б) за цеховою собівартістю                                    | тис.<br>грн.             | 492,855  | 318,395 |     |
|          | в) за трудомісткістю                                          | н/год.                   | 2974     | 2322    |     |
| 2        | Чисельність робітників                                        |                          |          |         |     |
|          | всього                                                        | чол.                     |          |         | 67  |
|          | - виробничих робітників                                       | чол.                     | 10       | 32      | 42  |
|          | - допоміжних робітників                                       | чол.                     |          |         | 29  |
|          | - керівників та спеціалістів                                  | чол.                     |          |         | 6   |
| 3        | Середньомісячна заробітна<br>плата 1 виробничого<br>робітника | грн.                     | 6071     |         |     |
| 4        | Економічний ефект                                             | грн.                     | -37751   |         |     |
| 5        | Зниження трудомісткості                                       | %                        | 14       | 12      |     |

Висновок: базовий варіант технологічного процесу виготовлення деталі корпус є економічно вигіднішим ніж проектний. Отриманий річний ефект становить -37751грн. Разом з тим використання обробного центр з ЧПК HYUNDAI WIA HS4000 є доцільним, тому що при серійному типі виробництва досить часто змінюється вид виробленої продукції.

## ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В магістерській роботі на тему: «Гнучка технологія обробки корпусу та вала головки кутової ГУ 90 з дослідженням процесу обробки зубчатого зачеплення» виконаний аналіз діючого на базовому підприємстві технологічного процесу, на основі чого запропоновані зміни.

З метою підвищення гнучкості технологічного процесу та зменшення собівартості обробки деталі в розробленому технологічному процесі механічної обробки деталі корпусу УЯИШ.731347.006 запропоновано замінити фрезерні верстати ГФ2171С5 на обробні центри з ЧПУ WIA HS4000 фірми HYUNDAI.

В розробленому технологічному процесі механічної обробки деталі вал УЯИШ.716614.019 запропоновано операції 010, 015, 020, 025, які виконувались на застарілих токарних вертатах моделі 1ИС611В замінити на дві операції з використання токарно-фрезерного верстата з ЧПУ L150Y фірми HYUNDAI.

З урахуванням запропонованих змін в магістерській роботі розраховано та розроблено конструкції затискного пристрою, контрольного пристрою, різального інструменту.

Найважливіша сутність виконаної роботи полягає у створенні комплексної методології, що поєднує сучасне кінематичне 3D-моделювання з теорією продуктивності різання для оптимізації проектування складного інструменту та інтенсифікації процесів зубообробки. В роботі реалізовано перехід від наближених дискретних розрахунків до точного визначення параметрів зрізуваного шару через використання булевих операцій над твердотільними кінематичними об'ємами (Swept Volume), що дозволило врахувати реальну фасонну геометрію зуба та варіативність схем різання. Цей підхід став підґрунтям для обґрунтування ефективності методу контурного фрезерування зубчастих профілів на верстатах з ЧПК, який, на відміну від традиційного обкочування, усуває жорсткі кінематичні обмеження швидкості різання та дозволяє прогнозувати силові навантаження і показники продуктивності ще на етапі конструкторської підготовки, забезпечуючи повну реалізацію експлуатаційного потенціалу сучасних інструментальних матеріалів. Всі приведені зміни економічно обґрунтовані.

Всі прийняті технічні рішення підтверджено економічними розрахунками.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Годунко М.О. Основи 3D моделювання і робототехніки: Навч. посіб. для проведення практичних занять / М.О. Годунко, А.І. Гречка. – К. : 7БЦ, 2024. – 42 с.
2. Апаракін А.Р. Синтез схем навантаження силових елементів кулькогвинтового гідропідсилювача з аксіальною структурою приводу / А.Р. Апаракін, П.М. Єрьомін, В.А. Мажара // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – Вип. 9 (40). - Ч. II. – С. 23-31.
3. Мажара В.А. Система автоматизованого проектування технологічного оснащення / В.А. Мажара, К.К. Щербина, А.М. Артюхов, С.А. Тененика, І.С. Шестаков // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.
4. Мажара В. А. Контрольно-вимірювальні пристрої. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи студентами денної та заочної форми навчання напрямку «Інженерна механіка» з профілюванням за спеціальністю «Технологія машинобудування». – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 48 с.
5. Мажара В. А. Технологічна оснастка. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи студентами денної форми навчання напрямку «Інженерна механіка» з профілюванням за спеціальністю «Технологія машинобудування». – Кіровоград: КНТУ, 2009. – 44 с.
6. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту по кафедрі «Технологія машинобудування» для студентів спеціальності 8.090202 /Уклад. І.І. Павленко та ін. – Кіровоград: КДТУ, 2002. – 40с.
7. Кривошея А.В., Данильченко Ю.М., Мельник В.Е., Благут Э.М. Перспективы применения твердосплавных отрезных дисковых фрез при обработке цилиндрических зубчатых колес // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2005. – Вып.69. – С. 115-120.

8. Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Пастернак С.І., Короткий Є.В. Кінематика формоутворення циліндричних зубчастих коліс з заданим профілем дисковим інструментом // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, сер. Машиностроение. – 2005. – № 46. – С. 104-108.
9. Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Пастернак С.І. Математичне моделювання законів руху дискового інструменту при обробці зубчастих коліс довільного профілю // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, сер. Машиностроение. – 2006. – № 49. – С. 104-108.
10. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / К. К. Щербина та ін., – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. 16с.
11. Боровик О. В., Малашин М. О. Довідник з креслення. Стандарти ISO : навчально-методичний посібник. Хмельницький: Видавництво НАДПСУ. 2014. 104 с.
12. ДСТУ ISO 128-1:2005 Технічні Кресленики. Загальні принципи оформлення. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
13. ДСТУ EN ISO 10209:2018 Технічна документація на продукцію. Словник термінів щодо технічних креслеників, визначення виробів і відповідної документації. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2008.
14. ДСТУ ISO 5457:2006 Документація технічна на вироби. Розміри та формати. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2008.
15. ДСТУ ISO 5455:2005 Кресленики технічні. Масштаби. [Чинний від 2006- 07-01]. Київ, 2006.
16. ДСТУ ISO 3098-0:2006 Документація технічна на вироби. Шрифти. Загальні вимоги. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2006.
17. ДСТУ ISO 128-20:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи подавання. Частина 20. Основні положення про лінії. [Чинний від 2007- 04-01]. Київ, 2007.
18. ДСТУ ISO 128-21:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 21. Лінії, виконані автоматизованим проектуванням. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.

- 19.ДСТУ ISO 128-22:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 22. Основні положення та правила застосування 27 ліній виносок і полиць ліній-виносок. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 20.ДСТУ ISO 128-24:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 24. Лінії на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 21.ДСТУ ISO 128-30:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 30. Основні положення про види. [Чинний від 2007- 04-01]. Київ, 2007.
- 22.ДСТУ ISO 128 34:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 34. Види на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 23.ДСТУ ISO 128-40:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 40. Основні положення про розрізи та перерізи. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 24.ДСТУ ISO 128-44:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 44. Розрізи та перерізи на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2006-07-01]. Київ, 2005.
- 25.ДСТУ ISO 128 50:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 50. Основні положення про зображення розрізів і перерізів. [Чинний від 2006-07-01]. Київ, 2006.
- 26.ДСТУ EN ISO 1302:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Познака зовнішньої текстури в технічній документації на продукцію. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
- 27.ДСТУ ISO 129 1:2007 Кресленики технічні. Проставлення розмірів і допусків. Частина 1. Загальні принципи. [Чинний від 2009-07-01]. Київ, 2010.
- 28.ДСТУ ISO 286-1-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок. [Чинний від 2003-10-01]. Київ, 2003. 28
- 29.ДСТУ EN ISO 2692:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Визначення геометричних допусків. Вимоги щодо максимуму

матеріалу (MMR), мінімуму матеріалу (LMR) та взаємодії (RPR). [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.

30.ДСТУ ISO 2768-1:2001 Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.

31.ДСТУ ISO 2768-2:2001 Основні допуски. Частина 2. Допуски геометричні для елементів без спеціального позначення допусків. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.

32.ДСТУ ISO 5458:2001 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Встановлення геометричних допусків. Позиційні допуски. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.

33.ДСТУ EN ISO 5459:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Геометричні допуски. Бази та системи баз. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.

34.ДСТУ ISO 7083:2009 Кресленики технічні. Умовні позначки геометричних допусків. Співвідношення та розміри. [Чинний від 2011-07-01]. Київ, 2015.

35.ДСТУ ISO 10578:2014 Кресленики технічні. Допуски орієнтування та розташування. Виступне поле допуску. [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015.

36.ДСТУ EN ISO 6433:2018 Кресленики технічні. Позначення деталей. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.

37.ДСТУ EN ISO 7200:2005 Розроблення технічної документації. Графи у штампах та основних написах. [Чинний від 2006-10-01]. Київ, 2007.

38.ДСТУ ISO 7573:2006 Кресленики технічні. Специфікація. [Чинний від 2001-06-27]. Київ, 2008.