

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний факультет  
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Технологія машинобудування  
(повне найменування кафедри)

**Пояснювальна записка**

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Підвищення якості обробки складнопрофільної деталі «Гільза» з  
декількома осями симетрії»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи Мз-110м

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Авдимирець К.Л.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кондратюк Е.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Матюхін А.Ю.

(прізвище та ініціали)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний  
 Кафедра Технологія машинобудування  
 Ступінь вищої освіти другий (Магістерський)  
 Спеціальність 131 «Прикладна механіка»  
 (код і найменування)  
 Освітня програма (спеціалізація) «Технології машинобудування»  
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри С.І. Дядя

«          »            20   року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

Авдими́рець Катерини Леоні́дівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Підвищення якості обробки складнопрофільної деталі «Гільза» з декількома осями симетрії

керівник проекту (роботи) Кондратюк Е.В., доцент,  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «16»11 2021 року №444

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 6.12.2021

3. Вихідні дані до проекту (роботи) робоче креслення деталі, річна програма випуску N=1000шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Технологічна частина; 2 Конструкторська частина; 3 Автоматизація систем інструментозабезпечення; 4 Розрахунок деталі на міцність; 5 Спеціальне завдання Використання координатно-вимірювальних машин; 6 Оцінка очікуваної ефективності заходів; 7 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення деталі, заготовки, графічне зображення 3D-моделей деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; графічне зображення етапів підготовки УП для верстатів з ЧПУ та лист автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; графічне зображення результатів розрахунку на міцність; креслення до спецзавдання

**6. Консультанти розділів проекту (роботи)**

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                           |
|---------------|-------------------------------------------|----------------|---------------------------|
|               |                                           | завдання видав | прийняв виконане завдання |
| 1-5           | доцент Кондратюк Е.В.                     |                |                           |
| 6             | доцент Пухальська Г.В.                    |                |                           |
| 7             | доцент Шмирко В.І.                        |                |                           |
| нормоконтроль | доцент Дядя С.І.                          |                |                           |
|               |                                           |                |                           |
|               |                                           |                |                           |
|               |                                           |                |                           |

7. Дата видачі завдання « 03 » вересня 2021 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)          | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| 1     | Технологічна частина                              | 24.09.2021                              |          |
| 2     | Конструкторська частина                           | 08.10.21                                |          |
| 3     | Автоматизація                                     | 15.10.21                                |          |
| 4     | Розрахунок деталі на міцність                     | 22.10.21                                |          |
| 5     | Спеціальне завдання                               | 05.11.21                                |          |
| 6     | Оцінка очікуваної економічної ефективності        | 12.11.21                                |          |
| 7     | Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях | 19.11.21                                |          |
| 8     | Оформлення пояснювальної записки                  | 26.11.21                                |          |
| 9     | Нормоконтроль і рецензія                          | 29.11.21                                |          |
| 10    | Оформлення креслень та технологічної документації | 30.11.21                                |          |
|       |                                                   |                                         |          |
|       |                                                   |                                         |          |
|       |                                                   |                                         |          |

Студент(ка)

\_\_\_\_\_

( підпис )

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_

( підпис )

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 126 с., 49 рисунків, 7 таблиць, 2 додатків, 33 посилань.

БАЗА, ГІЛЬЗА, ОСНАЩЕННЯ, ВІДХИЛЕННЯ, КРЕСЛЕННЯ, ЗАГОТОВКА, КВАЛІТЕТ, НАЛАГОДЖЕННЯ, ОБЛАДНАННЯ, ПРИПУСК, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, РІЗЕЦЬ, РОЗМІР, СОБІВАРТІСТЬ ТЕРМООБРОБКА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ТОЧНІСТЬ, ШОРСТКІСТЬ,.

Об'єкт дослідження – гільза.

Мета магістерської роботи – проектування прогресивного технологічного процесу з враховуючи призначення деталі гільза; вивчення особливостей конструкції деталі, схеми технологічного процесу, обладнання та оснащення.

Метод дослідження - розрахунково-аналітичний; комп'ютерне моделювання експлуатаційного навантаження деталі; комп'ютерна симуляція процесів механічної обробки прохідника.

В магістерській роботі спроектовано технологічний процес виготовлення гільзи, обрано обладнання, інструмент, розраховані режими різання, норми часу, спроектовано робоче та контрольне пристосування, проведено розрахунок деталі на міцність за допомогою комп'ютерного моделювання, запропоновані рекомендації по вибору сучасного обладнання для обробки отворів малого діаметру і заходи щодо автоматизації та механізації процесу, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Скорочення та умовні позначки                                                                                                          | 7  |
| Вступ                                                                                                                                  | 8  |
| 1 Технологічна частина                                                                                                                 | 10 |
| 1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі                                                                                   | 10 |
| 1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт                                                                                   | 12 |
| 1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням                                                              | 13 |
| 1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі                                                                                | 19 |
| 1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність                                                                                     | 19 |
| 1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь                                                                                          | 21 |
| 1.4.3 Маршрут виготовлення деталі                                                                                                      | 25 |
| 1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів (1 - розрахунково-аналітичний метод, 2 - табличний метод)                            | 25 |
| 1.6 Розрахунок режимів різання                                                                                                         | 32 |
| 1.7 Розрахунок технічної норми часу                                                                                                    | 43 |
| 1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ, з використанням NXCAM або іншої програми, що має CAM-модуль | 48 |
| 1.8.1 Розробка токарної операції                                                                                                       | 48 |
| 1.8.2 Розробка свердлильної операції                                                                                                   | 50 |
| 1.8.3 Розробка фрезерної операції                                                                                                      | 52 |
| 2 Конструкторська частина                                                                                                              | 55 |
| 2.1 Проектування робочого пристосування                                                                                                | 55 |
| 2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування                                                                                       | 55 |
| 2.1.2 Розрахунок пристосування на точність                                                                                             | 56 |
| 2.1.3 Визначення необхідної сили затиску                                                                                               | 56 |
| 2.2 Проектування контрольного пристосування                                                                                            | 60 |

|   |                                                                         |     |
|---|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3 | Автоматизація систем інструментного забезпечення                        | 62  |
| 4 | Розрахунок на міцність. Визначення напружено-деформованого стану деталі | 76  |
| 5 | Використання координатно-вимірювальних машин                            | 78  |
| 6 | Оцінка очікуваної ефективності розробки                                 | 100 |
| 7 | Охорона праці                                                           | 105 |
|   | Висновок                                                                | 120 |
|   | Перелік джерел посилання                                                | 121 |
|   | Додаток А. Специфікація робочого пристосування                          | 125 |
|   | Додаток Б. Специфікація контрольного пристосування                      | 126 |

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

|      |                                             |
|------|---------------------------------------------|
| ЗВ   | Засоби вимірювання                          |
| ЗОР  | Змазуючо-охолоджуюча рідина                 |
| МОД  | Маршрут обробки деталі                      |
| МОП  | Маршрут обробки поверхонь                   |
| НС   | Надзвичайна ситуація                        |
| КВМ  | Координато - вимірювальні машини            |
| ОК   | Об'єкт контролю                             |
| ППТЯ | Послідовність показників точності та якості |
| ПУЕ  | Правило устрою електроустановок             |
| РСЗ  | Робочий стандартний зразок                  |
| СНтП | Система норм та правил                      |
| ТО   | Термічна обробка                            |
| ТП   | Технологічний проект                        |

## ВСТУП

Однією з найважливіших задач підвищення якості та конкурентоспроможності авіаційної техніки в умовах сучасного розвитку авіаційної промисловості є застосування сучасних технологій обробки деталей авіаційної галузі.

Реалізація викликів які виникають при проектуванні новітніх конструкцій та вузлів авіаційної техніки призводять до застосування нових технологій та рішень, щодо вирішення типових завдань машинобудування в умовах сучасного виробництва.

Напрямами підвищення якості застосованих технологічних рішень є:

- підвищення технологічності;
- розробка безпракових технологій;
- застосування малопрпускових;
- розробка і впровадження прогресивних методів механічної, електричної та світло променевої обробки важкооброблюваних сталей і сплавів;
- використання високопродуктивного і точного обладнання;
- механізація ручної праці;
- автоматизація трудомісткого контролю;

З урахуванням викладеного, був розроблений технологічний процес виготовлення гільзи сучасного газотурбінного двигуна в серійному виробництві.

## 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Гільза за за геометричною формою відноситься до деталей класу "стрижнів" має декілька порожнин: характерними рисами деталей даного класу є наявність циліндричних поверхонь одночасно з прямокутними поверхнями з яких складається її форма. Такі деталі працюють в умовах тертя в супроводі значних змін температури, тому досить важливо приділяти уваги підвищення їх термостійкості. Руйнівними чинниками в процесі їх експлуатації є тертя, агресивність середовища, висока температура, навантаження які на неї діють, та не дотримання умов експлуатації. Так, основними причинами зносу внутрішньої поверхні гільзи циліндра є стирання від дії поршневих кілець і газова корозія від агресивного середовища в якому вона працює. Деталь гільза зображена на рисунку 1.1, вона має велику кількість отворів, деякі з них неправильної форми. З одного боку деталі роташовано фланець який погіршує обробку деталі так як має декілька осей симетрії. Складність геометрії даної приводить до ускладнення умов базування при обробці на напівчистових та фінішних операціях механічної обробки.

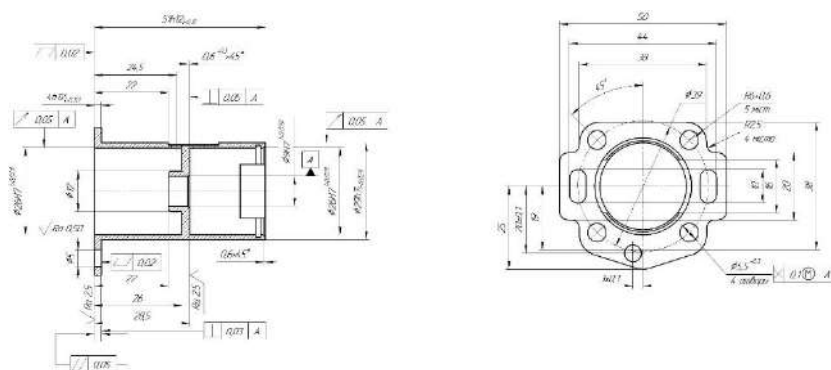


Рисунок 1.1 – Креслення деталі гільза

Візуалізована тривимірна модель деталі показана на рис. 1.2, використання

при цьому спеціального програмного забезпечення дає можливість швидко та з високою точністю визначити вагові характеристики деталі.

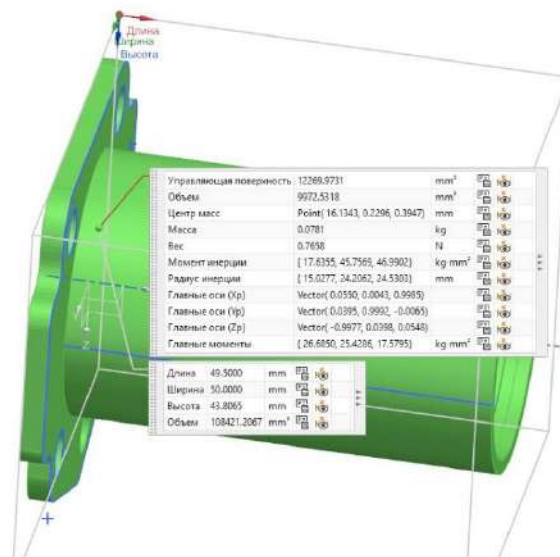


Рисунок 1.2 – Тривимірна модель деталі гільза

Хімічний склад сплаву який застосовується для виготовлення проектуємої деталі показано в таблиці 1.1. Механічні властивості сплаву показано в таблиці 1.2 [2].

Таблица 1.1 – Хімічний склад сплаву 13X11H2B2MФ-Ш [2]

| Al | C         | Cr        | Cu    | Mn    | Mo        | Ni      | P      | S      | Si    | V         | W        |
|----|-----------|-----------|-------|-------|-----------|---------|--------|--------|-------|-----------|----------|
| -  | 0,10-0,16 | 10,5-12,0 | ≤0,30 | ≤0,60 | 0,35-0,50 | 1,5-1,8 | ≤0,030 | ≤0,025 | ≤0,60 | 0,18-0,30 | 1,60-2,0 |

Таблица 1.2 – Механічні властивості сплаву 13X11H2B2MФ-Ш [2]

| T <sub>відпал</sub> , °C | S <sub>t</sub>  S <sub>0,2</sub> , МПа | s <sub>B</sub> , МПа | d <sub>5</sub> , % | y, % | KCU,<br>кДж/м² | HB      |
|--------------------------|----------------------------------------|----------------------|--------------------|------|----------------|---------|
| 660-710                  | ≥736                                   | ≥883                 | ≥15                | ≥55  | ≥882           | 269-321 |

Деталь підлягає наступній термічній обробці. Загартування на повітрі з 1100-1120 °С, (витримка 8 ч), охолодження на повітрі [2]. Це дає змогу покращити її механіко-фізичні властивості та покращити її якість.

## 1.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт

Вихідні дані:

річна програма випуску..... $N = 1000$  шт.

маса деталі..... $q = 0,76$ кг

На першому етапі технологічного процесу обробки який розроблюється необхідно визначити вид його організації та до якого типу серійності це виробництво відноситься.

Тип виробництва характеризує кількість виготовляємих виробів на ділянці, регулярність запуску цих виробів у виробництво та наскільки стабільний цей запуск. Також необхідно враховувати масу деталі.

Норму партії що запускається у виробництво можна визначити за формулою (1.1):

$$n = \frac{a \cdot N}{\Phi} \quad (1.1)$$

де  $a$  – періодичність запуску (2 рази на тиждень);

$\Phi$  – кількість робочих днів на рік (250 днів) за станом на 2021.

$$n = \frac{2 \cdot 1000}{250} = 8 \text{ шт.}$$

Для деталі «Гільза» призначаємо поточну форму організації виробництва при якій верстати завантажені наскільки це можливо рівномірно однотипними операціями.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Виходячи із складної геометричної форма деталі «Гільза» та програми випуску застосування одного з методів штамповки буде не доречним та призведе до значних матеріальних витрат. Тому для деталі «Гільза» вибір найбільш раціонального методу отримання заготовки буде виконуватися на основі аналізу одного з методів прокату, що дозволить скоротити витрати на впровадження обраного після аналізу методу отримання заготовки для нашої деталі. В даному випадку обираємо серед двох стандартних методів прокату:

- заготовки отриманої з каліброваного прокату (рис. 1.3).
- заготовки отриманої з трубного прокату (рис. 1.4);

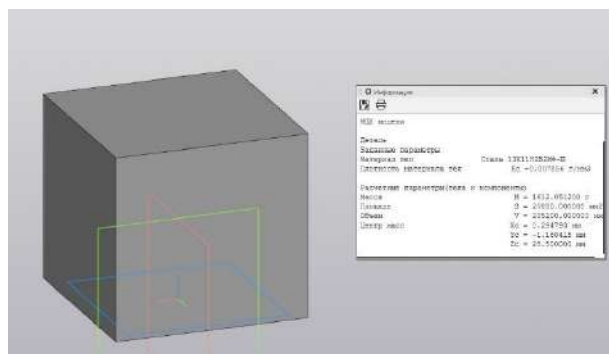


Рисунок 1.3 – 3D модель заготовки отриманої з каліброваного прокату квадратного перерізу

Калібрований прокат заданого перерізу використовуємо як найбільш економічно вигідний щодо застосування для виготовлення даної деталі.

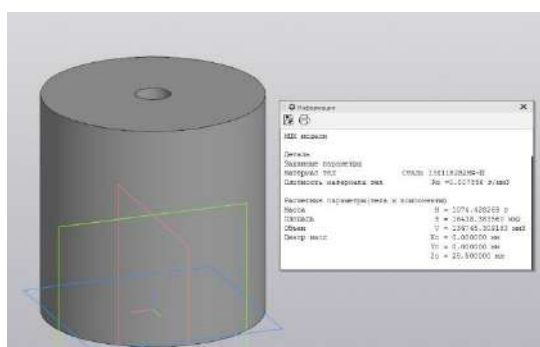


Рисунок 1.4 – 3D модель заготовки отриманої з трубного прокату

Вихідні дані:

- маса деталі:  $Q = 0,76$  кг;
- програма випуску:  $N = 1000$  од.

Розрахуємо коефіцієнт використання матеріалу за формулою (1.2):

$$\eta = \frac{Q_{\text{дет}}}{Q_{\text{заг}}}, \quad (1.2)$$

де  $Q_{\text{дет}}$ ,  $Q_{\text{заг}}$  – маса гільзи та її заготовки.

Для заготовки отриманої одним з методів прокату:

$$\eta_1 = \frac{0,76}{1,61} = 0,47.$$

$$\eta_2 = \frac{0,76}{1,07} = 0,71.$$

Собівартість отриманої заготовки розраховуємо за формулою (1.3):

$$C = \frac{C_B}{1000} \cdot Q_{\text{заг}} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{\Pi} - \frac{(Q - q)}{1000} \cdot S, \quad (1.3)$$

де  $C_B$  – базова вартість 1 т заготовок, які отримані цим методом, грн;

$Q_{\text{заг}}$  – маса заготовки, кг;

$K_T$  – коефіцієнт, який залежить від точності заготовки [4];

$K_M$  – коефіцієнт, який залежить від матеріалу з якого виготовляється заготовка [4];

$K_C$  – коефіцієнт, який залежить від геометрії заготовки [4];

$K_B$  – коефіцієнт, який залежить від ваги заготовки [4];

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт, який залежить від норми виробітку [4];

$S$  – ціна 1 т відходів після обробки різанням, грн [4].

Для каліброваного та трубного прокату собівартість отримання заготовки відповідно::

$$C_1 = \frac{2700}{1000} \cdot 1,61 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,01 \cdot 0,85 \cdot 1 - \frac{(1,61 - 0,76)}{1000} \cdot 140 = 3,61 \text{ грн.}$$

$$C_2 = \frac{2000}{1000} \cdot 1,07 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,01 \cdot 0,85 \cdot 1 - \frac{(1,07 - 0,76)}{1000} \cdot 140 = 1,8 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від порівняння двох методів отримання заготовки визначаємо за формулою (1.4):

$$E_B = (C_2 - C_1) \cdot N, \text{ грн} \quad (1.4)$$

$$E_B = (3,61 - 1,8) \cdot 1000 = 1810 \text{ грн.}$$

Економія метала визначається за формулою (1.5):

$$M_1 = \frac{Q(\eta_1 - \eta_2)}{\eta_1 \cdot \eta_2} \cdot N, \text{ кг} \quad (1.5)$$

$$M_1 = \frac{0,76 \cdot (0,71 - 0,47)}{0,71 \cdot 0,47} \cdot 1000 = 546,6 \text{ кг.}$$

Наведені показники характеризують різні способи отримання заготовки. Показники отриманні при розрахунку різних методів отримання заготовки надано у таблиці 1.3

Таблиця 1.3 – Показники порівняння двох методів отримання заготовки

| Показник | Позначення | Одиниці вимірювання | Варіант заготовки |         |
|----------|------------|---------------------|-------------------|---------|
|          |            |                     | калібрований      | трубний |
| Маса     | Q          | кг                  | 0,76              | 0,76    |

|                                   |                |      |      |      |
|-----------------------------------|----------------|------|------|------|
| Припуск                           | Z              | мм   | 3,5  | 2,75 |
| Баз. ціна 1 т заготовок           | C <sub>Б</sub> | грн. | 2700 | 2000 |
| Поправочні коефіцієнти            | K <sub>Т</sub> | -    | 1    | 1    |
|                                   | K <sub>М</sub> | -    | 1    | 1    |
|                                   | K <sub>В</sub> | -    | 1,01 | 1,01 |
|                                   | K <sub>З</sub> | -    | 0,85 | 0,85 |
|                                   | K <sub>П</sub> | -    | 1    | 1    |
| Вартість 1 т стружки              | S              | грн. | 140  | 140  |
| Собівартість 1 т заготовок        | C              | грн. | 3,61 | 1,8  |
| Коефіцієнт використання матеріалу | η              | -    | 0,47 | 0,71 |

Так як собівартість за першим варіантом 3,61 грн більше, собівартості за другим варіантом отримання заготовки 1,8 грн а коефіцієнт використання матеріалу 0,47 менше аналогічного коефіцієнту за другим варіантом 0,71 обираємо найбільш ефективний метод отримання заготовки деталі «Гільза»: отримання заготовки з трубного прокату.

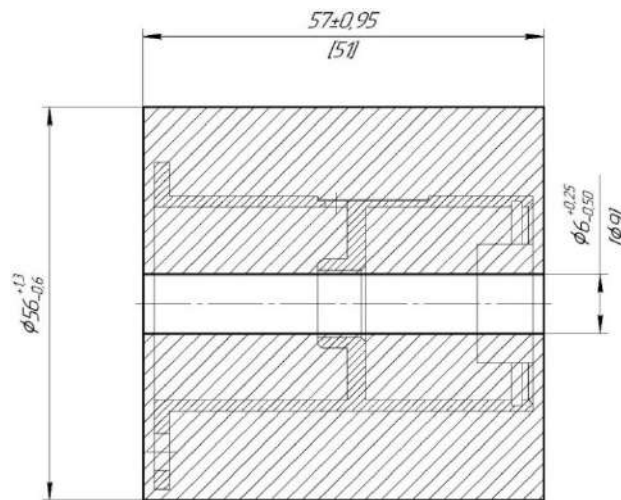


Рисунок 1.5 – Креслення заготовки отриманої з трубного прокату

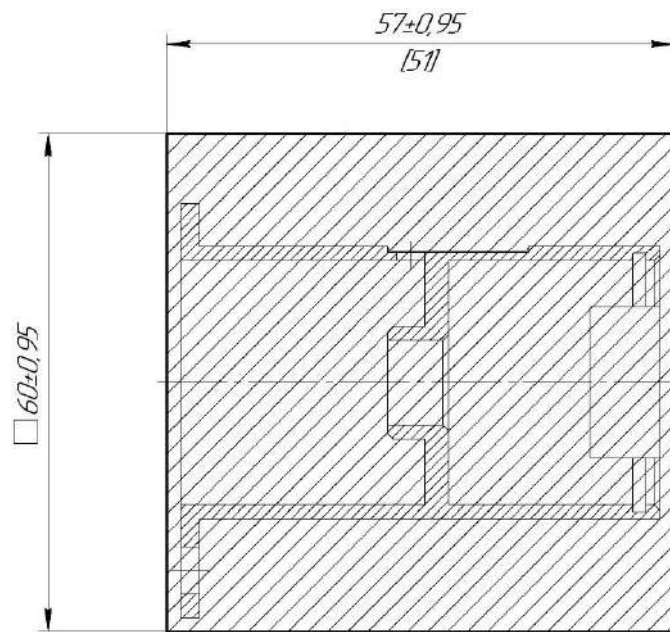


Рисунок 1.6 - Креслення заготовки отриманої з каліброваного прокату

#### 1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

##### 1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Відповідно до ГОСТ 14.201-83 визначення технологічності деталі виробу є однією з основних факторів підготовки виробництва, що визначає необхідність взаємопов'язаної роботи конструкторської та технологічної служби, спрямованих на підвищення продуктивності праці, досягнення оптимальних трудових та матеріальних витрат та скорочення часу на виробництво, у тому числі і монтаж поза підприємством-виробником, технічне обслуговування та ремонту виробу.

Матеріал з якого виготовляється деталь відноситься до класу жароміцних важко обробляємих сталей мартенситного класу. Деталь має тонку стінку, містить декілька осей симетрії. В головній осі має центральний отвір та декілька виточок.

Деталь має нормальну точність геометричних розмірів, до уніфікованих елементів можна віднести отвори та радіуси закруглень. Для обробки деталі доцільно використовувати стандартизований інструмент. Деталь має декілька поверхонь обробка яких буде супроводжуватися деякими складнощами. В

результаті аналізу якісних показників робимо висновок, що гільза має задовільну технологічність. Остаточну оцінку слід виконувати на основі кількісних показників.

Коефіцієнт використання матеріалу визначається за формулою (1.2):

$$\eta < 0,8$$

За даним фактором деталь не технологічна.

Показник, що враховує кількість уніфікованих елементів знаходиться відповідно до формули (1.6) [1]:

$$K_{y.э.} = \frac{Q_{ye}}{Q_e} > 0,6, \quad (1.6)$$

де  $Q_{y.e.}$ ,  $Q_e$  – відповідно кількість уніфікованих елементів та загальна кількість елементів.

$$K_{y.э.} = \frac{9}{14} = 0,64 > 0,6$$

За цим показником деталь технологічна.

Показник, який враховує точність геометричних розмірів визначається за формулою (1.7) [1]:

$$K_{то} = 1 - \frac{1}{A_{cp}} > 0,8 \quad (1.7)$$

де  $A_{cp}$  – середній квалітет точності.

Визначається за формулою (1.8):

$$A_{cp} = \frac{14 \times n_1 + \dots + 6 \times n_n}{\Sigma n}, \quad (1.8)$$

де  $n_{1...n}$  – кількість розмірів, котрі мають відповідний квалітет;

$\sum n$  – кількість усіх розмірів.

$$A_{cp} = \frac{14 \times 7 + 11 \times 3 + 7 \times 4}{14} = 11,36$$

$$K_{то} = 1 - \frac{1}{11,36} = 0,91 > 0,8$$

За цим показником деталь технологічна.

Показник шорсткості визначається за формулою (1.9) [1]:

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} < 0,32, \quad (1.9)$$

де  $B_{cp}$  – середній квалітет шорсткості.

Визначається за формулою (1.10) [1]:

$$B_{cp} = \frac{K_5 \times n_1 + \dots + K_8 \times n_n}{\sum n}, \quad (1.10)$$

де  $K_{5...8}$  - клас шорсткості;

$n_1...n_n$  - кількість розмірів, котрі мають відповідний клас шорсткості.

$$B_{cp} = \frac{5 \times 8 + 7 \times 2 + 8 \times 4}{14} = 6,14$$

$$K_{ш} = \frac{1}{6,14} = 0,16 < 0,32$$

За цим показником деталь технологічна.

Аналізуючи данні отримані при оцінці якісних показників та при розрахунку кількісних показників технологічності можна зробити висновок, що за коефіцієнтом використання матеріалу деталь є не технологічною, а так як один з

показників є не технологічним то і загальний висновок робимо щодо не технологічності деталі «Гільза».

#### 1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки поверхонь (МОП) визначає порядок операцій механічної обробки деталі «Гільза», а також визначає зміст, кількість і місце допоміжних операцій, якщо вони необхідні. Як додатковий матеріал який можна використовувати при проектуванні маршруту обробки поверхонь використовуються типові, групові або робочі заводські технологічні процеси, а також нормативні документи, які використовуються на підприємствах.

При розробці маршрутного технологічного процесу було враховано заводський досвід і рекомендації літературних джерел по розділу технологічного процесу на етапи, які об'єднують технологічні методи приблизно рівних за точністю і якістю обробки поверхонь.

МОП проектуємо для двох поверхонь зовнішньої та внутрішньої відповідно до обсягів розрахунків у даному розділі магістерської роботи.

Для зовнішньої циліндричної поверхні Ø29h7 шорсткість заготовки  $R_a = 25$  мкм, [1], допуск  $Td_3 = 1,9$  мм, шорсткість деталі  $R_a = 10$  мкм, допуск  $Td = 0,021$  мм.

Визначаємо уточнення за параметрами точності  $\varepsilon_d$  та шорсткості  $R_{ad}$  за формулами (1.11), (1.12) [8]:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (1.11)$$

де  $Td_3$ ,  $Td_d$  – допуски на поверхні гільзи та її заготовки.

$$\varepsilon_d = \frac{1,9}{0,021} = 90,48$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{Ra_3}{Ra_0} \quad (1.12)$$

де  $Ra_3$ ,  $Ra_d$  – шорсткість на поверхні гільзи та її заготовки відно.

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{10} = 2,5$$

Кількість переходів визначаємо за показником точності геометричного розміру. За цим показником розраховуємо  $k$  переходів визначаємо за формулою (1.13) [8]:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon_d \quad (1.13)$$

$$k = 2 \cdot \lg 90,48 = 3,9$$

Приймаємо  $k = 4$

Різниця класів шорсткості та їх розподіл  $IT = IT16 - IT7 = 9 = 3 + 3 + 2 + 1$

Встановлюємо послідовність показників точності:  $IT16 - IT13 - IT10 - IT8 - IT7$

Призначаємо методи обробки за переходами. Заготівельна – точіння чорнове – точіння напівчистове – точіння чистове – шліфування чорнове.

За [1] призначаємо допуски та шорсткість за переходами, див. табл. 1.4.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості для точіння чорнового за формулами (1.11), (1.12) [8]:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{1,9}{0,81} = 2,34$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{12,5} = 2$$

Для інших переходів уточнення розраховується так само. Результати розрахунків заносимо в таблицю 1.4.

Для поверхні Ø26H7 шорсткість заготовки  $R_a = 25$  мкм, [1, табл.3.7, с.19], допуск  $Td_3 = 1,9$  мм, шорсткість деталі  $R_a = 0,5$  мкм, допуск  $Td = 0,021$  мм.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості за формулами (1.11), (1.12) [8]:

$$\varepsilon_d = \frac{1,9}{0,021} = 90,5$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{0,5} = 50$$

Кількість переходів визначаємо за показником точності геометричного розміру. За цим показником розраховуємо  $k$  переходів за формулою (1.13) [8]:

$$k = 2 \cdot \lg 90,5 = 3,9$$

Приймаємо  $k = 4$

Різниця класів шорсткості та їх розподіл  $IT = IT_{16} - IT_7 = 9 = 3 + 3 + 2 + 1$

Встановлюємо послідовність показників точності:  $IT_{16} - IT_{13} - IT_{10} - IT_8 - IT_7$ .

Призначаємо методи обробки за переходами. Заготівельна – розточування чорнове – розточування напівчистове – розточування чистове – шліфування чорнове.

За [1] призначаємо допуски та шорсткість за переходами та заносимо в таблицю 1.4. Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості для точіння чорнового за формулами (1.11), (1.12) [8]:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{1,9}{0,62} = 3,06$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{12,5} = 2$$

Для інших переходів уточнення розраховується так само.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 1.4.



| Характер та показники<br>точності та якості поверхонь<br>в деталі та заготівці                           | Показник | Уточнення       | Кількість<br>переході<br>в k |          | Різниця показників<br>ППТК                                                                        | МОП               |                         | Допуск |            | Уточнення |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------|------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|--------|------------|-----------|------------|
|                                                                                                          |          |                 | Розрахунков<br>ε             | Прийняте |                                                                                                   | і                 | Метод<br>обробки        | Розмір | Шорсткість | Розмір    | Шорсткість |
|                                                                                                          | J        | ε <sub>j0</sub> |                              |          |                                                                                                   |                   |                         |        |            |           |            |
| Ø29h7<br>R <sub>a</sub> =25 мкм,<br>Td <sub>3</sub> = 1,9мм,<br>R <sub>a</sub> =10мкм,<br>Td = 0,021мм   | d        | 90,5            | 3,9                          | 4        | IT=IT16-<br>IT7=9=3+3+2+1                                                                         | 1                 | Заготовка               | 1,9    | 25         | -         | -          |
|                                                                                                          |          |                 |                              |          |                                                                                                   | 2                 | Т/о                     | -      | -          | -         | -          |
|                                                                                                          |          |                 |                              |          |                                                                                                   | 3                 | Точ. чорн.              | 0,81   | 10         | 2,35      | 2,5        |
|                                                                                                          | Ra       | 2,5             |                              |          | Δ кл= 5кл –4кл = 1 кл<br>Ra25> Ra10                                                               | 4                 | Точ.<br>Напівчист.      | 0,34   | 10         | 2,38      | 1          |
|                                                                                                          |          |                 |                              |          |                                                                                                   | 5                 | Точ. Чист.              | 0,08   | 10         | 4,25      | 1          |
|                                                                                                          |          |                 |                              |          |                                                                                                   | 6                 | Шліф. Чорн              | 0,021  | 10         | 3,81      | 1          |
|                                                                                                          |          |                 |                              |          |                                                                                                   | Σε <sub>i</sub> = |                         |        |            |           | 90,5       |
| Ø27H7<br>R <sub>a</sub> =25 мкм,<br>Td <sub>3</sub> = 1,9мм,<br>R <sub>a</sub> =0,5мкм,<br>Td = 0,021мм. | d        | 90,5            | 3,9                          | 4        | IT=IT16-<br>IT7=9=3+3+2+1                                                                         | 1                 | Заготовка               | 1,9    | 25         | -         | -          |
|                                                                                                          |          |                 |                              |          |                                                                                                   | 2                 | Т/о                     | -      | -          | -         | -          |
|                                                                                                          |          |                 |                              |          |                                                                                                   | 3                 | Розточ. черн.           | 0,62   | 12,5       | 3,06      | 2          |
|                                                                                                          | Ra       | 50              |                              |          | Δ кл= 8кл –2кл = 6 кл<br>= 2кл- 3кл - 4кл - 5кл -<br>7 кл<br>Ra25> Ra12,5> Ra6,3><br>Ra3,2> Ra0,5 | 4                 | Розточоч.<br>Напівчист. | 0,24   | 6,3        | 2,58      | 1,98       |
|                                                                                                          |          |                 |                              |          |                                                                                                   | 5                 | Розточ. Чист.           | 0,1    | 3,2        | 2,4       | 1,98       |
|                                                                                                          |          |                 |                              |          |                                                                                                   | 6                 | Шлиф. Чорн              | 0,021  | 0,5        | 4,76      | 6,4        |
|                                                                                                          |          |                 |                              |          |                                                                                                   | Σε <sub>i</sub> = |                         |        |            |           | 90,5       |

### 1.4.3 План виготовлення деталі.

При розробці маршруту обробки деталі (МОД) дається загальний план обробки деталі і намічається зміст операцій на основі раніше проаналізованих і відібраних до виконання маршрутів обробки окремих поверхонь. Це завдання тим складніше, чим більше у деталі точно оброблюваних поверхонь. При цьому завжди існують кілька прийнятних варіантів технологічного процесу.

При виборі оптимального варіанту керуються наступними рекомендаціями:

1) перш за все, обробляють технологічні бази. Базові поверхні повинні бути спеціально підготовлені на попередніх операціях;

2) потім обробляють інші поверхні в порядку сходження від вихідної точності заготовки до необхідної точності поверхонь, представлених найбільш високими квалітетом точності. Ними є виконавчі поверхні, за допомогою яких деталь виконує своє службове призначення. Вибір технологічного обладнання: тип верстату визначають на етапі проектування МОД, призначив метод механічної обробки. МОД зображується у графічній частині магістерської роботи де для кожної технологічної операції обробки різання вказується верстат, шорсткість яку можна досягти на даному етапі розробки технологічного процесу, вказується базування деталі та виділяються геометричні поверхні які оброблюють на цій технологічній операції.

### 1.5 Розрахунок припусків та технологічних розмірів

Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків на обробку являє собою систему, що включає методично обґрунтований розрахунок припусків, ув'язку розрахункових припусків з граничними розмірами оброблюваної поверхні і нормативними матеріалами:

Зовнішня діаметральна поверхня  $\emptyset 29h7(-0,021)$

Прийняті позначення:  $Rz$  - висота нерівностей профілю на попередньому переході;  $h_{i-1}$  - глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході;  $\Delta_{i-1}$  - сумарні відхилення розташування поверхні і відхилення форми поверхні, сформованих на попередньої операції;  $\varepsilon_i$  - похибка установки заготовки на виконуваному переході [3].

Мінімальні значення припусків визначаємо відповідно до формули (1.14):

$$2Z_{min_i} = 2 \left( R_{z_{i-1}} + T d_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) \quad (1.14)$$

Для поверхні заготовки значення шорсткості та глибини дефектного шару  $Rz=150$  мкм и  $h=200$  мкм приймаємо в залежності від маси заготовки [3].

Просторові відхилення заготовки для штамповки нормальної точності (серійне виробництво):  $\rho_{cm}=650$  мкм,  $\rho_{кор} = \Delta_k \times 1 = 3 \times 51 = 153$  мкм = 0,153 мм [3].

Сумарне значення відхилень визначаємо за формулою (1.15) [3]:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{cm}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (1.15)$$

$$\rho_1 = \sqrt{650^2 + 153^2} = 667,76 \text{ мкм} = 0,670 \text{ мм}.$$

Отримані значення заносимо в таблицю 1.5.

Для точіння чорнового табличні значення визначені за нормативами Rz, h:  $Rz_2=75$  мкм,  $h_2=75$  мкм,  $\rho_2=k_y \times \rho_1=0.06 \times 650=39$  мкм = 0,04 мм,  $k=0,06$  – коефіцієнт уточнення [3].

Похибки установки заготовки визначаємо за формулою (1.16) [3]:

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{Td_{\text{заг}}^2 + 1}, \quad (1.16)$$

де  $Td_{\text{заг}}=1,9$  мм – допуск бази заготовки.

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{1,9^2 + 1} = 0,537 \text{ мм} = 537 \text{ мкм}.$$

Для точіння напівчистового табличні значення визначені за нормативами Rz, h, прийmemo:  $Rz_3=50$  мкм,  $h_3=50$  мкм,  $\rho_3=2$  мкм,  $\varepsilon_3=26,85$  мкм [3].

Для точіння чистового нормативні значення Rz, h, прийmemo:  $Rz_4=25$  мкм,  $h_4=25$  мкм,  $\rho_4=0$  мкм,  $\varepsilon_3=1,1$  мкм [3].

Для шліфування чорнового нормативні значення Rz, h, прийmemo:  $Rz_3=15$  мкм,  $h_3=15$  мкм,  $\rho_3=0$  мкм,  $\varepsilon_3=0$  мкм [3].

Для точіння чорнового:

$$2Z_{1\min} = 2 \cdot \left[ 75 + 75 + \sqrt{(670^2 + 537^2)} \right] = 2017 \text{ мкм} = 2,017 \text{ мм}.$$

Для точіння напівчистового:

$$2Z_{2\min} = 2 \cdot \left[ 50 + 50 + \sqrt{(40^2 + 26,85^2)} \right] = 281,78 \text{ мкм} = 0,282 \text{ мм}.$$

Для точіння чистового:

$$2Z_{3\min} = 2 \cdot \left[ 25 + 25 + \sqrt{(2^2 + 1,1^2)} \right] = 104,6 \text{ мкм} = 0,104 \text{ мм}.$$

Для шліфування чорнового:

$$2Z_{4\min} = 2 \cdot \left[ 15 + 15 + \sqrt{(0^2 + 0^2)} \right] = 60 \text{ мкм} = 0,06 \text{ мм.}$$

Визначаємо мінімальний розмір поверхні деталі – розмір останнього переходу механічної обробки за формулою (1.17):

$$d_5^{\min} = d_5^{\text{ном}} + \text{eid}_5, \quad (1.17)$$

$$d_5^{\min} = 29 + (-0,021) = 28,979 \text{ мм.}$$

Далі розрахункові мінімальні розміри знаходимо по формулі (1.18):

$$d_i^{\min} = d_{i+1}^{\min} + 2z_{i+1}^{\min}, \quad (1.18)$$

$$d_4^{\min} = 28,979 + 0,06 = 29,039 \text{ мм,}$$

$$d_3^{\min} = 29,039 + 0,104 = 29,143 \text{ мм,}$$

$$d_2^{\min} = 29,143 + 0,282 = 29,425 \text{ мм,}$$

$$d_1^{\min} = 29,425 + 2,017 = 31,442 \text{ мм.}$$

Розраховуємо максимальні розміри поверхні для переходів по формулі (1.19):

$$d_i^{\max} = d_i^{\min} + Td_i, \quad (1.19)$$

$$d_5^{\max} = 28,979 + 0,021 = 29 \text{ мм,}$$

$$d_4^{\max} = 29,039 + 0,08 = 29,119 \text{ мм,}$$

$$d_3^{\max} = 29,143 + 0,34 = 29,483 \text{ мм,}$$

$$d_2^{\max} = 29,425 + 0,81 = 30,235 \text{ мм,}$$

$$d_1^{\max} = 31,442 + 1,9 = 33,342 \text{ мм.}$$

Розраховуємо максимальні припуски для переходів механічної обробки по формулі (1.20):

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\max}, \quad (1.20)$$

$$2z_2^{\max} = 33,342 - 30,235 = 3,107 \text{ мм,}$$

$$2z_3^{\max} = 30,235 - 29,483 = 0,752 \text{ мм,}$$

$$2z_4^{\max} = 29,483 - 29,119 = 0,364 \text{ мм,}$$

$$2z_5^{\max} = 29,119 - 29 = 0,119 \text{ мм.}$$

Перевіряємо розрахунки, використовуючи формулу (1.21):

$$2Z_0^{\max} - 2Z_0^{\min} = Td_{\text{заг}} + Td_{\text{дет}}, \quad (1.21)$$

$$4363 - 2442 = 1900 + 21.$$

Визначаємо виконавчий розмір заготовки за формулою (1.22):

$$d_{1\text{ном}} = d_{1\text{мін}} + ei_1, \quad (1.22)$$

$$d_{1\text{ном}} = 31,442 + 0,6 = 32,04 \text{ мм.}$$

Виконуваний розмір заготовки буде дорівнювати:  $\text{Ø}32_{-0,6}^{+1,3}$  виконувальні розміри за іншими переходами виконуємо в системі «валу», за номінальний розмір приймаємо максимальне значення розміру поверхні мінус допуск на обробку як нижнє відхилення, всі дані заносимо в табл. 1.5.

Розрахунок технологічних розмірів на поверхню Ø26H7 виконується методом розмірних ланцюгів. Рішення проектної задачі розрахунку можливо, якщо в технологічній операційній розмірному ланцюгу міститься тільки одна ланка з невідомим номіналом. Розрахунки проводяться, використовуючи середні значення ланок, в послідовності, яка визначається алгоритмами розрахунку.

Розрахунок припусків за таблицями «Табличний метрод». За [4] знаходимо мінімальний припуск за переходами механічної обробки:

Розточування чорнове  $2Z_{2\min}=1,75$  мм;

Розточування напівчистове  $2Z_{3\min}=0,45$  мм;

Розточування напівчистове  $2Z_{4\min}=0,35$  мм;

Шліфування внутрішнє  $2Z_{5\min}=0,15$  мм.

Визначаємо мінімальний розмір поверхні деталі це буде розмір чистового переходу обробки різанням за формулою (1.23):

$$d_6^{min} = d_6^{ном} + eid_5 = 26 + 0 = 26 \text{ мм.} \quad (1.23)$$

На наступному етапі розраховуємо мінімальні розміри знаходимо за формулою (1.24):

$$d_i^{min} = d_{i+1}^{min} - 2_{i+1}^{min} - Td_i, \quad (1.24)$$

$$\begin{aligned} d_5^{min} &= 26 - 0,15 - 0,1 = 25,75 \text{ мм} \\ d_4^{min} &= 25,75 - 0,35 - 0,24 = 25,16 \text{ мм,} \\ d_3^{min} &= 25,16 - 0,45 - 0,62 = 24,09 \text{ мм,} \\ d_1^{min} &= 24,09 - 1,75 - 1,9 = 20,44 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Розраховуємо максимальні розміри поверхні для переходів за формулою (1.25):

$$d_i^{max} = d_i^{min} + Td_i , \quad (1.25)$$

$$d_1^{max} = 20,44 + 1,9 = 22,34 \text{ мм},$$

$$d_3^{max} = 24,09 + 0,62 = 24,71 \text{ мм},$$

$$d_4^{max} = 25,16 + 0,24 = 25,4 \text{ мм},$$

$$d_5^{max} = 25,75 + 0,1 = 25,85 \text{ мм}.$$

$$d_6^{max} = 26 + 0,021 = 26,021 \text{ мм}.$$

Розраховуємо максимальні припуски поверхні для переходів за формулою (1.26):

$$2Z_{imax} = d_i^{max} - d_{i+1}^{min} , \quad (1.26)$$

$$2Z_{min1} = 24,71 - 20,44 = 4,27 \text{ мм},$$

$$2Z_{min3} = 25,4 - 24,09 = 1,31 \text{ мм},$$

$$2Z_{min4} = 25,85 - 25,16 = 0,69 \text{ мм}.$$

$$2Z_{min5} = 26,021 - 25,75 = 0,271 \text{ мм}.$$

Перевіряємо розрахунки, використовуючи формулу (1.22):

$$5581 - 3660 = 1,9 + 0,021.$$

Виконуваний розмір заготовки буде дорівнювати:  $\varnothing 21_{-1,3}^{+0,6}$  виконувані розміри за іншими переходам виконуємо в системі «отвору», за номінальний розмір приймаємо мінімальні значення розміру поверхні плюс допуск на обробку як верхнє відхилення, всі данні заносимо в таблицю 1.5.



Таблиця 1.5 – Розрахунок припусків

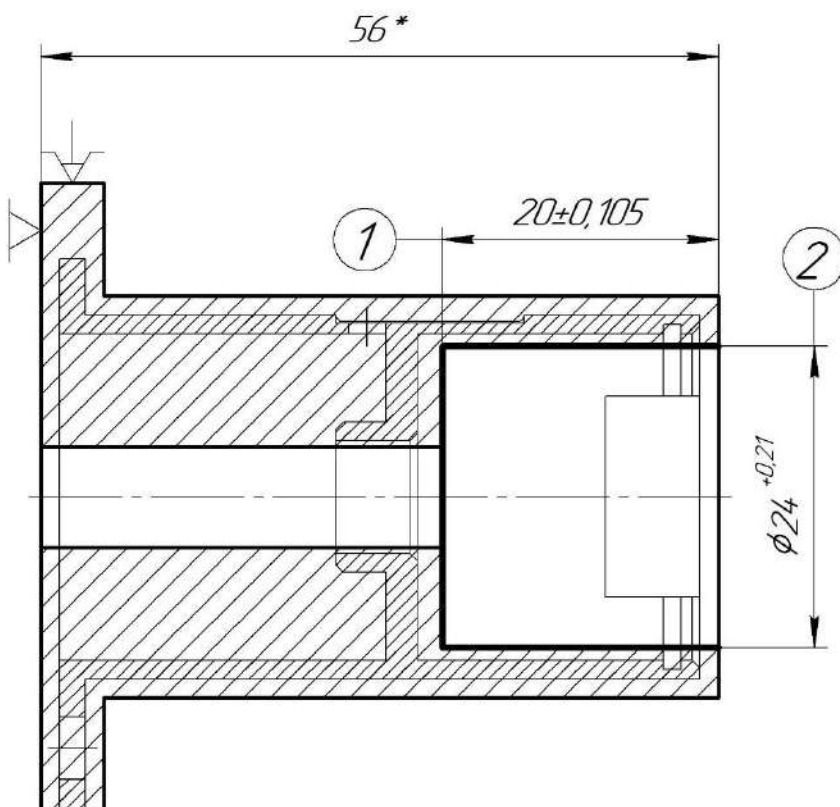
| № Пов. | Перехід         | Елементи припуску, мкм |     |     |       | Розрахунковий           |               | Допуск,<br>мм | Макс.<br>розмір,<br>мм | Мінім.<br>розмір,<br>мм | Припуск на обробку,<br>мкм |                   | Виконавчий<br>розмір,<br>мм         |
|--------|-----------------|------------------------|-----|-----|-------|-------------------------|---------------|---------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------------------------|
|        |                 | Rz                     | h   | ρ   | ε     | Мін.<br>припуск,<br>мкм | Розмір,<br>мм |               |                        |                         | 2Z <sub>max</sub>          | 2Z <sub>min</sub> |                                     |
|        |                 |                        |     |     |       |                         |               |               |                        |                         |                            |                   |                                     |
| Ø29h7  | Заготовка       | 150                    | 200 | 670 | -     | -                       | 31.442        | 1,9           | 33.342                 | 31.442                  | -                          | -                 | Ø32 <sup>+1,3</sup> <sub>-0,6</sub> |
|        | Т/О             | -                      | -   | -   | -     | -                       | -             | -             | -                      | -                       | -                          | -                 | -                                   |
|        | Точ.чорн.       | 75                     | 75  | 39  | 537   | 2017                    | 29.425        | 0,81          | 30.235                 | 29.425                  | 3107                       | 2017              | Ø30.24 <sub>-0,81</sub>             |
|        | Точ. напів/чист | 50                     | 50  | 2   | 26.85 | 282                     | 29.143        | 0,34          | 29.483                 | 29.143                  | 752                        | 282               | Ø29.48 <sub>-0,084</sub>            |
|        | Точ. чист       | 25                     | 25  | 0   | 1,6   | 104                     | 29.039        | 0,08          | 29.119                 | 29.039                  | 364                        | 104               | Ø29.119 <sub>-0,033</sub>           |
|        | Шліф. Чорн.     | 15                     | 15  | 0   | 0     | 60                      | 28.979        | 0,021         | 29                     | 28.979                  | 119                        | 60                | Ø29 <sub>-0,021</sub>               |
| Ø26H7  | Заготовка       |                        |     |     |       | -                       | 20,44         | 1,9           | 22,34                  | 20,44                   | -                          | -                 | Ø21 <sup>+0,6</sup> <sub>-1,3</sub> |
|        | Т/О             |                        |     |     |       | -                       | -             | -             | -                      | -                       | -                          | -                 | -                                   |
|        | Розточ.чорн.    |                        |     |     |       | 1750                    | 24,09         | 0,62          | 24,71                  | 24,09                   | 4270                       | 1750              | Ø21,1 <sup>+0,62</sup>              |
|        | Розточ. п/чист  |                        |     |     |       | 450                     | 25,16         | 0,24          | 25,4                   | 25,16                   | 1310                       | 450               | Ø25,2 <sup>+0,24</sup>              |
|        | Розточ. чист    |                        |     |     |       | 350                     | 25,75         | 0,1           | 25,85                  | 25,75                   | 690                        | 350               | Ø25,7 <sup>+0,1</sup>               |
|        | Шліф            |                        |     |     |       | 150                     | 26            | 0,021         | 26,021                 | 26                      | 271                        | 150               | Ø26 <sup>+0,021</sup>               |

## 1.6 Розрахунок режимів різання

Відповідно до поставленого завдання на магістерську роботу виконаємо розрахунок режимів різання на три технологічних операції які будуть виконання із застосуванням верстатів з ЧПУ: токарна операція з ЧПУ, свердлильна операція з ЧПУ, фрезерна операція з ЧПУ.

Операція 020 Токарна з ЧПК. Операційний ескіз показано на рис. 1.7.

$\sqrt{Ra\ 12,5}$



\* розмір для довідок

Рисунок 1.7 – Ескіз операції №020 Токарна з ЧПУ

Інструмент – різець контурний з пластиною з твердого сплаву ВК10М

Глибина різання  $t_1=1,0$  мм

Подача визначається за формулами (1.27), (1.28):

$$S_o = S_{o_T} \times K_{S_o} \quad (1.27)$$

$$K_{S_o} = K_{S_{\Pi}} \times K_{S_{II}} \times K_{S_{\Phi}} \times K_{S_3} \times K_{S_{Ж}} \times K_{S_M} \quad (1.28)$$

де  $S_{o_T} = 0,3 \text{ мм/об}$  [3];

$K_{S_{\Pi}}$  – чинник, який дозволяє врахувати стан поверхні обробки,  $K_{S_{\Pi}}=1,0$ ;

$K_{S_{II}}$  – чинник, який дозволяє врахувати інструментальний матеріал,  $K_{S_{II}}=0,8$ ;

$K_{S_{\Phi}}$  – чинник, який дозволяє врахувати геометрію поверхні обробки,  $K_{S_{\Phi}}=0,7$ ;

$K_{S_3}$  – чинник, який дозволяє врахувати термічну обробку поверхні,  $K_{S_3}=0,8$ ;

$K_{S_{Ж}}$  – чинник, який дозволяє врахувати жорсткість технологічної системи,  $K_{S_{Ж}}=0,95$ ;

$K_{S_M}$  – чинник, який дозволяє врахувати матеріал обраблюваної поверхні,  $K_{S_M}=1,0$ .

$$K_{S_o} = 1,0 \times 0,8 \times 0,7 \times 0,8 \times 0,95 \times 1,0 = 0,43$$

$$S_o = 0,3 \times 0,43 = 0,129 \approx 0,13 \text{ мм/об}$$

Визначаємо швидкість різання за формулами (1.29), (1.30):

$$V = V_T \times K_V \quad (1.29)$$

$$K_V = K_{V_M} \times K_{V_{II}} \times K_{V_{\Phi}} \times K_{V_T} \times K_{V_{Ж}} \times K_{V_{\Pi}} \times K_{V_O} \quad (1.30)$$

де  $V_T$  – значення швидкості різання за довідниковими даними,  $V_T=215 \text{ м/хв}$ , [3];

$K_V$  – узагальнений параметр швидкості,  $K_V = 0,65$ ;

$K_{V_M}$  – параметр який враховує матеріал обробки,  $K_{V_M}=0,8$ ;

$K_{V_{II}}$  – параметр, який враховує матеріал інструменту,  $K_{V_{II}}=1,0$ ;

$K_{V_{\Phi}}$  – параметр, який враховує головний куту в плані,  $K_{V_{\Phi}}=1,0$ ;

$K_{V_T}$  – параметр, який враховує тип обробки різанням,  $K_{V_T}=0,85$ ;

$K_{V_{Ж}}$  – параметр, який враховує жорсткість СПД,  $K_{V_{Ж}}=0,82$ ;

$K_{VP}$  – параметр, який враховує параметрі оброблюємої поверхні,  $K_{VP}=1,0$ ;

$K_{VO}$  – параметр, що враховує вплив ЗОР,  $K_{VO}=1,0$ .

$$k_v=0,65 \times 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,85 \times 0,82 \times 1,0 = 0,36$$

$$V = 215 \times 0,36 = 77,92 \text{ м/хв}$$

Частоту обертів шпинделю визначається за формулою (1.31):

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (1.31)$$

де  $V$  - швидкість різання, м/хв

$D$  - діаметр обробки, мм

$$n = \frac{1000 \times 77,92}{3,14 \times 24} = 1033,9 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо за паспортом верстату  $n=1000 \text{ хв}^{-1}$

Дійсна швидкість різання:

$$V_d = \frac{3,14 \times 1000 \times 24}{1000} = 75,36 \text{ м/хв}$$

Визначаємо силу різання за формулою (1.32):

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot k_p, \quad (1.32)$$

де  $C_p$  – параметр, що враховує умови обробки,  $C_p=204$  [2];

$x, y, n$  – показники степені, що враховують умови обробки  $n=0$ ;  $x=1,0$ ;  $y=0,75$ ; [3];

$k_p$  – поправочний параметр, що враховує фактичні умови різання визначається за формулою 1.33:

$$K_p = k_{mv} \cdot k_{\phi v} \cdot k_{\gamma v} \cdot k_{\lambda v} \cdot k_{rv}, \quad (1.33)$$

де  $k_{MP}$  - поправочний параметр, що враховує вплив якості оброблююмого матеріалу визначаємо за формулою (1.34):

$$k_{MP} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n \quad (1.34)$$

$$k_{MP} = \left( \frac{1080}{750} \right)^{0,75} = 1,31$$

$k_{\phi p}, k_{\gamma p}, k_{\lambda p}, k_{rp}$  - поправочні параметри, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструменту  $k_{\phi p}=1,08$ ,  $k_{\gamma p}=1,15$ ,  $k_{\lambda p}=1,0$ ,  $k_{rp}=0.93$ , [2];

$$k_p = 1,31 \times 1,08 \times 1,15 \times 1,0 \times 0,93 = 1,51$$

$$P_z = 10 \times 204 \times 1,0^{1,0} \times 0,13^{0,75} \times 75,36^0 \times 1,51 = 666,9H$$

Визначаємо потужність різання за формулою (1.35):

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (1.35)$$

де  $P_z$  - сила різання, Н

$V$  - швидкість різання, м/хв

$$N = \frac{666,9 \times 75,36}{1020 \times 60} = 0,82 \text{ кВт}$$

Потужність різання необхідно перевірити за потужністю верстата:

$$N_2 = 0,72 \text{ кВт} \leq N_{CT} = N_{ДВ} \cdot \eta = 15 \cdot 0,85 = 12,75 \text{ кВт}$$

Визначаємо машинний час за формулою (1.36):

$$T_0 = \frac{l + y + \Delta}{n \cdot S_0}; \quad (1.36)$$

де  $l$ - довжина оброблюємої поверхні,  $l=36$  мм;

$y$ - величина врізання, мм  $y=3$  мм;

$\Delta$ - величина перебігу інструменту,  $\Delta=3$  мм.

$$T_0 = \frac{30 + 3 + 3}{1000 \times 0,13} = 0,28 \text{ хв}$$

Зображення ескізу на свердлильну операцію «Свердлильна з ЧПУ №045» показано на рис. 1.8.

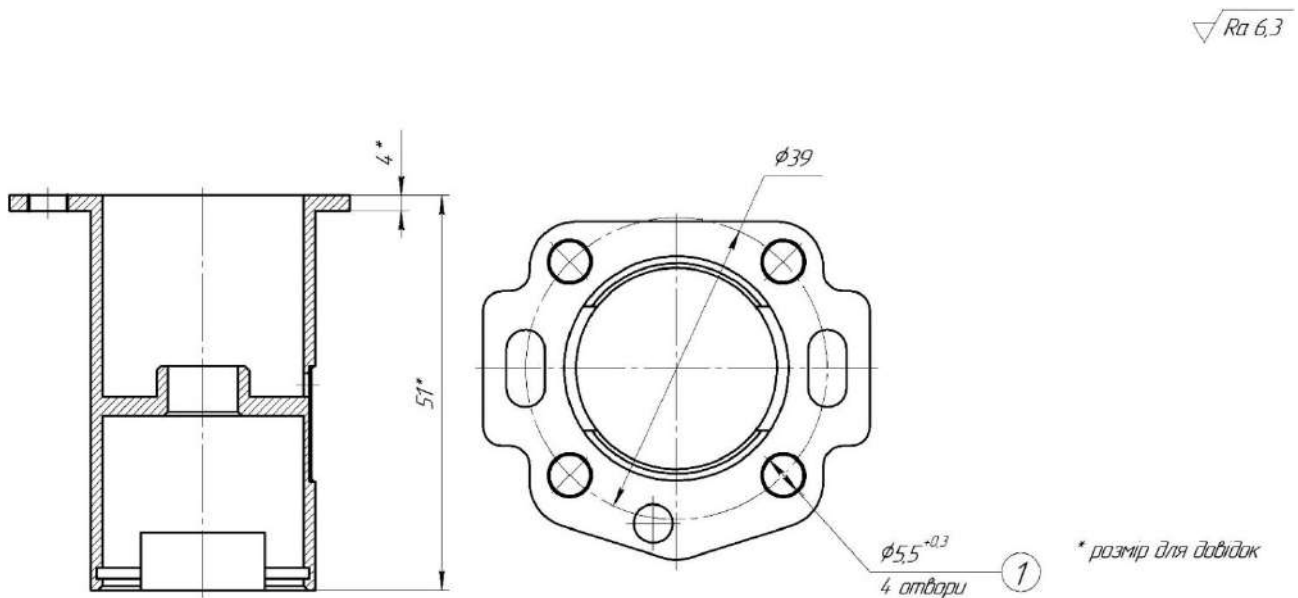


Рисунок 1.8 - Операційний ескіз – операція № 045

Верстат: Свердлильний з ЧПК BAOFENG BFT600

Поверхня Ø5,5 L=4мм Ra=6,3мкм;

Інструмент: Свердло спіральне Ø5,5мм, L=4мм, P6M5, ГОСТ12121-77

Свердлить відповідно ескізу чотири отвори за програмою (рис. 4.1):

Довжина робочого ходу визначається за формулою (1.37):

$$L_p = 2 \cdot (l + y) \quad (1.37)$$

де  $l$ -довжина свердління  $l=4$ мм;

$y=0,6d_{\text{св}}$  –врізання, мм;

де  $d_{\text{св}}$ -діаметр свердла, мм;

$$Lp = 2 \cdot (4 + 2,4) = 12,8\text{мм}$$

Глибина різання:  $t = \frac{d_{\text{св}}}{2} = \frac{5,5}{2} = 2,75\text{мм}.$

Визначаємо подачу за формулою:

$$S_0 = 0,12 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 = 0,09 \text{ мм/об}$$

По паспорту верстата приймаємо  $S_0 = 0,1 \text{ мм/об}$

Швидкість різання розраховуємо за формулою (1.38):

$$v_0 = v_m \times k_{mv} \times k_{nv} \times k_{uv} \times k_{\phi v} \times k_{\phi 1v} \times k_r \quad (1.38)$$

де  $k_{mv}$  – параметр, що враховує матеріал заготовки визначається за формулою (1.39):

$$k_{mv} = k_r \cdot \left( \frac{750}{\sigma_b} \right)^{n_v} \quad (1.39)$$

$k_r$  – параметр, що характеризує групу сталі.  $k_r=0.8$  [4];

$\sigma_b$  - тимчасовий опір розриву, МПа.  $\sigma_b=1061\text{МПа}$ ;

$n_v$  - показник степені,  $n_v=1.0$  [4];

$$k_{mv} = 0.8 \times \left( \frac{750}{1061} \right)^1 = 0.55$$

$k_{nv}$  – параметр, що характеризує стан поверхні  $k_{nv}=0.8$ ;

$k_{uv}$  – параметр, що характеризує матеріал інструменту  $k_{uv}=1.0$  [4];

$k_{\phi v}$ ,  $k_{\phi 1v}$ ,  $k_{rv}$ , - параметри, що характеризують геометричні параметри інструменту  $k_{\phi v}=1,0$ ,  $k_{\phi 1v}=0,94$ ,  $k_{rv}=1,03$  [4].

$$v_0 = 4,7 \cdot 0,55 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,94 \times 1,03 = 1,6 \text{ м/хв}$$

Частота обертання деталі визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \times 1,6}{3,14 \times 5,5} = 92,6 \text{ об/хв}$$

По паспорту верстата приймаємо частоту обертання  $n=100$  об/хв.

Відповідно до цього фактична швидкість різання складає:

$$V = \frac{3,14 \times 5,5 \times 100}{1000} = 1,73 \text{ м/хв}$$

Крутячий момент, визначається за формулою (1.40):

$$M_{KP} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_P \quad (1.40)$$

$$C_M = 0,041; q = 2; y = 0,7 \quad K_P = 1,04 \text{ [3];}$$

$$M_{KP} = 10 \times 0,041 \times 4^2 \times 0,1^{0,7} \times 1,04 = 1,36 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Осьова сила, Н визначається за формулою (1.41):

$$P_O = 10 \times C_P \times D^q \times S^y \times K_P \quad (1.41)$$

$$C_P = 143; q=1; y=0,7; K_P=1,04 \text{ [3]}$$

$$P_O = 10 \times 87 \times 5,5^1 \times 0,1^{0,7} \times 1,04 = 992,9 \text{ Н}$$

Потужність різання, кВт

$$N_3 = \frac{1,36 \times 100}{9750} = 0,014 \text{ кВт}$$

Розрахунок основного часу

Основний (технологічний) час визначається за формулою (1.42):

$$t_{02} = \frac{l + l_1}{n \times S} \times i \quad (1.42)$$

де  $l$  – довжина оброблюваної поверхні (довжина отвору),  $l = 4 \text{ мм}$ ;

$l_1$  – довжина врізання і перебігу інструменту  $l_1 = 3,5 \text{ мм}$ , [5];

$i$  – кількість проходів,  $i = 1$ ;

$n$  – частота обертання шпинделя з інструментом, об/хв;

$S$  – подання інструменту, мм/об;

$$t_{02} = \left( \frac{4 + 3,5}{100 \times 0,1} \right) \times 1 = 3 \text{ хв}$$

Операційний ескіз на фрезерну операцію № 045 показано на рис. 1.9.

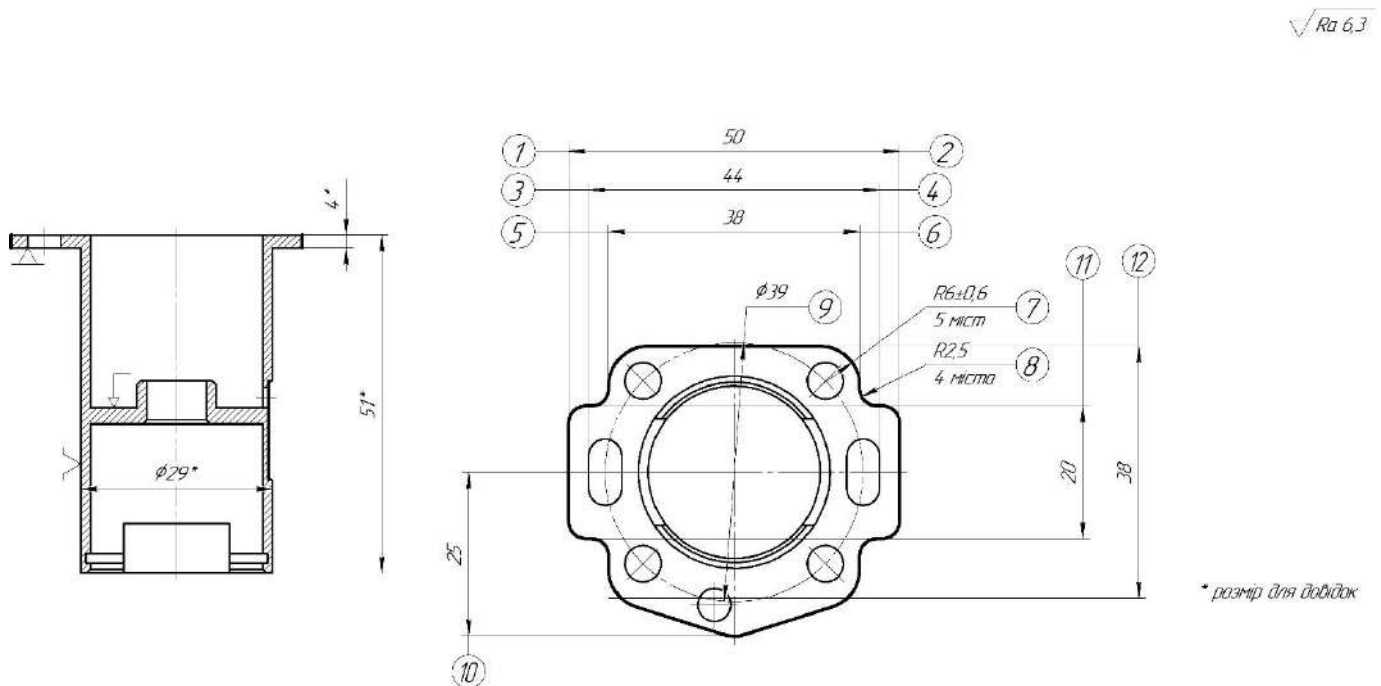


Рисунок 1.9 – Операційний ескіз на фрезерну операцію №045

Ріжучий інструмент:

Фреза кінцева Ø5 P12Ф4К5 ГОСТ 17026-71

Визначаємо подачу за формулою (1.43):

$$S_Z = S_{ZT} \cdot K_{SZ} \quad (1.43)$$

де  $S_Z=0,1$  мм/зуб – табличне значення подачі;

$K_{so}$  – параметр, що враховує ряд конструктивних особливостей технологічної системи визначається за формулою (1.44);

$$K_{SZ} = K_{SZH} \cdot K_{SZ\Phi} \cdot K_{SZR} \quad (1.44)$$

де  $K_{SZH}$  – параметр, що враховує матеріал інструменту,  $K_{SZH} = 1$ ;

$K_{SZ\Phi}$  – параметр, що враховує вид оброблюваної поверхні,  $K_{SZ\Phi} = 1$ ;

$K_{SZR}$  – параметр, що враховує клас чистоти,  $K_{SZR} = 0,8$ ;

$$S_Z = 0,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 = 0,08 \text{ мм/зуб}$$

Розраховуємо швидкість різання за формулою (1.45):

$$V = V_T \cdot K_V \quad (1.45)$$

де  $V_m$  – табличне значення швидкості різання  $V_m = 12,5$  м/хв;

$K_V$  – чинник, що враховує ряд конкретних умов обробки визначається за формулою (1.46):

$$K_V = K_{VM} \cdot K_{VH} \cdot K_{Vo} \cdot K_{V\Phi} \cdot K_{VB} \quad (1.46)$$

де  $K_{VM}$  – чинник, що враховує оброблюваність матеріалу,  $K_{VM}=0,5$ ;

$K_{VH}$  – чинник, що враховує стан поверхні,  $K_{VH} = 1$ ;

$K_{Vo}$  – чинник, що враховує умови обробки,  $K_{Vo}=1$ ;

$K_{V\Phi}$  – чинник, що враховує вид обробки,  $K_{V\Phi} = 1$ ;

$K_{VB}$  – чинник, що враховує матеріал інструменту,  $K_{VB}=1$ ;

$K_{VB}$  – чинник, що враховує ширину фрезерування,  $K_{VB} = 1$ .

$$V = 12,5 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 6,25 \text{ м/хв}$$

Обороти визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \times 6,25}{3,14 \times 5} = 398,1 \text{ об/хв}$$

Коригуємо обертання шпинделя по паспорту верстата  $n=400$  об/хв.

Знаходимо дійсну швидкість різання:

$$V = \frac{3,14 \times 5 \times 400}{1000} = 6,28 \text{ м/хв}$$

Хвилинну подачу визначимо по формулі визначається за формулою (1.47):

$$S_{XB} = S_Z \times z \times n_D, \text{ мм/хв} \quad (1.47)$$

$$S_{XB} = 0,08 \times 4 \times 400 = 128 \text{ мм/хв}$$

Потужність визначаємо за формулою (1.48):

$$N_{\text{рез}} = N_H \cdot K_M \cdot K_K \cdot K_W \cdot K_\beta = 0,8 \cdot 1 \cdot 1,64 \cdot 1,1 \cdot 1 = 1,44 \text{ кВт}, \quad (1.48)$$

де  $N_H=0,8$ кВт потужність необхідна на різання [6];

$K_M=1$  – поправочний чинник, залежний від оброблюваного матеріалу;

$K_W=1,64$  – поправочний чинник, залежний від кількості осьових переміщень;

$K_K=1,1$  – поправочний чинник, залежний від кількості заходів фрези;

$K_\beta=1$  – поправочний чинник, залежний від кута нахилу зубів коліс;

$$N_{\text{рез}} = 1,44 \text{ кВт} < N_{\text{ст}} = 7 \text{ кВт}.$$

Ефективна потужність, потрібна на різання, нижче потужності електродвигуна, що задовольняє умовам різання.

Визначаємо машинний час за формулою (1.49):

$$T_o = \frac{l + y}{n \cdot S_o \cdot Z} \quad (1.49)$$

де  $l$  – довжина оброблюваної поверхні,  $l=315$  мм;

$y$  – величина врізання, мм  $y=3$  мм;

$Z$  – число зубів фрези,  $z=4$ .

$$T_o = \frac{315 + 3}{400 \times 0,08 \times 4} = 2,48 \text{ хв}$$

За іншими операціями обробки дані розрахунків режимів різання заносимо в таблицю 1.6.

Таблиця 1.6 – Режими різання на всі операції технологічного процесу

| N<br>Опер. | Найменування<br>операції | №<br>пер. | t,<br>мм | S <sub>o</sub> ,<br>мм/об | V <sub>д</sub> ,<br>м/хв | n <sub>д</sub> ,<br>хв <sup>-1</sup> | T <sub>o</sub> ,<br>хв |
|------------|--------------------------|-----------|----------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| 015        | Ток. з ЧПК               |           | 1,0      | 0,1                       | 43,96                    | 400                                  | 1,5                    |
| 020        | Ток. з ЧПК               |           | 1        | 0,13                      | 77,92                    | 1000                                 | 0,28                   |
| 025        | Ток. з ЧПК               |           | 1,0      | 0,1                       | 24,49                    | 300                                  | 0,43                   |
| 030        | Ток. з ЧПК               |           | 1,2      | 0,15                      | 36,74                    | 450                                  | 2,35                   |
| 035        | Ток. з ЧПК               | 1         | 0,5      | 0,1                       | 28,57                    | 350                                  | 3,15                   |
|            |                          | 2         | 0,5      | 0,1                       | 54,95                    | 350                                  |                        |
| 040        | Ток. з ЧПК               | 1         | 0,5      | 0,1                       | 70,65                    | 450                                  | 4,74                   |
|            |                          | 2         | 0,5      | 0,08                      | 44,9                     | 550                                  |                        |
| 045        | Фрезерна з ЧПК           |           | 2,75     | 0,1                       | 1,73                     | 100                                  | 2,48                   |
| 050        | Свердлильна з ЧПК        |           | 2,5      | 0,08мм/зуб                | 6,28                     | 400                                  | 3                      |
| 055        | Фрезерна з ЧПК           |           | 1,25     | 0,15мм/зуб                | 25,12                    | 500                                  | 2,41                   |
| 060        | Фрезерна з ЧПК           |           | 2,5      | 0,15мм/зуб                | 4,71                     | 300                                  | 1,64                   |
| 065        | Шліфувальна              |           | 0,01     | 0,005                     | 30,5                     | 250                                  | 1,1                    |
| 070        | Шліфувальна              |           | 0,01     | 0,005                     | 35,7                     | 480                                  | 1,24                   |

### 1.7 Розрахунок технічної норми часу

Відповідно до поставленого завдання на магістерську роботу виконаємо детальний розрахунок технічного нормування на три технологічних операції які будуть виконання із застосуванням верстатів з ЧПУ: токарна операція з ЧПУ, свердлильна операція з ЧПУ, фрезерна операція з ЧПУ.

Операція 020 Токарна з ЧПК.

Основний час  $t_0=0,28$ хв.

Допоміжний час було визначено за формулою (1.50):

$$t_{всп.} = t_{в.у} + t_{м.в.} \quad (1.50)$$

де  $t_{в.у.} = 0,2$  хв – час закріплення гільзи в ручному [10];

$t_{м.в.} = 0,29$  хв - час, що враховує додаткові переходи при обробці гільзи [10]

$$t_{всп.} = 0,2 + 0,29 = 0,49 \text{хв}$$

Оперативний часу роботи верстата визначається за формулою (1.51):

$$t_{п.у.} = t_0 + t_{м.в.} \quad (1.51)$$

$$t_{п.у.} = 0,28 + 0,49 = 0,77 \text{ хв.}$$

Час який витрачається на обслуговування робочого місця визначається за формулою (1.52):

$$t_{обс} = 10\% \cdot t_{п.у.} \quad (1.52)$$

$$t_{\text{обс}} = 0,1 \cdot 0,77 = 0,08 \text{хв.}$$

Час який витрачається на особисті потреби робітника визначається за формулою (1.53):

$$t_{\text{п}} = 10\% \cdot t_{\text{п.у.}} \quad (1.53)$$

$$t_{\text{п}} = 0,1 \cdot 0,77 = 0,08 \text{хв.}$$

Штучний час на операцію визначається як сума попередніх:

$$t_{\text{шт.}} = 0,77 + 0,08 + 0,08 = 0,93 \text{хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію [10] за формулою (1.54):

$$T_{\text{п-з}} = T_{\text{п-з1}} + T_{\text{п-з2}} \quad (1.54)$$

де  $T_{\text{п-з1}}$  – час на витрати по обслуговуванню верстата,  $T_{\text{п-з1}} = 5 \text{ хв}$  [10]

$T_{\text{п-з2}}$  – час на витрати, що враховують додаткові роботи,  $T_{\text{п-з2}} = 7 \text{ хв}$  [10]

$$T_{\text{п-з}} = 5 + 7 = 12 \text{хв}$$

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{\text{шт.-к.}} = \frac{12}{8} + 0,93 = 2,43 \text{хв.}$$

Виконаємо розрахунок норм часу на свердлильну операцію 050

Основний час  $t_0 = 3 \text{хв.}$

Допоміжний час:

$t_{\text{в.у.}} = 0,25 \text{ хв}$  – час на установку і зняття деталі [5];

$t_{м.в.} = 0,26 \text{ хв}$  – час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [10]

$$t_{всп} = 0,26 + 0,25 = 0,51 \text{ хв.}$$

Час роботи верстата з програмним керування  $t_{п.у}$  визначається сумуванням основного та додаткового:

$$t_{п.у.} = 3 + 0,51 = 3,51 \text{ хв.}$$

Час на допоміжне обслуговування верстату визначаємо за формулою (1.55):

$$\begin{aligned} t_{обс} &= 8\% \times t_{п.у.} \\ t_{обс} &= 0,08 \times 3,51 = 0,28 \text{ хв.} \end{aligned} \quad (1.55)$$

Час який витрачається на особисті потреби виконавця розраховується за формулою (1.56):

$$\begin{aligned} t_{п} &= 8\% \times t_{п.у.} \\ t_{п} &= 0,08 \times 3,51 = 0,28 \text{ хв.} \end{aligned} \quad (1.56)$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{шт.} = 3,51 + 0,28 + 0,28 = 4,07 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію [10] за формулою:

$$T_{п-з} = 5 + 3 = 8 \text{ хв.}$$

де  $T_{п-з1}$  – час на витрати для усіх верстатів з ЧПУ,  $T_{п-з1} = 5 \text{ хв}$  [10];

$T_{\Pi-32}$  – час на витрати, що враховують додаткові роботи,  $T_{\Pi-32} = 3$  хв [10].

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{\text{шт.-к.}} = \frac{8}{8} + 4,07 = 5,07 \text{ хв.}$$

Технічне нормування на фрезерну операцію 045

Основний час  $t_o = 2,48$  хв.

Допоміжний час:

$t_{o''} = 0,08$  хв - переміщення інструменту в «0» інструменту [10];

$t_{\text{с.б.}} = 0,1$  хв - час пов'язаний зі зміною блоку [10];

$t_{\text{с.б.}} = 0,05$  хв - час пов'язаний зі зміною блоку [10];

$t_{\text{в.у.}} = 0,75$  хв - час на установку і зняття деталі в патроні з пневматичним затиском [10];

$t_{\text{м.в.}} = 0,15$  хв - час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [10]

$$t_{\text{всп}} = 0,08 + 0,1 + 0,05 + 0,75 + 0,15 = 1,13 \text{ хв.}$$

Час роботи верстата за програмою управління  $t_{\text{п.у}}$  рівно неповному оперативному часу роботи верстата визначаємо за формулою:

$$t_{\text{п.у.}} = 2,48 + 1,13 = 3,61 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначаємо за формулою:

$$t_{\text{обс}} = 0,08 \times 3,61 = 0,29 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби визначаємо за формулою:

$$t_{\Pi} = 0,08 \times 3,61 = 0,29 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{\text{шт.}} = 3,61 + 0,29 + 0,29 = 4,19 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію за формулою:

$$T_{\Pi-3} = 3 + 8 = 11 \text{ хв.}$$

де  $T_{\Pi-31}$  - час на витрати для усіх верстатів з ЧПУ,  $T_{\Pi-31} = 3$  хв [10];

$T_{\Pi-32}$  - час на витрати додаткові роботи, що враховують,  $T_{\Pi-32} = 8$  хв [10];

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{\text{шт.-к.}} = \frac{11}{8} + 4,19 = 5,57 \text{ хв.}$$

Розрахунки технічного нормування за іншими операціями технологічного процесу заносимо до таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Технічна норма часу за операціями

| Номер операції | Найменування операції | Складові $T_{\text{шт-к}}$ |       |          |            |           |             |                   |
|----------------|-----------------------|----------------------------|-------|----------|------------|-----------|-------------|-------------------|
|                |                       | $t_o$                      | $t_d$ | $t_{оп}$ | $t_{обсл}$ | $t_{\Pi}$ | $t_{\Pi-3}$ | $t_{\text{шт-к}}$ |
| 015            | Ток. з ЧПК            | 1,5                        | 0,49  | 1,99     | 0,16       | 0,16      | 15          | 2,69              |
| 020            | Ток. з ЧПК            | 0,28                       | 1,78  | 2,06     | 0,16       | 0,16      | 13          | 2,71              |
| 025            | Ток. з ЧПК            | 0,43                       | 0,29  | 0,72     | 0,06       | 0,06      | 12          | 1,14              |
| 030            | Ток. з ЧПК            | 2,35                       | 1,31  | 3,66     | 0,29       | 0,29      | 15          | 4,62              |
| 035            | Ток. з ЧПК            | 3,15                       | 1,14  | 4,29     | 0,34       | 0,34      | 15          | 5,35              |

|     |                |      |      |      |      |      |    |      |
|-----|----------------|------|------|------|------|------|----|------|
| 040 | Ток. з ЧПК     | 4,74 | 1,31 | 6,05 | 0,48 | 0,48 | 14 | 7,36 |
| 045 | Фрезерна з ЧПК | 2,48 | 1,45 | 3,93 | 0,31 | 0,31 | 25 | 5,18 |
| 050 | Фрезерна з ЧПК | 3    | 3,67 | 6,67 | 0,53 | 0,53 | 15 | 8,11 |
| 055 | Фрезерна з ЧПК | 2,41 | 1,45 | 3,86 | 0,31 | 0,31 | 13 | 4,81 |
| 060 | Фрезерна з ЧПК | 1,64 | 1,25 | 2,89 | 0,23 | 0,23 | 13 | 3,68 |
| 065 | Шліфувальна    | 1,1  | 1,78 | 2,88 | 0,23 | 0,23 | 15 | 3,72 |
| 070 | Шліфувальна    | 1,25 | 1,23 | 2,48 | 0,2  | 0,2  | 15 | 3,26 |

1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ, з використанням NXCAM або іншої програми, що має САМ-модуль

#### 1.8.1 Розробка токарної операції

Розвиток сучасного автоматизованого програмного забезпечення дозволяє значно пришвидшити процес розробки технологічних операції на верстатах з ЧПУ. Значно покращується якість написання програм обробки різання для верстатів з ЧПК, оскільки майже виключається людський фактор. Візуалізація розробки технологічних операцій дозволяє значно спростити розробку програм для деталей складної форми.

Для виконання токарної операції обрано токарний верстат з ЧПУ Mazak SQT-18MS. Заготовка затискається в спеціальному пристрої з пневматичним затиском.

Інструмент – різець контурний з пластиною з твердого сплаву BK10

Розробка операції виконується у програмному комплексі Siemen NX та показана на рисунках 1.11 – 1.13.

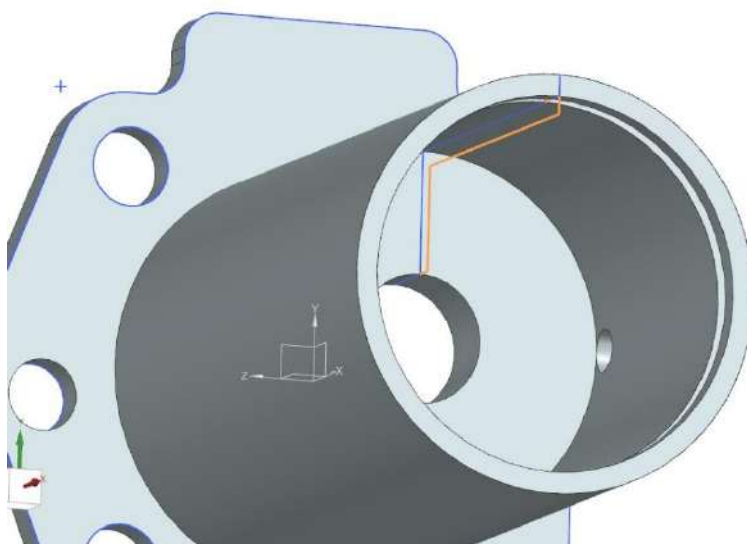


Рисунок 1.11 – Візуалізація операційного ескізу токарної обробки

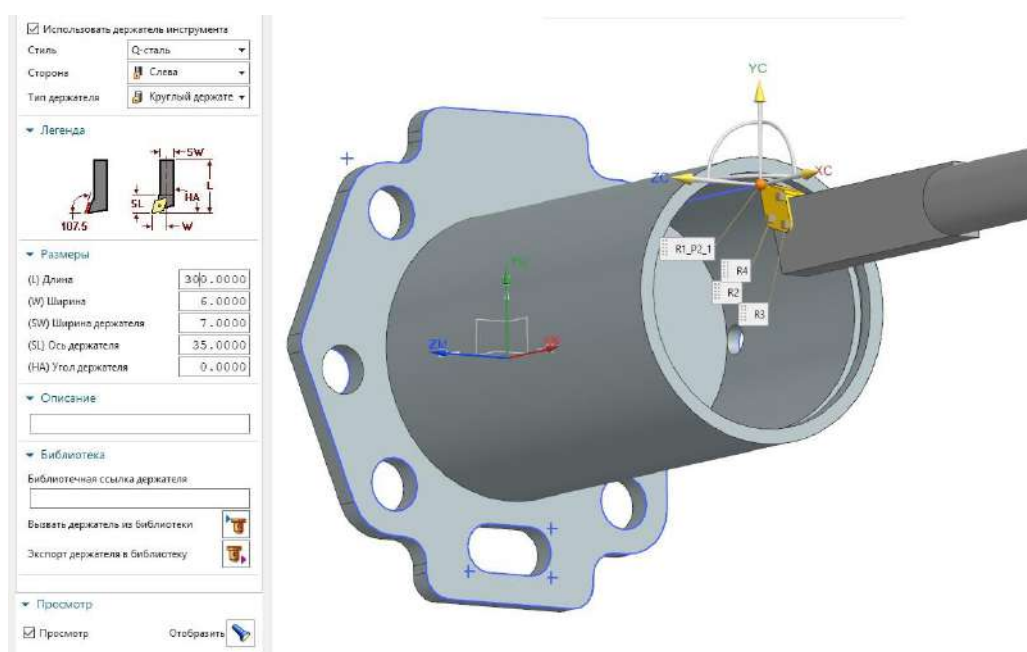


Рисунок 1.12 – Розташування інструменту відносно поверхні обробки

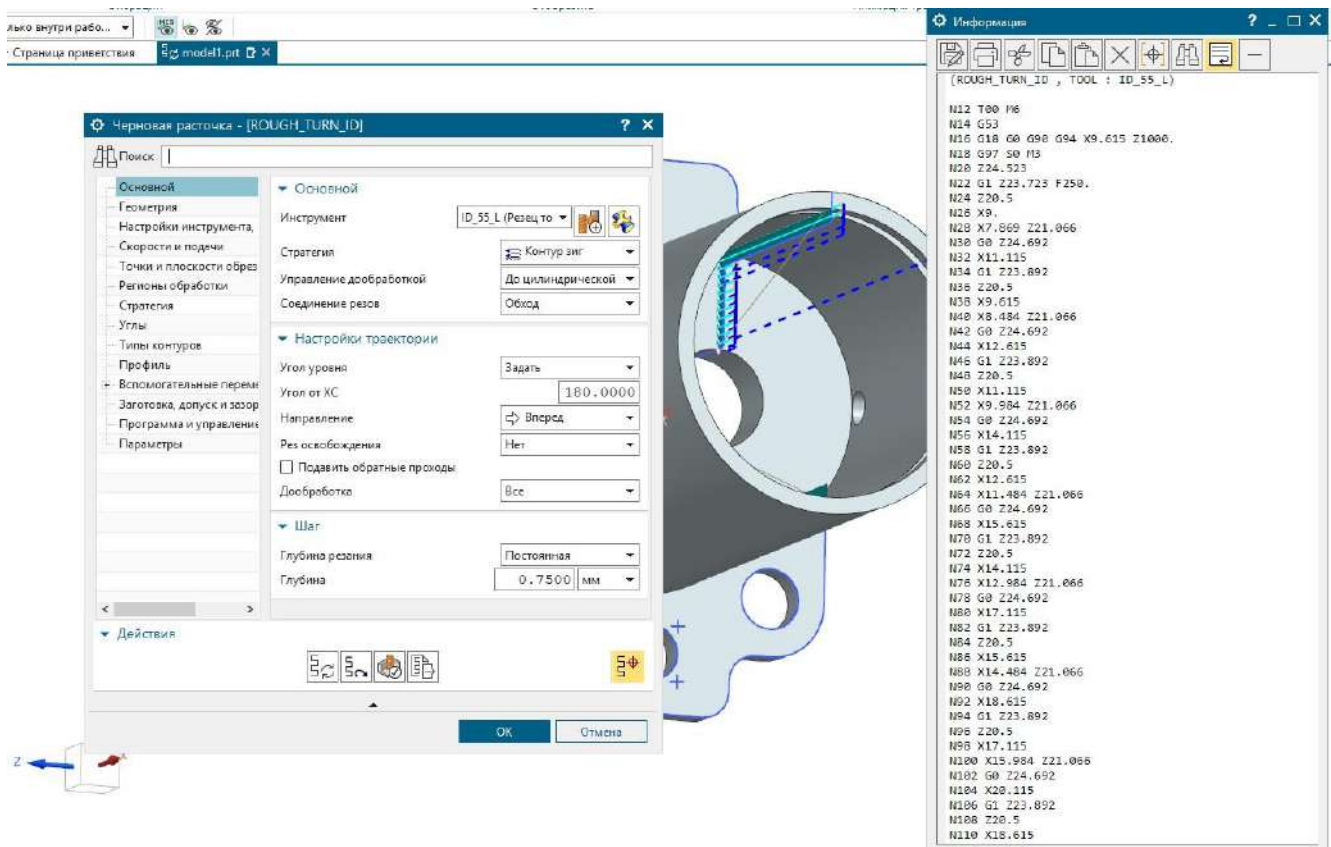


Рисунок 1.13 – Програма обробки в G кодах

### 1.8.2 Розробка свердлильної операції

Операція буде проходити на свердлильному верстаті з ЧПУ етапи виконання операції зображено на рис. 1.14 – 1.16. Заготовка затискається в спеціальному пристрої.

Верстат: Свердлильний з ЧПК BAOFENG BFT600

Поверхня  $\varnothing 5,5$  L=4мм Ra=6,3мкм;

Інструмент: Свердло спіральне  $\varnothing 6,5$ мм, L=4мм, P6M5, ГОСТ12121-77

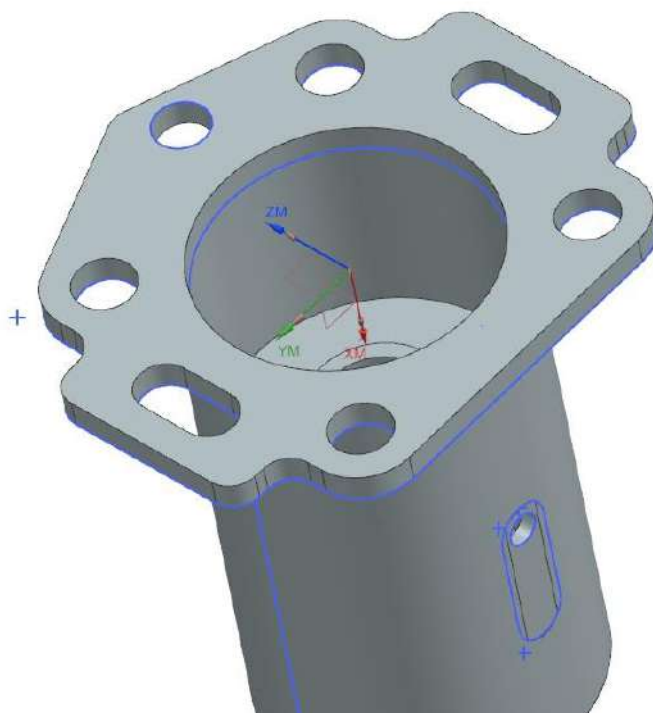


Рисунок 1.14 – Візуалізація операційний ескіз на свердлильну обробку

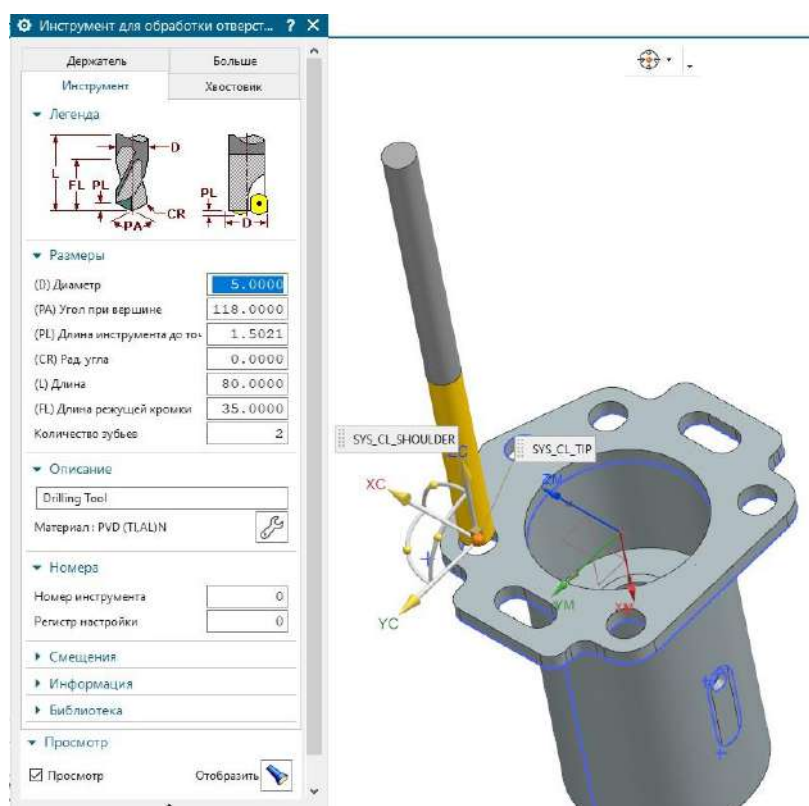


Рисунок 1.15 – Розташування інструменту відносно поверхні обробки

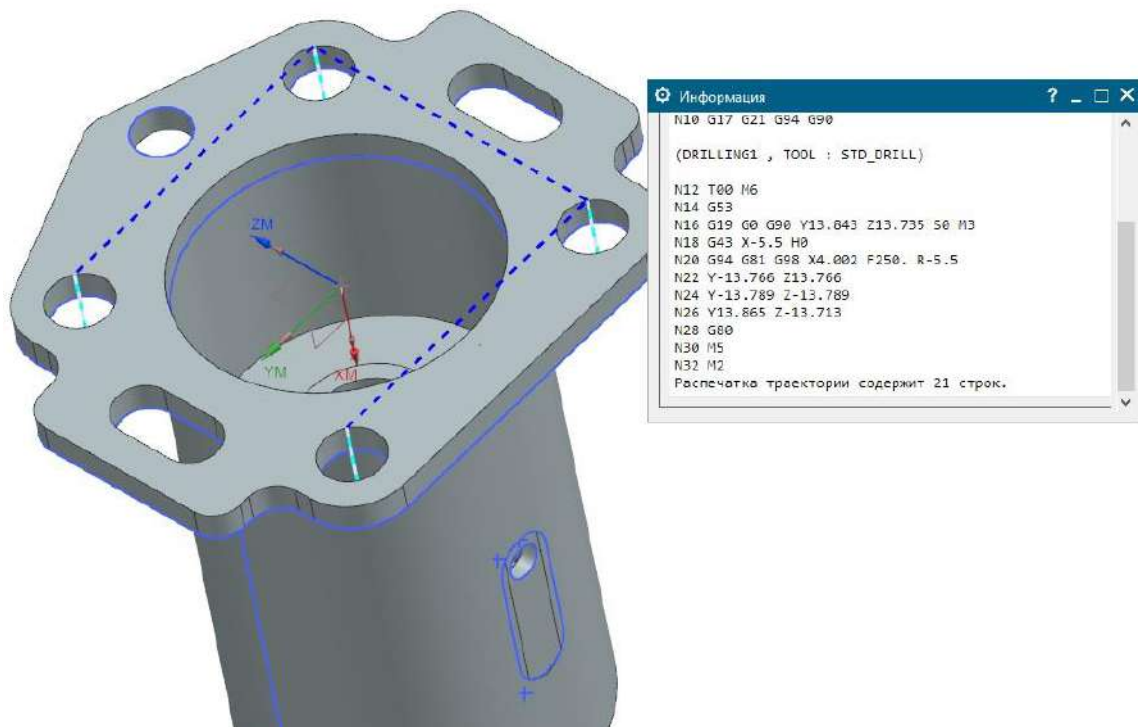


Рисунок 1.16 – Траектория обработки з програмою в G кодах

### 1.8.3 Розробка фрезерної операції

Автоматизована розробка фрезерної операції з ЧПУ показано на рис. 1.17 – 1.19. Ріжучий інструмент: Фреза кінцева Ø5 P12Ф4K5 ГОСТ 17026-71



Рисунок 1.17 – Віртуальна модель операційного ескізу операції Фрезерна з ЧПУ

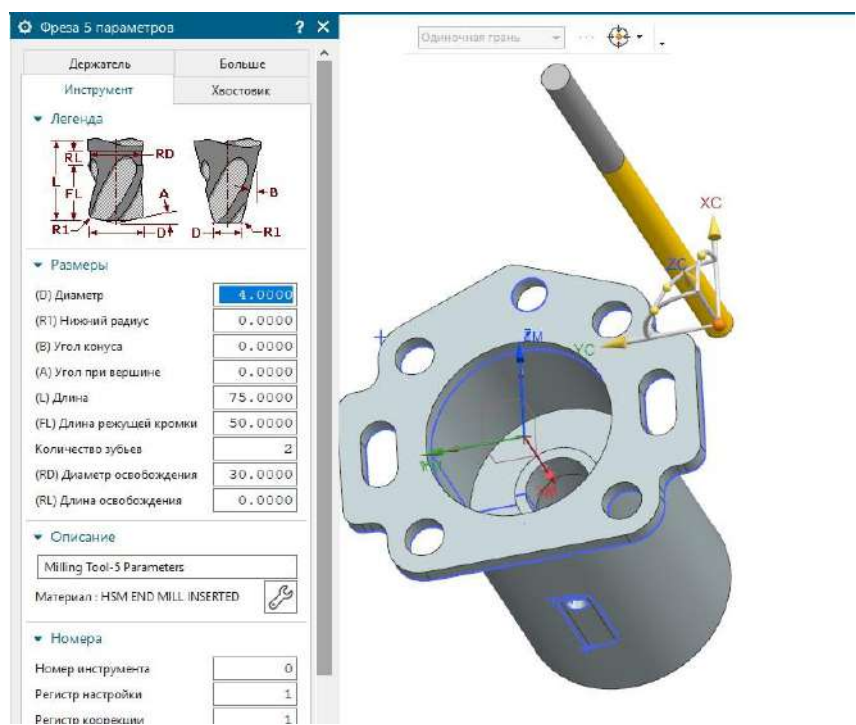


Рисунок 1.18 – Зображення орієнтації інструменту відносно поверхні обробки

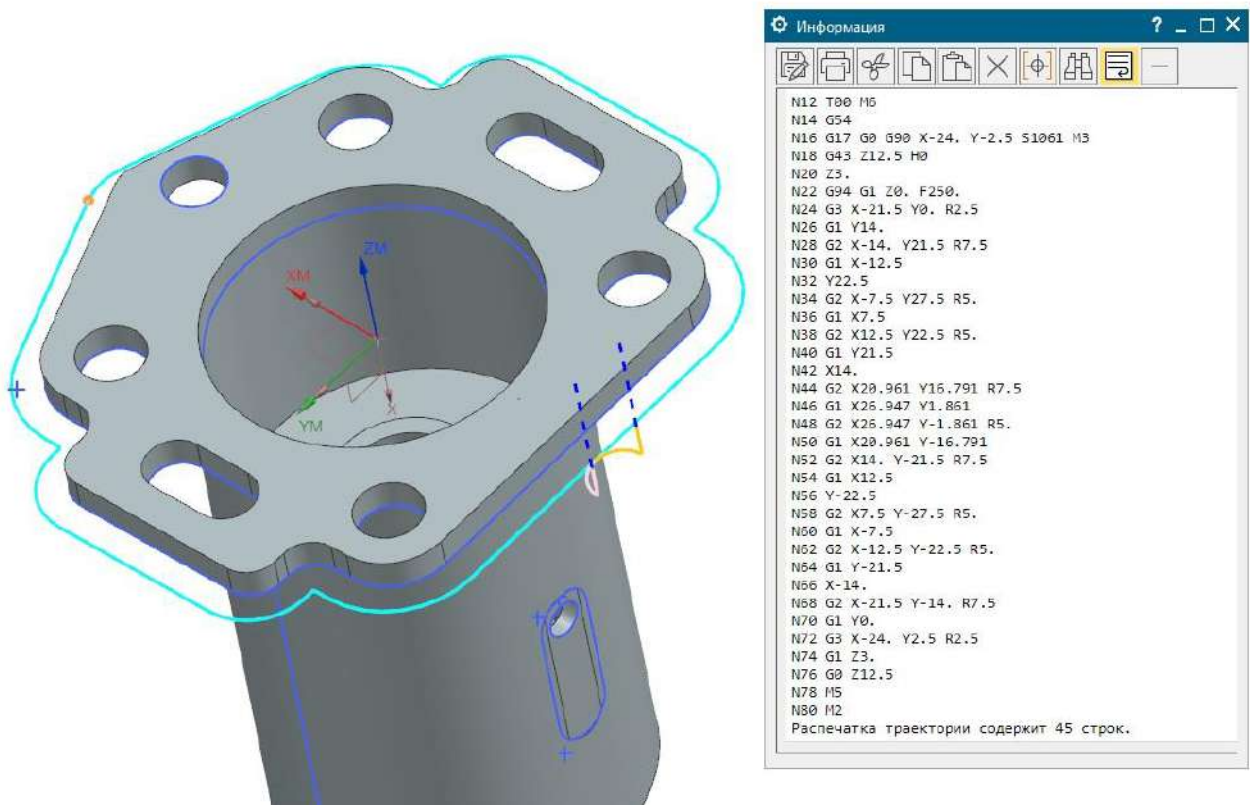


Рисунок 1.19 – Траєкторія обробки з програмою в G кодах

## **2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА**

### **2.1 Проектування робочого пристосування**

#### **2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування**

Виконаємо розрахунок параметрів обраного токарного пристосування. На першому етапі розрахунків необхідно з'ясувати принцип його дії.

Це токарне пристосування (рисунок 2.1) частіше за все використовують на операціях напів чистової або чистової токарної обробки. Конструкція пристрою дозволяє використовувати його при обробці різних деталей в межах величини робочого ходу цанги. Деталь встановлюється діаметром 30. Обробка деталі проводиться на токарному верстаті. До торця фланця шпинделя кріпиться бовтами корпус 6 цангового патрона, за допомогою стопорів 7 нерухомо щодо шпинделя кріпиться цанга 9 зі змінними вкладишами 10. Між корпусом 6 і

цангою 9 переміщується рухома цанга 8, яка наводиться в рух пор . в праву порожнину циліндра 2 рухома цанга переміщається вліво і відбувається ковзання конічної поверхні рухомої цанги 8 по конічній поверхні корпусу 6, цим забезпечується зведення пелюсток цанги 8, які переміщують до центру змінні вкладиші 9 для закріплення прутка. При подачі масла ліву порожнину циліндра 2 відбувається звільнення прутка. Подача прутка виконується циліндром 14, який кріпиться до шпіндельної бабки кронштейном 15. Масло, що подається в ліву порожнину циліндра, переміщує вправо поршень з повзуном 16, який через підшипник 17 пов'язаний з подає трубою 4 зі змінною подає цангою. Вкладиш 10, що подає цанга 5 і кільця 18 є змінними деталями і встановлюються відповідно до діаметру і форми оброблюваного матеріалу. При подачі масла в праву порожнину циліндра 14 відводиться цанга 5 прутку, затиснутому в цангу 9, відбувається набір прутка. Для затискання деталей у трикулачковому патроні 11 корпус цангового патрона 6, цанги 8 та 9, втулка 12 та труба подачі знімаються. На трубу затиску 3 нагвинчується тяга 13 до 11 патрона, який кріпиться до фланця шпинделя.



де  $E_{\text{закр}}$  - похибка закріплення – це частина похибки установки, викликана зміщенням вимірювальної бази щодо встановленого на розмір ріжучого інструменту, внаслідок зминання мікронерівностей у зоні контакту заготівля-настановний елемент та пружних відтискань внаслідок прикладеної сили закріплення. Так як напрям сили затиску та розмірів обробки взаємно перпендикулярні, то  $E_{\text{закр}}=0$

$E_{\text{баз}}$ - похибка базування - частина похибки установки, що є розбіжністю вимірювальної та налагоджувальної баз розраховується за формулою (2.2).

$$E_{\text{баз}} = 0,5 \cdot \delta \quad (2.2)$$

де  $\delta$  - допуск на розмір діаметра обробки  $\delta = 0,12\text{мм}$

$$E_{\text{баз}} = 0,5 \cdot 0,12 = 0,06\text{мм}$$

$$E_{\text{УСТ}} = E_{\text{БАЗ}} = 0,06\text{мм}$$

Проводимо розрахунок пристосування на точність:

Методика розрахунку базується на тому, що допуск на розмір обробки повинен бути більшим або дорівнює сумі похибок, що виникають у процесі виготовлення та налаштування інструменту, пристосування та похибок, що безпосередньо виникають у процесі обробки.

Налаштування інструменту на розмір обробки здійснюється за допомогою еталона, який не входить до системи пристосування.

Розрахунок даного пристосування на точність зводиться до визначення точності виготовлення пристосування та виконується за формулою (2.3).

$$T_H \leq T_{\text{ОБР}} - (K1 \cdot E_{\delta} + K2 \cdot \omega) \quad (2.3)$$

де  $k1$ - коефіцієнт, що враховує зменшення похибки базування внаслідок того, що настановний елемент у пристосуванні замінюється не часто, а дійсні розміри заготівлі рідко дорівнюють граничним:  $k1=0,8$ ;

$k_2$ - коефіцієнт, що враховує частку похибки обробки від загальної, що викликається факторами, що не залежать від конструкції пристрою:  $k_2=0,6$ ;  
 $\omega$  - середня економічна точність обробки:  $\omega =0,1$ ;

$$T_H \leq 0,12 - (0,8 \cdot 0,06 + 0,6 \cdot 0,1) = 0,12 - 0,108 = 0,012\text{мм}$$

### 2.1.3 Визначення необхідної сили затиску

Визначаємо силу затиску деталі у пристосуванні

Цангові затискачі відносяться до затискних пристроїв, що самоцентруються, і застосовуються для установки заготовок по зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхнях.

Цанги є розрізними пружинними гільзами, виготовленими з легованих сталей і термічно оброблених по робочій частині до твердості 58...62 HRC і до 40...45 HRC у хвостовій частині.

Визначаємо осьову складову сили різання:

$$P_O = 10 \cdot C_P \cdot t^X \cdot s^Y \cdot v^n \cdot K_P \quad (2.4)$$

де  $C_P, X, Y, n$  – постійна та показники ступеня для конкретних умов обробки для складових сили різання:  $C_P=339$   $X=1,0$   $Y=0,5$   $n=-0,4$ ;

$t, s, v$  – режими різання:  $t=1,6\text{мм}$   $s=0,08\text{мм/об}$   $v=99,6\text{м/хв}$ ;

$K_P$  – поправочний коефіцієнт, який враховує умови різання;

$$K_P = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} \quad (2.5)$$

де  $K_{mp}$ - коефіцієнт, який враховує вплив якості оброблююмого матеріалу;

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_v}{750} \right)^n = \left( \frac{830}{750} \right)^{0.75} = 1.07 \quad (2.6)$$

$K_{\phi p}$ - коефіцієнт, який враховує вплив головного кута в плані  $K_{\phi p}=0,89$  [2];

$K_{\gamma p}$ - коефіцієнт, який враховує вплив переднього кута  $K_{\gamma p}=1,0$  [2];

$K_{\lambda p}$ - коефіцієнт, який враховує вплив кута нахилу головного леза  $K_{\lambda p}=1,0$

$K_{r p}$ - коефіцієнт, який враховує вплив радіуса при вершині  $K_{r p}=0,93$  [2];

$$K_p = 1,07 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 0,88$$

$$P_o = 10 \cdot 339 \cdot 1,6^{1,0} \cdot 0,08^{0,5} \cdot 99,6^{-0,4} \cdot 0,8 = 184,1H$$

Визначає крутячий момент різання

$$M_{kp} = P_z \cdot 1,1 \cdot \frac{D}{2} = 432 \cdot 1,1 \cdot \frac{50}{2} = 11880H \cdot \text{мм} \quad (2.7)$$

Визначаємо сумарну силу затиску заготовки:

$$W = \frac{k}{f} \cdot \sqrt{\frac{4M_{kp}^2}{d^2} + P_o} = \frac{2,5}{0,3} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 11880^2}{30^2} + 184,1^2} = 812,44H \quad (2.8)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу, приймаємо наближено  $k=2,5$ ;

$f$  – коефіцієнт счеплення між робочими поверхнями цанги та заготовки  $f=0,3$ ;

$d$  – внутрішній діаметр цанги в місті контакту заготовки з цангою  $d=30\text{мм}$ ;

Визначаємо силу стиснення пелюстків цанги до їхнього дотику із заготовкою:

$$W_1 = 6 \cdot 10^3 \cdot 0,08 \cdot 20 \cdot 50^3 / 80^3 = 2343,75H$$

Визначаємо силу приводу цанги для забезпечення необхідної сили затискача заготовки:

$$Q = (W + W_1) \cdot [tg(\alpha + \phi_1) + tg\phi_2] \quad (2.9)$$

де  $\alpha = 15^\circ$  - половина кута конусу цанги;

$\varphi_1 = 25^\circ$  - кут тертя в місті контакту конусу цанги та корпусу;

$\varphi_2 = 15^\circ$  - кут тертя в місті контакту цанги та заготовки в осьовому напрямку

$$Q = (812,44 + 2343) \cdot [tg(15 + 25) + tg15] = 3502,54H$$

Розрахуємо робочий тиск рідини в гідросистемі верстату

У розроблюваному пристрої, який необхідно розрахувати, затискач деталі походить від дії гідроциліндра, який повинен забезпечувати необхідну силу затиску.  $Q=7317$  Н.

Таким чином, сила на штоку гідроциліндра повинна бути більшою або дорівнює  $Q$ . Виходячи з того, що наш верстат має вбудовану гідросистему і діаметр гідроциліндра відомий ми розраховуємо робочий тиск рідини за формулою (2.10).

$$P_p = \frac{4 \cdot P_{шт}}{D^2 \cdot \pi \cdot \eta} \quad (2.10)$$

де  $P_{шт}$  - сила на штоці, Н;

$D$  – діаметр цанги, м;

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії.

$$P_p = \frac{4 \cdot 3502,54}{0.05^2 \cdot 3.14 \cdot 0.85} = 2,1 МПа$$

Розрахуємо діаметр циліндру розраховується відповідно до формули (2.11):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{шт}}{\pi \cdot P_{нов} \cdot \eta_{цл}}} \quad (2.11)$$

де  $\eta_{цл}$  – коефіцієнт корисної дії гідроциліндра  $\eta_{цл} = 0,9$ ;  $P_{нов} = 0,6$  МПа

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 3502,54}{3,14 \cdot 6 \cdot 10^5 \cdot 0,9}} = 0,09_m$$

Із стандартного ряду приймаємо  $D = 100\text{мм}$ .

Проводимо перевірочний розрахунок на міцність навантажених деталей пристосування.

Найбільш навантаженою частиною пристосування є шток гідроциліндра, отже, перевіримо, чи виконується умова міцності. Втрата стійкості штока виникає при застосуванні критичної сили та розраховується за формулою (2.12):

$$P_{KP} = \eta \cdot \frac{E \cdot W}{l_{np}^2} \quad (2.12)$$

де  $E$  – модуль пружності  $E = 0,5 \cdot 10^5$

$W$  – момент інерції розраховується за формулою (2.13):

$$W = \frac{\pi \cdot d_{шт}^4}{64} \quad (2.13)$$

$l_{np}$  – робоча довжина штоку приведена  $l_{np} = \lambda \cdot l = 2 \cdot 100 = 200\text{мм}$

$l$  – довжина штока

коефіцієнт -  $\eta = \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{3,14}{2}\right)^2 = 2,4$

$$W = \frac{3,14 \cdot 55^4}{64} = 448952\text{мм}^4$$

$$P_{KP} = 2,4 \cdot \frac{0,5 \cdot 10^5 \cdot 448952}{200^2} = 561190\text{Н}$$

Допустиме навантаження на шток не повинно перевищувати  $(0,5 \dots 0,7)P_{кр}$  у нашому випадку:

$$3502,4 < (0,5 \dots 0,7) P_{KP} = (280595 \dots 392833)$$

Так як умова міцності виконується цей пристрій робоче.

## 2.2 Проектування контрольного пристосування

Конструкція пристосування показана на рисунку 2.2.

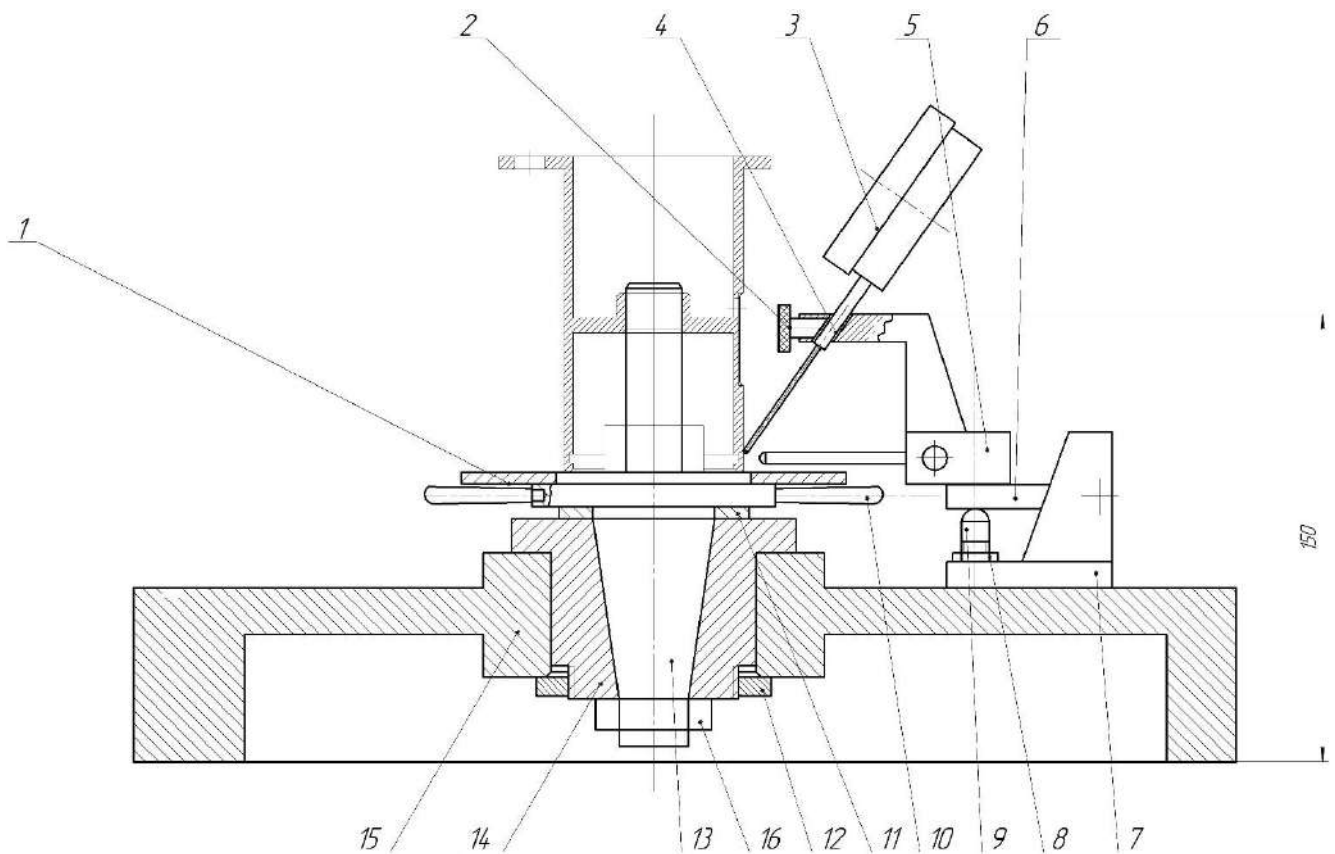


Рисунок 2.2 – Схема контрольного пристосування

Даний контрольний пристрій призначений для перевірки биття. Перевірювану деталь встановлюють на диск 1, на якій вона центрується за конусом 13. Биття перевіряють індикаторним годинником 3, який упорним гвинтом 2 через втулку 4 закріплюється на опорі 5. Індикаторний годинник 3 встановлена на рухомому упорі 6. Для зняття перевіреної деталі індикаторний

годинник 3 відводять вгору шарнірним упором 6. Робоче положення індикаторного годинника 3 регулюється гвинтом і гайкою..

В процесі виконання контролю в пристосуванні виконуються наступні чинники:

- базування контролюємої деталі;
- встановлення та базування засобів вимірювання;
- фіксування вимірювальної інформації;
- переміщення засобів вимірювання у робочу позицію;
- об'єднання функціональних вузлів (корпус).

Розрахунок похибки контрольного пристосування виконуємо за формулою [15] (2.14):

$$\varepsilon_{\text{кпп}} = \varepsilon + \Delta_p + \Delta_{\text{э}} + \Delta_{\text{ин}} + \Delta_T + \Delta_{\text{yc}}, \quad (2.14)$$

де  $\varepsilon$  – похибка положення контролюємої деталі в пристосуванні. Вона визначається за формулою (2.15):

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\text{б}}^2 + \varepsilon_{\text{з}}^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} \quad (2.15)$$

де  $\varepsilon_{\text{б}}$  – похибка базування,  $\varepsilon_{\text{б}}=0,034\text{мм}$ ;

$\varepsilon_{\text{з}}$  – похибка закріплення  $\varepsilon_{\text{з}} = 0$ ;

$\varepsilon_{\text{пр}}$  – похибка від неточності виготовлення елементів пристосування  $\varepsilon_{\text{пр}}=0,005\text{мм}$ ;

$$\varepsilon = \sqrt{0,034^2 + 0 + 0,005^2} = 0,034\text{мм}$$

$\Delta_p$  – похибка передаточного пристрою,  $\Delta_p = 0$ ;

$\Delta_{\text{э}}$  – похибка виготовлення еталонної деталі:  $\Delta_{\text{э}} = 0,005 \text{ мм}$

$\Delta_{\text{ин}}$  – похибка обраного засобу вимірювання,  $\Delta_{\text{ин}} = 0,002 \text{ мм}$ ;

$\Delta_{\text{yc}}$  - похибка, від деформації вимірювального засобу,  $\Delta_{\text{yc}}=0$ ;

$$\varepsilon_{\text{кин}} = 0,034 + 0 + 0,005 + 0,002 + 0 = 0,041 \text{ мм} < 0,15 \text{ мм}.$$

### 3 АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ ІНСТРУМЕНТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Ефективність машинобудівного виробництва зумовлена часом, який необхідно витратити на випуск одиниці виробленої продукції. Він складається з певного набору елементів [14]:

- основний час, під час якого відбувається обробка різанням або операції складання;
- допоміжний час, визначає тривалість допоміжних операцій (завантаження та вивантаження деталей, швидких ходів, контролю виконуваних функцій тощо);
- підготовчо-заключний час, витрачається на виконання наладки обладнання та верстатів;
- організаційний час, складається з часу на наладку обладнання та потреби робітника.

Основний час зменшується застосування сучасного високопродуктивного обладнання, провідних ріжучих інструментів та ефективних технологій та стратегій обробки.

Підготовчо-заключний на сучасних підприємствах машинобудівної галузі можна скоротити впровадженням у виробництво засобів автоматизації [14].

У загальному випадку під автоматизацією виробництва розуміють такий рівень його розвитку, при якому функції управління та контролю, що раніше виконувались людиною, передаються приладам та автоматичним пристроям. Мета автоматизації полягає у підвищенні ефективності праці, поліпшенні якості продукції, створенні умов для оптимального використання всіх ресурсів виробництва [14].

Розвиток машинобудівного виробництва дозволяє сформувати наступні рівні автоматизації [14].

Початкова автоматизація – при ній автоматизації підлягають тільки окремі операції, це є один з найпоширеніших рівнів, оскільки не передбачає повного автоматизованого виробництва, набуло розповсюдження у умовах малосерійного та одиничного виробництва [14].

При виготовлені виробів у машинобудівній галузі широкого розповсюдження при автоматизації набуло металообробне обладнання з автоматизованим робочим циклом. Серед них найбільшого розповсюдження набули верстати з ЧПК у яких робочі та холости ходи відбуваються у завданій програмістом послідовності та за кожну виконану програму виконується одна технологічна операція, перехід чи обробка [14].

При початковій автоматизації обладнання досить складно поєднати у одну велику систему оскільки її окремі елементи є незалежними модулями та транспортування виробів між ними виконується вручну або використовуючи наявні засоби механізації. На данному рівні системи інформаційного забезпечення майже не використовуються [14].

На наступному етапі автоматизації переходять до створення більш великих автоматизованих систем, починають створювати гнучкі автоматизовані модулі та намагаються поєднувати їх у нескладні автоматизовані лінії. На цьому етапі використовують автоматизовані рішення які виходять за межі окремих верстатів та ділень виконуючи їх у всьому технологічному процесі.

У цьому випадку мають бути автоматизовані і процеси, не пов'язані безпосередньо з технологією обробки: доставка до машин деталей, матеріалів, технологічних середовищ, транспортування від машини до машини, накопичення міжопераційних заділів, видалення відходів тощо. Система управління автоматичною лінією координує роботу технологічного та допоміжного обладнання, а також виконує функції організаційно-економічного характеру. Проте решта функцій виробництва — організація, проектування, постачання, контроль та інших. — реалізуються як окремі завдання й не пов'язані між собою [14].

Другий рівень автоматизації – комплексна автоматизація – передбачає створення груп технологічного обладнання, автоматизованих ділянок, цехів та заводів. Автоматизація цього рівня охоплює сукупність технологічних процесів на ділянці або в цеху з відповідним ускладненням функцій транспортування деталей та складування виробів, подання до автоматичних ліній запасних інструментів та оновлення технологічних середовищ, видалення відходів виробництва (особливо ускладнюються функції автоматичного керування та регулювання) [14].

В даний час комплексна автоматизація являє собою систему конструкторських та технологічних рішень щодо створення високо виробництва. Ефективним елементом комплексної автоматизації який дозволяє значно зменшити час на налагодження інструмента на виконання наступного технологічного переходу є застосування автоматизованих систем зміни інструментів. Характерна схема подібної системи показана на рис. 3.1.

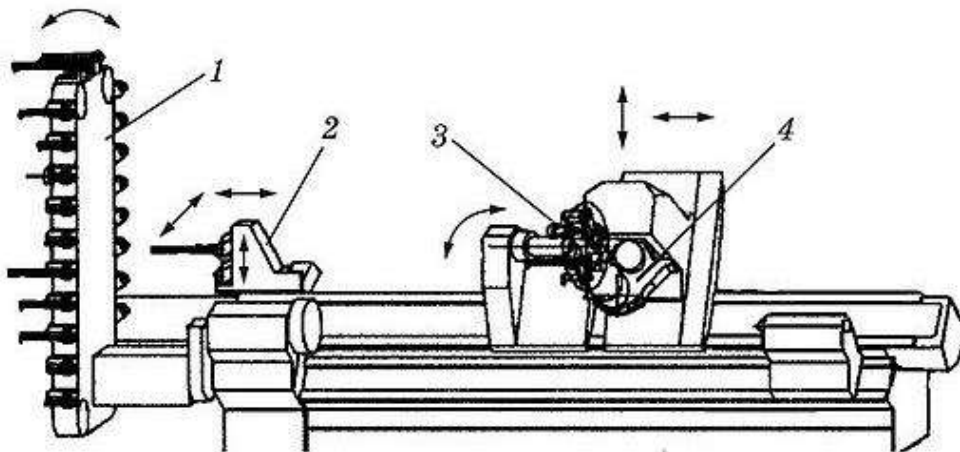


Рисунок 3.1 – Система зміни інструментів токарного багатопільового верстата HEYNUMAT 35:1 - основний магазин; 2 - лінійний робот-маніпулятор; 3 - проміжний магазин; 4 - інструментальна головка [14]

Додаткові накопичувачі можуть обслуговувати групу верстатів, у разі вони встановлюються вздовж лінії верстатів позаду них. Заміна інструментів у

магазинах верстатів здійснюється одним порталним автооператором. Накопичувачі можуть бути об'єднані з 6-позиційними касетами, в яких встановлені певні групи різальних інструментів (рис. 3.26) [14]. Сучасні верстатні системи заміни інструменту використовують інструментальні магазини які містять до декількох сотень інструментів.

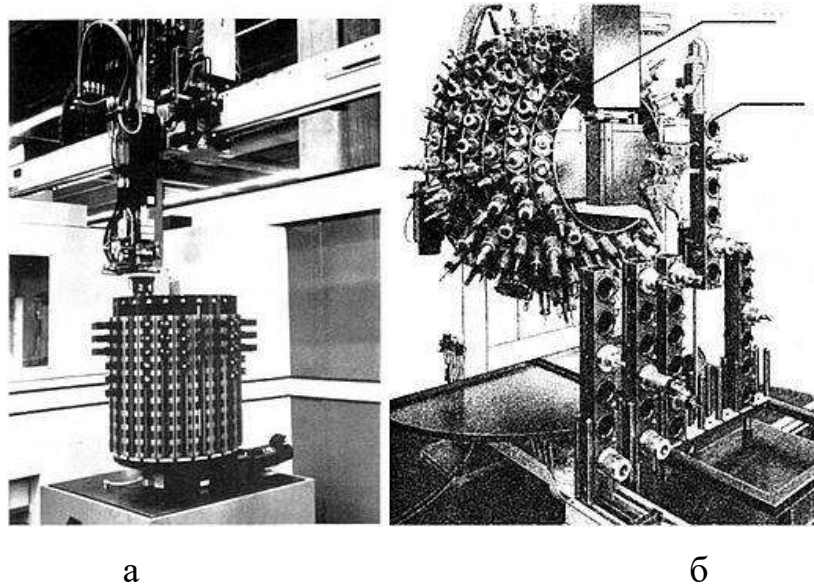


Рисунок 3.2 – Накопичувачі різальних інструментів: а- магазин; б – касета [14]

Для транспортування інструменту між центральним магазином, розташованим під верстатом, та магазином інструментів верстата служить спеціальний підйомний пристрій із касетами, що забезпечує вертикальне переміщення інструменту. Розвантаження-завантаження касет та передача інструменту до магазинів верстатів здійснюються за допомогою автооператора [14].

У виробництві застосовують також змінні інструментальні магазини. Автоматична заміна магазину здійснюється на верстатах у момент зміни заготовок. Встановлений раніше магазин знімається, і на його місце встановлюється новий інструмент для обробки наступної деталі. Це дозволяє заздалегідь поза верстатною системою підготувати всі інструменти. При цьому

можлива робота за принципом: одна назва деталі — один магазин. У накопичувачі може бути до п'яти магазинів [14].

Склади-магазини для інструменту можуть бути різних конструкції та типів (наприклад, касетні, стелажні, карусельні, комірчасті; магазини, конструкція яких нагадує стільники, та ін.). Найбільш широко застосовуються стелажі-накопичувачі таклади-магазини інструментів, що є багаторядними ланцюговими магазинами інструментів з переміщенням ланцюга в горизонтальній або вертикальній площині [14].

У гнучких виробничих системах може бути використана автоматизована подача зі складу до магазину верстата інструменту, необхідного для обробки нової деталі та видалення з магазину поламаного або зношеного інструменту. Для цієї мети застосовують магазини, встановлені на автоматичному візку (робокари). На складі магазин візка комплектується необхідним інструментом. Перед початком обробки партії заготовок візок переміщається до верстата, де фіксується в положенні. Під час роботи верстата інструмент із магазину, встановленого на візку, подається до магазину верстата або шпиндель автооператором верстата. При цьому керування автооператором здійснюється ЧПУ верстата [14].

#### Верстатні інструментальні магазини

У переважній більшості випадків для обробки корпусних деталей потрібна значна кількість різноманітних різальних інструментів. Для їх розміщення на верстаті використовуються різні інструментальні магазини – дискові, барабанні та ланцюгові. Дискові (рис. 3.3 а) служать для розміщення порівняно невеликого числа інструментів, зазвичай не більше 30. Барабанні відрізняються від дискових способом розміщення інструментів і конструктивним виконанням. Ланцюгові магазини мають велику ємність (60...100 інструментів і більше) і можуть бути вертикальними (рис. 3.3, б), горизонтальними (рис. 3.3, в), похилими, прямокутними, трикутними, квадратними (рис. 3.3, г) та більш складної (рис. 3.3, д, е) форми. Це забезпечує компактність та можливість легкого доступу до магазину для завантаження інструментів. Використовуються також багатоярусні

дискові та барабанні магазини великої ємності (рис. 3.3 ж), що мають, проте, значні габарити і складну конструкцію [14].

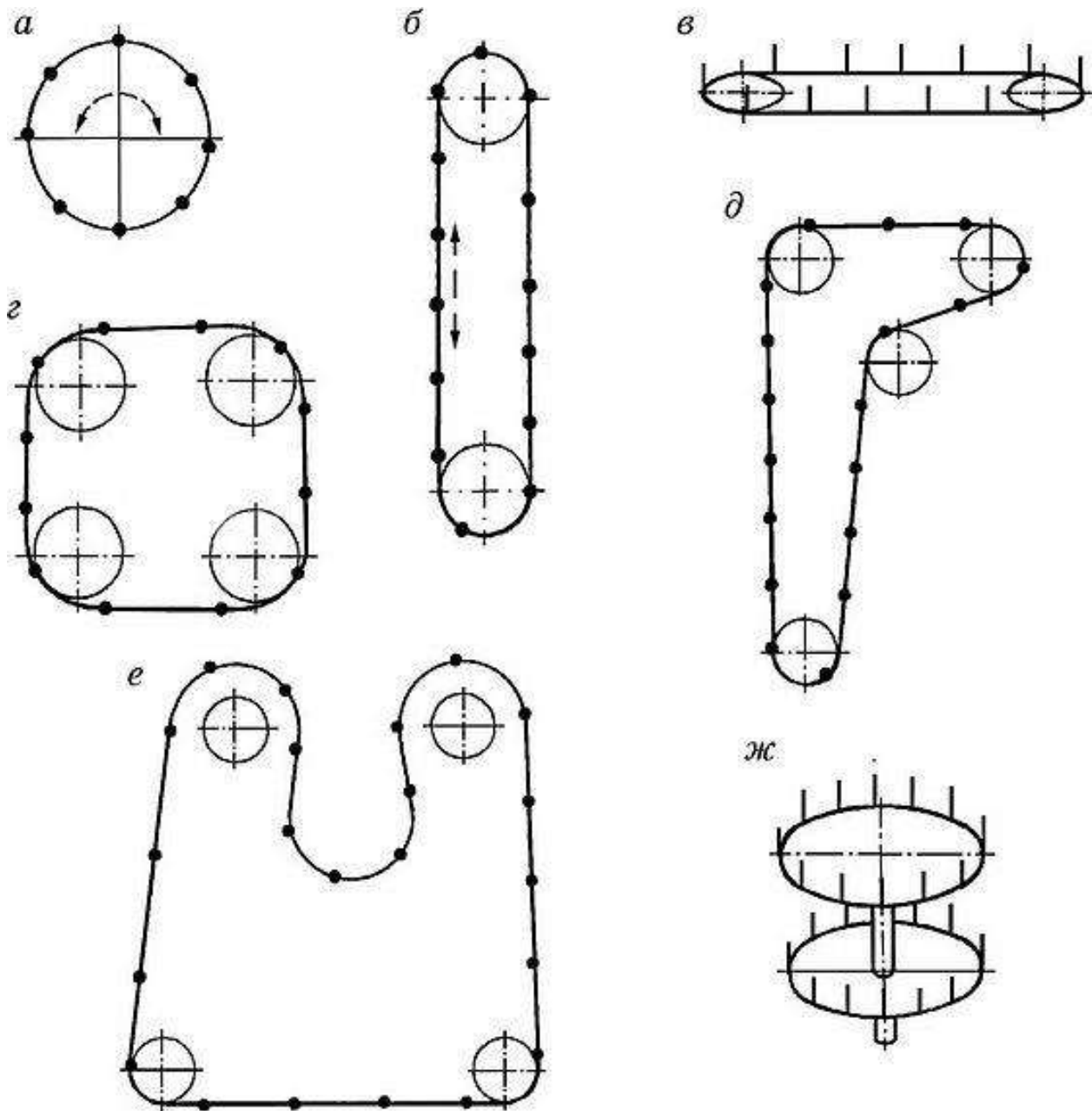


Рисунок 3.3 - Схеми інструментальних магазинів [14]

### Автоматизація зміни різальних інструментів

Однією з особливостей автоматизованого обладнання є автоматична зміна інструменту. Вона здійснюється за допомогою пристроїв, що передають інструмент із магазину-накопичувача в шпиндель верстата та назад [14].

З усіх конструкцій пристроїв автоматичної зміни інструменту найпростішим є конструкція з інструментальним магазином, встановленим на шпиндельній головці. В цьому випадку відсутній інструментальний автооператор, і використовуються магазини дискового або револьверного типу [14].

На рис. 3.4 а показана схема роботи пристрою багатоцільового верстата для автоматичної зміни інструменту з дисковим магазином на 15 інструментів. Зміна інструменту та транспортування його з магазину в посадкове гніздо шпинделя здійснюються осьовим переміщенням шпинделя. Інструменти встановлюються у магазині відповідно до послідовності обробки деталі [14].

Перед встановленням чергового інструменту шпиндель знаходиться у верхньому положенні над магазином співвісно із закріпленим у ньому за допомогою фіксаторів блоком інструменту. При опусканні шпинделя донизу конус втулки входить у гніздо шпинделя і автоматично закріплюється. У робочому положенні шпиндель проходить через отвір магазину. Після виконання чергового переходу шпиндель піднімається у верхнє положення та інструмент входить в отвір магазину (позиція I). При подальшому переміщенні шпинделя втулка з інструментом розкріплюється та утримується в магазині фіксаторами (позиція II). Після того, як шпиндель підніметься у крайнє верхнє положення, магазин повертається в положення, при якому гніздо з наступним інструментом встановлюється співвісно зі шпинделем (позиція III). Шпиндель опускається вниз, захоплюючи інструмент з магазину, закріплює його і переміщається до заготівлі, що обробляється, для виконання чергового переходу [14].

Магазин 1 револьверного типу (рис. 3.4 б) встановлюється на шпиндельній бабці таким чином, що один з інструментів 3 магазину буде співвісним зі шпинделем 2 верстата. Шпиндель верстата, пересуваючись уздовж осі, захоплює інструмент із магазину та переміщає його в зону різання. При зворотному ході шпинделя інструмент від'єднується від нього та закріплюється у магазині. Після цього магазин повертається за заданою програмою у потрібну позицію так, що черговий інструмент розташовується співвісно зі шпинделем верстата. У магазинах такого типу встановлюється 12...16 інструментів [14].

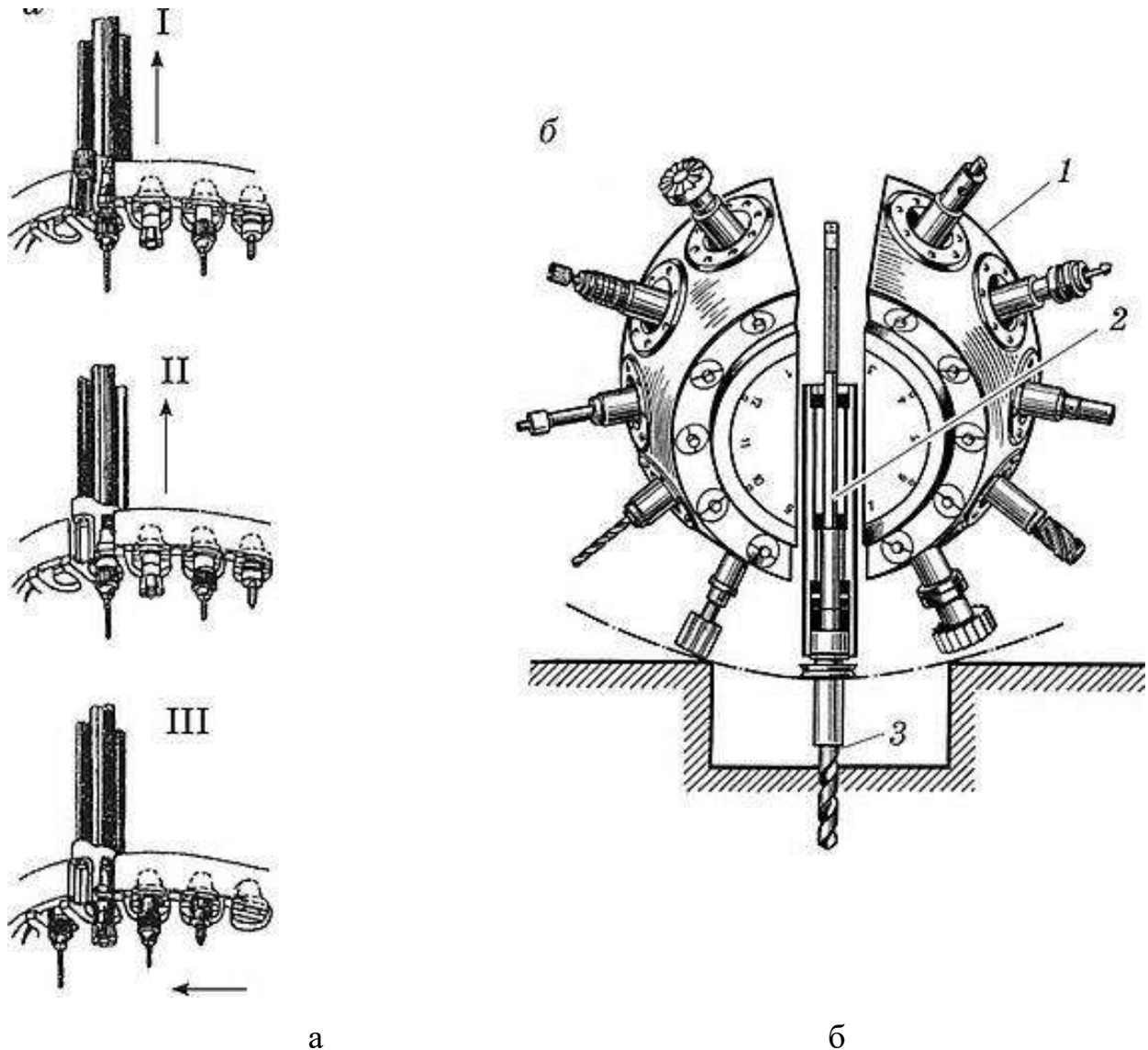


Рисунок 3.4 – Пристрої для зміни інструменту осьовим переміщенням [14]

Щоб розмістити інструментальний магазин поза робочою зоною верстата, його піднімають над шпиндельною бабкою або виносять у бік від неї, а іноді встановлюють на окрему стійку. У всіх цих випадках осі інструментів у магазині та шпинделі не збігаються, але можуть бути паралельними між собою. Таке розміщення вимагає додаткового руху, необхідного для поєднання осей інструменту, що змінюється, і шпинделя. При горизонтальній осі шпинделя магазин розміщують на вертикальних напрямних стійки над шпиндельною бабкою. Дисковий магазин 1 опускається і вільним гніздом-вирізом захоплює

оправлення інструменту, що змінюється, яка перед цим автоматично розкріплюється. Після цього повзун магазину переміщається вздовж осі шпинделя, і оправлення з інструментом залишається в гнізді магазину. Потім магазин повертається для пошуку наступного інструменту. Після суміщення нового інструменту зі шпинделем слідує хід вперед повзуна магазину, і інструментальна оправка закріплюється в отворі шпинделя. Магазин піднімається за межі робочої зони, шпиндель швидко підводиться до заготівлі. При вертикальному шпинделі в ряді конструкцій верстатів передбачене швидке підведення шпиндельної бабки 2 з робочої позиції до поєднання осей шпинделя 3 і отвори в магазині 1 (рис. 3.5). Інші рухи аналогічні розглянутим вище [14].

У багатьох випадках потрібна ємність магазину становить 20...60 інструментів, інколи ж понад 100. У цьому випадку верстат комплектується інструментальним автооператором.

Існують дві принципові схеми роботи автооператорів:

- 1) з обертальним та двома поступальними переміщеннями;
- 2) з обертальним та поступальним переміщенням [14].

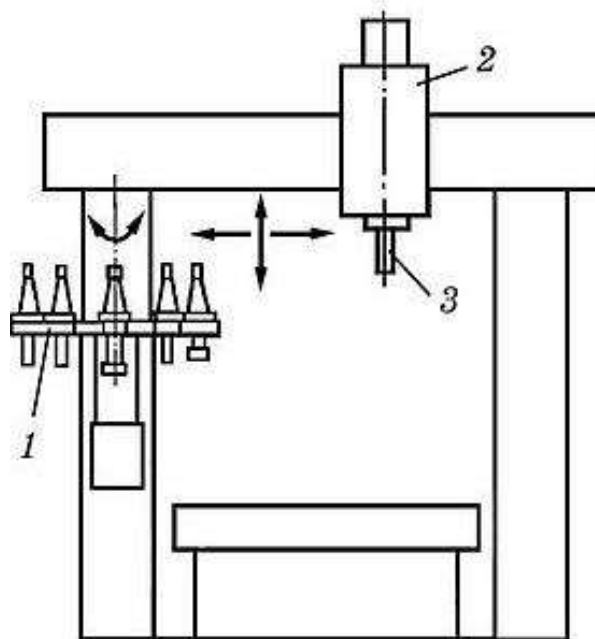


Рисунок 3.5 – Зміна інструменту при паралельному розташуванні [14]

У першій схемі (рис. 3.6 а) автооператор 1 здійснює хід знизу вгору, захоплює оправлення інструменту, що знаходиться в гнізді, і витягує її, переміщаючись уздовж осі інструменту. Інструмент, що знаходиться у шпинделі, замикається захопленням при переміщенні корпусу (каретки) автооператора вниз. Потім автооператор ходом уздовж осі шпинделя витягує інструмент, що відпрацював. Поворотом автооператора навколо своєї осі на  $180^\circ$  до шпинделя підводиться інструмент, що змінюється. Ходом уздовж осі інструмент «заштовхується» у шпиндель, де автоматично закріплюється. Після цього каретка автооператора пересувається вгору, переміщуючи відпрацьований інструмент магазин 2 [14].

У другій схемі (рис. 3.6 б) автооператор 1 здійснює тільки одне поступальне переміщення. При зміні інструменту він, повертаючись навколо горизонтальної осі, одночасно захоплює інструменти з магазину 2 і шпинделя, а потім ходом уздовж осі витягує їх, поворотом на  $180^\circ$  міняє місцями і вставляє магазин і шпиндель. Цикл зміни закінчується поворотом автооператора у горизонтальне (нейтральне) положення, при якому він не заважає повороту магазину та вертикальному переміщенню шпиндельної бабки [14].

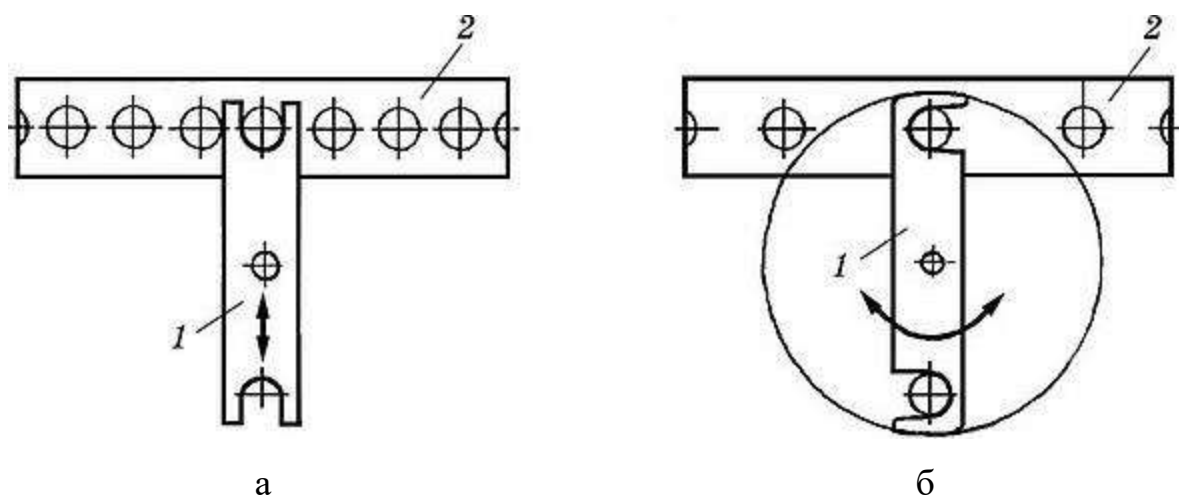


Рисунок 3.6 – Схеми роботи автооператорів [14]

На рис. 3.7 показано послідовність роботи такого автооператора. Блок інструменту 4 встановлений у шпинделі верстата, а блок 1 - у гнізді магазину. Поворотний двозахоплювальний оператор 2 забезпечений двома вирізами з пружними плунжерами (тримачами) 3. Автооператор може обертатися навколо своєї осі і переміщатися вздовж неї. При зміні інструменту автооператор повертається за годинниковою стрілкою на  $90^\circ$ . При цьому власники А і В входять до канавки оправок інструментів, встановлених у шпинделі та магазині відповідно. Після того, як затискний механізм шпинделя звільнить оправку, автооператор, переміщаючись в осьовому напрямку, виводить оправки з гнізд шпинделя та магазину і потім повертається на  $180^\circ$ . При цьому інструмент, що відпрацював, встановлюється співвісно з гніздом магазину, а новий інструмент - співвісно з гніздом шпинделя. При переміщенні оператора в осьовому напрямку інструменти з оправками встановлюються в гнізда шпинделя та магазину. Після закріплення оправок оператор повертається у вихідне положення. Такі автооператори широко застосовуються в автоматичних пристроях зміни інструменту з дисковими інструментальними магазинами, розташованими на шпиндельній бабці, ланцюговими магазинами, а також для завантаження інструменту в шпиндель верстата з гнізда проміжних транспортних пристроїв - перевантажувачів інструментів [14].

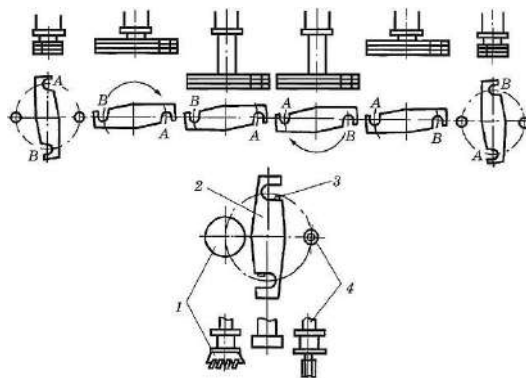


Рисунок 3.7 – Схема роботи двозахоплювального автооператора [14]

При використанні автооператорів осі інструментів і шпинделя можуть бути паралельні і розташовані по горизонталі (рис. 3.8 а) або вертикалі (рис. 3.8 б), а також розміщуватися перпендикулярно один до одного (рис. 3.8 в г).

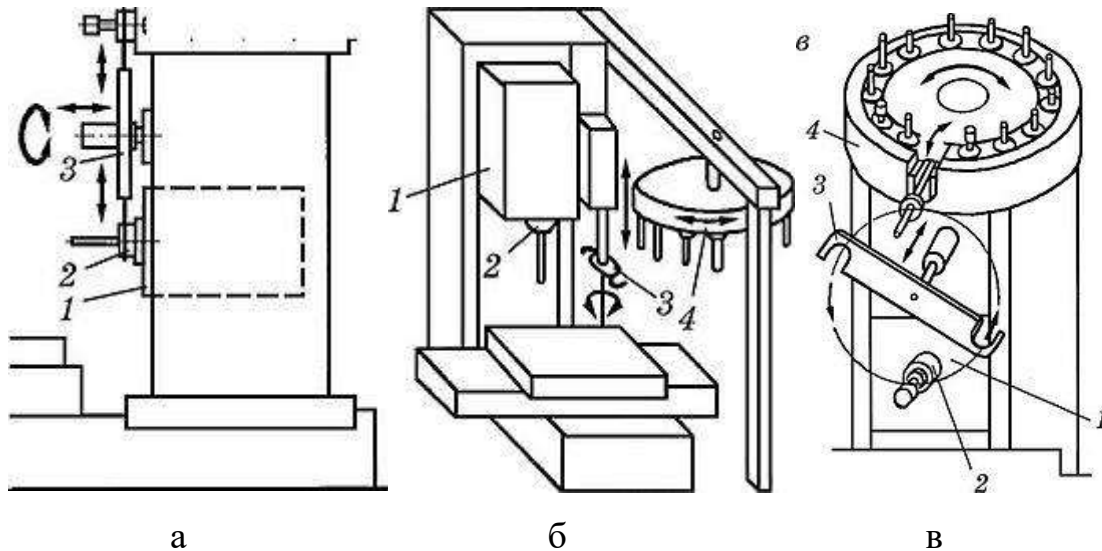


Рисунок 3.8 – Взаємне розташування автооператора та шпинделя верстата: 1 - шпиндельна бабка; 2 - шпиндель; 3 - автооператор; 4 – магазин [14]

### Заміна зношених інструментів

У зв'язку зі збільшенням кількості інструментів, що розміщуються в інструментальних магазинах, і зростанням витрат часу на їх заміну виникає необхідність створення нових систем автоматичної заміни інструменту.

При зносі інструменту можна замінювати або ріжучу пластину, що не переточується, або головку ріжучого інструменту разом з пластиною, або ріжучий інструмент у зборі з допоміжним інструментом. Автоматична зміна ріжучих пластин, незважаючи на компактність елементів, що змінюються, застосовується рідко через неможливість автоматизації заміни всіх застосовуваних ріжучих пластин, що розрізняються за геометрією і типами кріплення. При цьому способі не вирішується питання автоматичної зміни осевого інструменту [14].

Розглянемо приклади механізмів автоматичної заміни затупленого ріжучого інструменту. На рис. 3.9 показана схема механізму для автоматичної

заміни різців 1, попередньо вкладених у магазин 2. При переміщенні в гідроциліндрі 5 поршня 4 з штовхачем 3 праворуч черговий різець під дією сили тяжіння потрапляє з магазину на завантажувальний майданчик. У крайньому правому положенні шток 7 повертає важіль 8, переміщуючи повзун 6 з упором 9 просуває зношений різець вперед. Сферична головка регулювального гвинта розтискає пружні кульки 10, і звільняється різець. Потім поршень переміщається вліво, і штовхач 3 пересуває різець із завантажувального майданчика в мірний паз державки. Новий різець, переміщаючись, виштовхує затуплений різець у збірку зношеного інструменту. Пружні кульки 10 притискають регулювальний гвинт різця до торця штовхача, який сприймає радіальну складову сили різання [14].

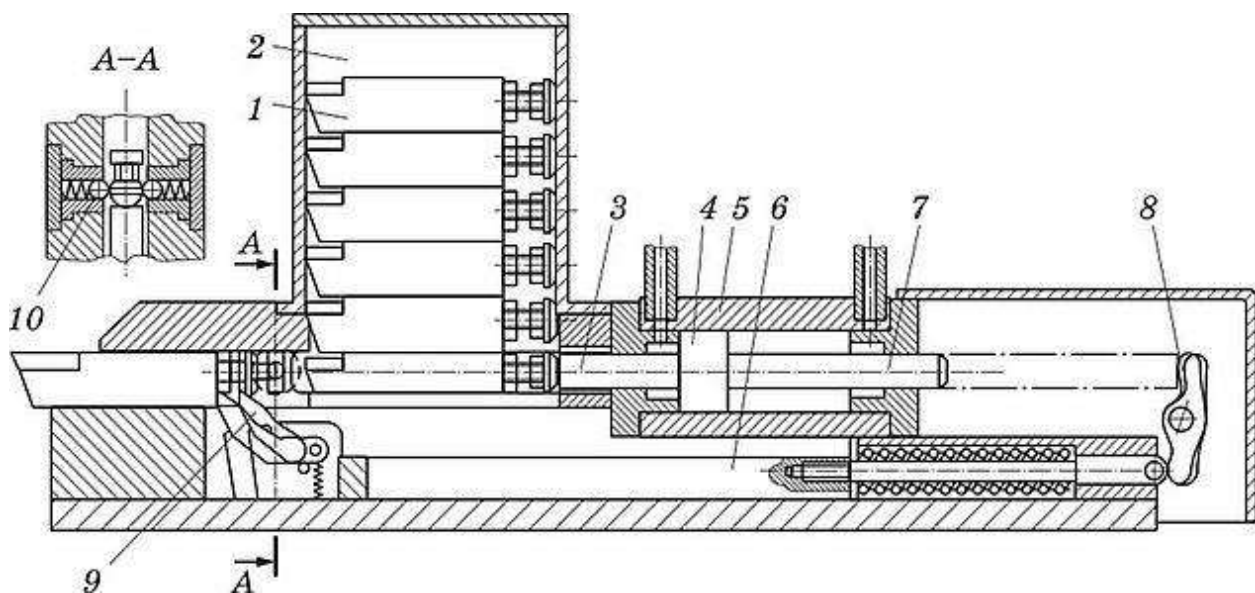


Рисунок 3.9 – Схема пристрою для автоматичної заміни прохідних різців [14]

На рис. 3.10 показано схему пристрою для заміни пальцевих фрез, що застосовуються для закруглення зубців зубчастих коліс. При подачі сигналу заміну інструменту включається соленоїд 9 і відкидний копір 8, повертаючись, займає положення «заміна». Після закінчення різання шпиндельна бабка 3 переміщається і важіль 6 знаходить на скіс відкидного копіра 8, внаслідок чого цанга розтискається. Шпиндельна бабка з розтиснутою цангою та фрезою продовжує переміщатися у вихідне положення, при цьому штовхач 7 відкидного

копіра пересуває фрези, що подаються з касети 5. Після цього вони пересуваються в трубі цанги на величину ходу бабки. Зношена фреза падає до збірки, а нова посідає її місце. Далі при переміщенні шпиндельної бабки на робочу позицію важіль 6 сходить з копіра і цанга стискається під дією пружини 4 а нова фреза 1 з касети 5 надходить у приймач. Необхідна точність осевого положення фрези забезпечується відкидним упором 2. Перевагою розглянутого пристрою є заміна інструменту без зупинки обертання шпинделя [14].

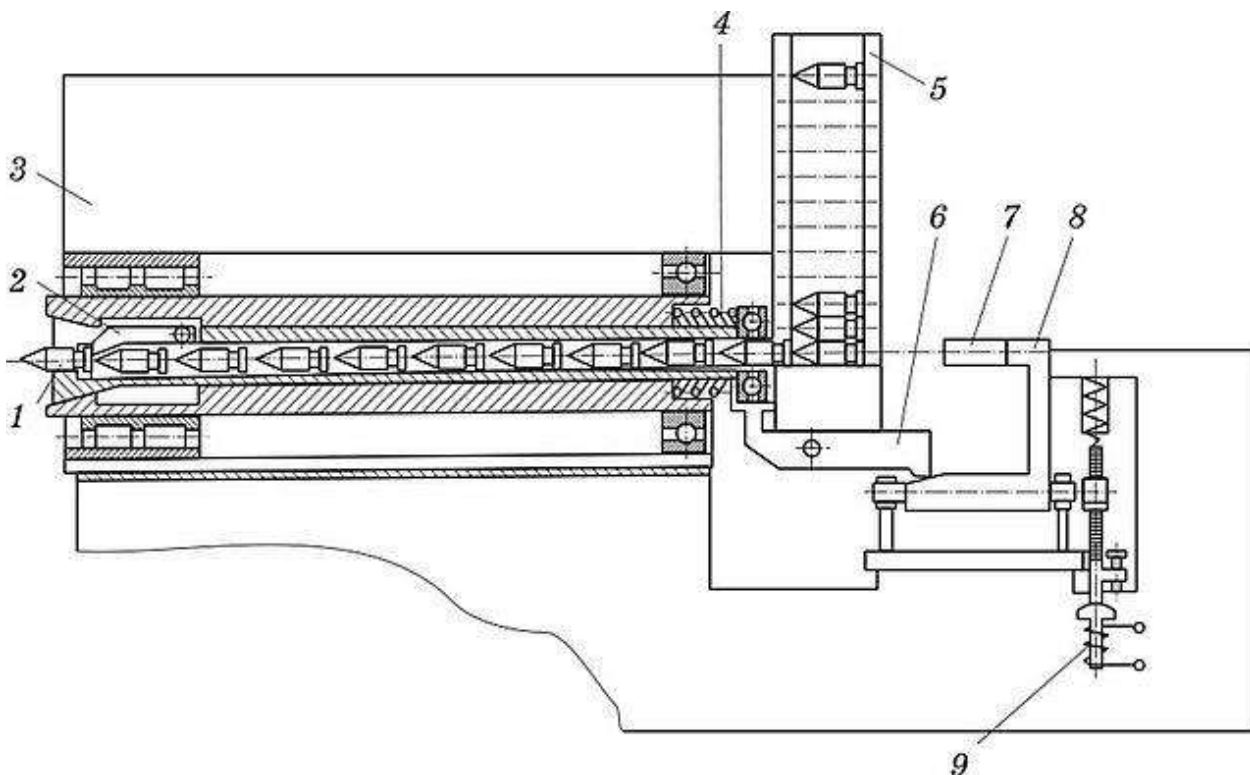


Рисунок 3.10 – Схема пристрою для автоматичної заміни зубозакруглювальних фрез [14]

Використання автоматизованих систем орієнтації та зміни інструментів відносно поверхні обробки значно зменшують час, який витрачається на заміну інструменту, підвищує точність базування інструменту у робочому положенні.

#### 4 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІ

Розрахунки на міцність є одними із основних при конструюванні нових виробів. Тому для з'ясування слабких місць у проектуємій деталі виконаємо розрахунок напружено-деформованого стану деталі виконуємо у NX ADVANTAGE SIMULATION. Тривимірна модель показана на рисунку 4.1.

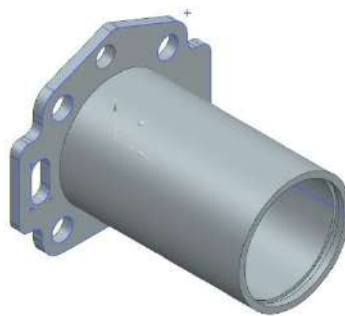


Рисунок 4.1 – Тривимірна модель завданої деталі

На першому етапі розрахунку виконуємо розбивку моделі сіткою кінцевих елементів, результат показано на рисунку 4.2.

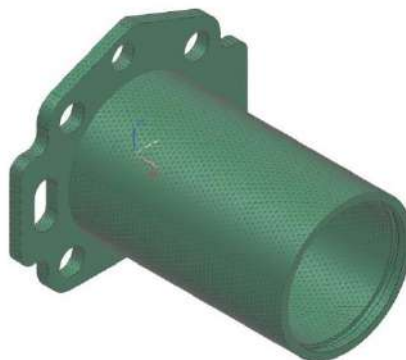


Рисунок 4.2 – Модель гільзи розбитої на сітку кінцевих елементів

Другий етап виконуємо прикладення обмежень, що унеможливляють переміщення деталі у окремих напрямках (рисунок 4.3).

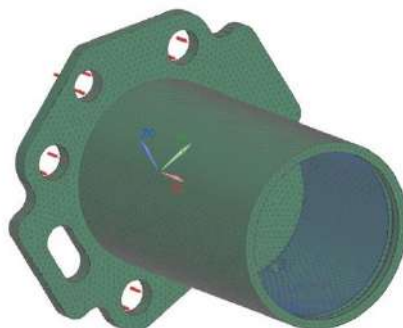


Рисунок 4.3 – Схема прикладення обмежень та навантажень

Наступним етапом виконуємо розрахунок напружено-деформованого стану (рисунок 4.4).

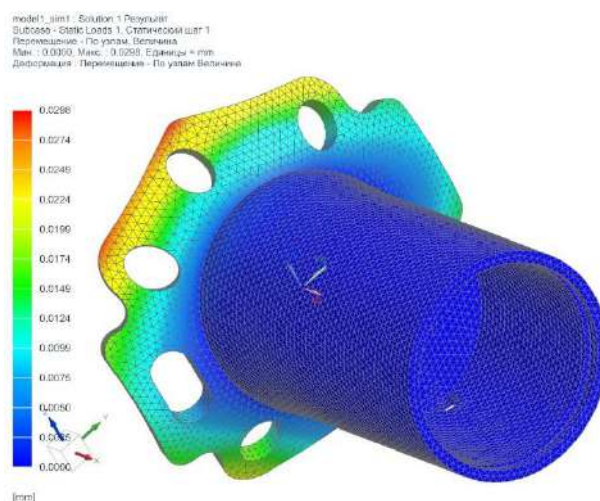


Рисунок 4.4 – Результат розрахунку напружено деформованого стану

У результаті виконаного розрахунку можна зробити висновок, що найбільш небезпечним перерізом буде тонка стінка біля отвору для того щоби підвищити міцність деталі необхідно виконувати її зміцнення.

## 5 ВИКОРИСТАННЯ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН

Контроль геометричної точності машинобудівних виробів є однією з найважливіших складових виробничого процесу, яка з кожним роком набуває все більшого значення. Допуски деталей, які колись виражалися десятими частками міліметра, тепер уже виражаються його тисячними частками. Ця тенденція у поєднанні з потребою в універсальному, гнучкому та точному вимірювальному обладнанні, здатному повністю інтегруватися в комплексно-автоматизоване виробництво, прискорила останні десятиліття розробки в галузі координатно-вимірювальної техніки. З сучасної точки зору використання координатно-вимірювальної техніки та особливо координатно-вимірювальних машин з ЧПУ для лінійних та кутових вимірювань справило революцію в технічних вимірах так само, як і використання у виробництві технологій програмної обробки [15].

Перші координатно-вимірювальні машини (КВМ), що з'явилися на початку 60-х років 20 століття, являли собою вимірювальні пристрої з ручним управлінням, засновані на конструкції трикоординатних верстатів, де замість інструменту використовувався датчик вимірювання (рисунок 5.1). Датчики, що застосовувалися в той час, були жорсткими зондами, які при вимірюваннях вручну приводилися в контакт з поверхнями контрольованої деталі. Координати центру сферичного наконечника зонда відображалися на цифровому дисплеї та записувалися оператором машини. Такі виміри займали багато часу, мали невисоку точність і повторюваність, і виключали помилок оператора [15].



Рисунок 5.1 – Координатно-вимірювальна машина виробництва компанії «Ferranti, Ltd.» (Великобританія, в даний час "International Metrology Systems, Ltd.") [15]

У 1973 р. з'явилася перша КІМ, що відповідає сучасному визначенню координатно-вимірювальної машини з погляду принципу реалізації координатних вимірів. Вона була створена західнонімецькою компанією "Carl Zeiss" (рисунок 5.2). З її появою точність вимірів досягла нового рівня завдяки впровадженню трикоординатної вимірювальної системи. Після цієї передової розробки еволюція координатно-вимірювальної техніки помітно прискорилося, особливо у сфері створення нових вимірювальних систем [15].

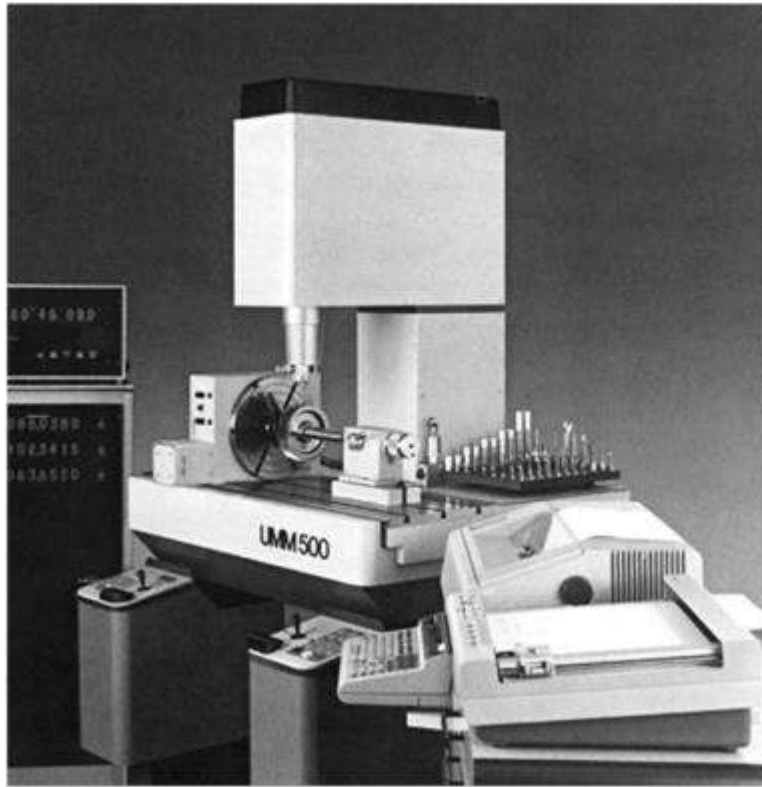


Рисунок 5.2 – Координатно-вимірювальна машина "Zeiss UMM 500" виробництва компанії "Carl Zeiss 1MT" (ФРН) [15]

Спочатку КІМ розроблялися як контрольні машини, призначені для використання в спеціальних приміщеннях з регульованим та стабільним середовищем. Однак у користувачів КІМ на виробництві існувала потреба у високоточних вимірювальних інструментах, які можуть бути використані безпосередньо в несприятливих цехових умовах поруч із верстатами, щоб скоротити тривалість розмірного контролю. У відповідь сучасні виробники КІМ здатні запропонувати машини стійкі до змінних впливів навколишнього середовища з прийнятним рівнем точності для такого практичного застосування [15].

Існуючі координатно-вимірювальні машини доступні у різноманітних компонованнях. Компоновання КІМ відіграє важливу роль у визначенні її характеристик, таких як точність та гнучкість, часу операційного циклу або продуктивності та експлуатаційних витрат (капітальних та поточних). Кожне

компонування КІМ має свої переваги, що визначають її переважне цільове призначення. Компонування КІМ, що найчастіше зустрічаються, можуть бути представлені наступними їх типами [15]:

- - портальна з рухомим порталом;
- - портальна з нерухомим порталом;
- - консольна;
- - стійкова з горизонтальною рукою;
- - бруківка.

#### Портальне компонування з рухомим порталом

Як основну робочу силу індустрії КІМ портальні машини з рухомим порталом є найпоширенішим типом компоновки (рисунок 5.3). Вона характеризується нерухомим столом, що служить для закріплення на ньому деталі, що вимірюється, і рухомим порталом. У такій конструкції може спостерігатися явище нищпорення внаслідок того, що при русі стійок portalу з різними швидкостями відбувається закручування portalу. Це впливає на точність вимірювання деталей у різних положеннях на столі КІМ. Використання конструкцій, де для кожної стійки застосовується окремий привід та система керування зі зворотним зв'язком по положенню, а також конструкцій, у яких привід portalу розташований за його середньою лінією, може зменшити цей небажаний ефект [15].

Перевагою портального компонування з рухомим порталом над консольним компонуванням є те, що величина прогину другої горизонтальної осі машини може бути істотно знижена за рахунок використання двох стійок, що підтримують. Крім того, вона має вищі власні частоти коливань, ніж моделі консольного компонування. Конструкції з рухомим порталом мають діапазон вимірювань, що змінюється від малого до середнього, і характеризуються відносно невеликою похибкою вимірювання [15].

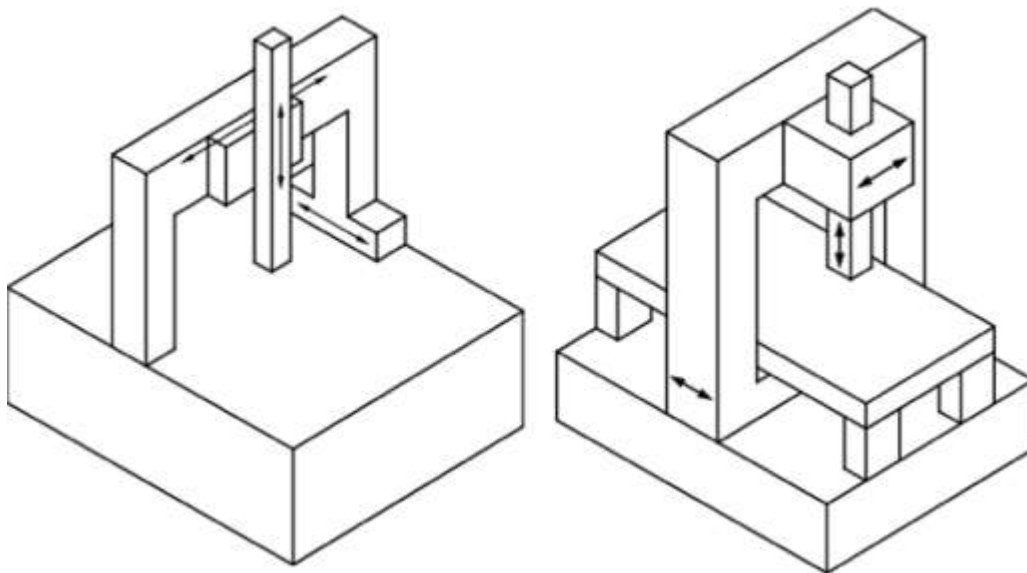


Рисунок 5.3 – Портальні КІМ з рухомим порталом [15]

Ще одним різновидом КІМ з рухомим порталом є компоновання з замкнутим кільцевим порталом (рисунок 1.3, праворуч). Така конструкція сприяє підвищенню жорсткості машини. У порівнянні з іншими альтернативними компоновками конструкція з кільцевим порталом має більш високе відношення жорсткість/вага. Іншими перевагами конструкції з кільцевим порталом над іншими типами компоновок з рухомим порталом є менша похибка Аббе (синусна помилка) та можливість розміщення центрального приводу під столом ближче до центру важкості рухомих елементів. Крім того, вимірювання на КІМ з кільцевим порталом не піддаються впливу маси деталі, що вимірюється, оскільки метрологічна система координат роз'єднана з несучою системою, що підтримує деталь [15].

#### Консольне компоновання

Ця конструкція характеризується наявністю рухомої консолі, яка може переміщатися щодо нерухомої станини (рисунок 5.4). Консоль несе каретку з можливістю її переміщення вздовж консолі. Каретка несе вимірювальну руку, здатну рухатися у вертикальному напрямку. Вимірювана деталь встановлюється на нерухомому столі. Оскільки стіл машини не потребує встановлення на напрямні, він може витримувати вагу щодо важких деталей без втрати точності

вимірів. Це компонування зазвичай має рухомі деталі малої маси, що для даного робочого простору машини робить її надзвичайно рухомою та забезпечує високу продуктивність [15].

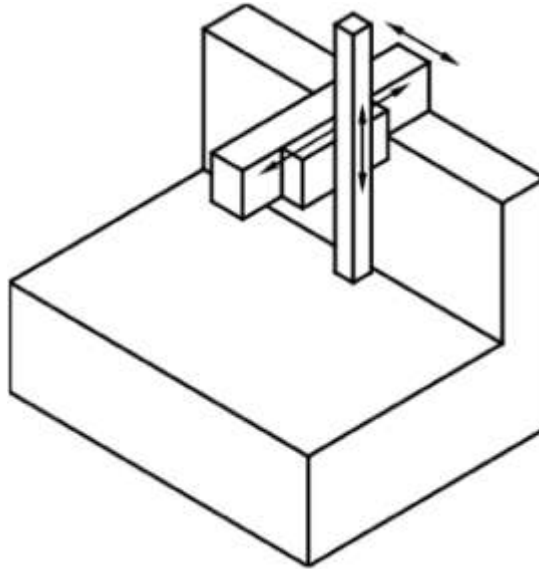


Рисунок 5.4 – КІМ консольного компонування [15]

Відкрите з трьох сторін консольне компонування з нерухомим столом забезпечує гарний доступ до деталі, але зазвичай не дозволяє використовувати кран- балку. Разом з високою продуктивністю це робить конструкцію кращою до виконання типових вимірювальних операцій. Її недоліком є схильність консолі до згинальних деформацій, що обумовлено конструкцією консолі. При цьому величина деформації збільшується при видаленні розміщеної на консолі каретки від станини машини. Внаслідок консольного ефекту таке компонування має знижені власні частоти, які обмежують розмір машини. Для компенсації цього ефекту більшість виробників використовують спеціальні механічні засоби у поєднанні з програмним забезпеченням для корекції похибок. Наявність довгого столу з відносно невеликими діапазонами вимірювань по двох осях робить компонування особливо придатним для вимірювання довгих тонких деталей [15].

Стійкове компонування з горизонтальною рукою

Машини з горизонтальною рукою є ідеальним рішенням для вимірювання кузовів автомобілів та інших виробів, що мають схожі розміри та допуски. Серед безлічі компоновок з горизонтальною рукою найбільш поширеними конструкціями є машини з рухомим столом, рухомим повзуном та двома вимірювальними руками (рисунк 5.5) [15].

У конструкції з рухомим столом використовується стіл для реалізації однієї горизонтальної осі руху та рухома стійка для реалізації інших. Як і для всіх інших КІМ з рухомим столом, її швидкість вимірювань і точність залежать від розмірів і ваги деталі. У разі компонування з рухомим повзуном, КІМ має консольну конструкцію, що призводить до низької динамічної жорсткості та відносно великих похибок Аббе. Системи з двома вимірювальними руками складаються з двох ідентичних дзеркальних один одному комплектів вимірювальних рук та рухомих осей, що дозволяють одночасно вимірювати деталь з двох сторін, таким чином збільшуючи продуктивність [15].

Перевагою всіх типів КІМ з горизонтальною рукою є чудова свобода доступу до деталі з усіх боків. Також це компонування зазвичай характеризується високими швидкостями вимірювань. Недоліком є обмежена здебільшого точність.

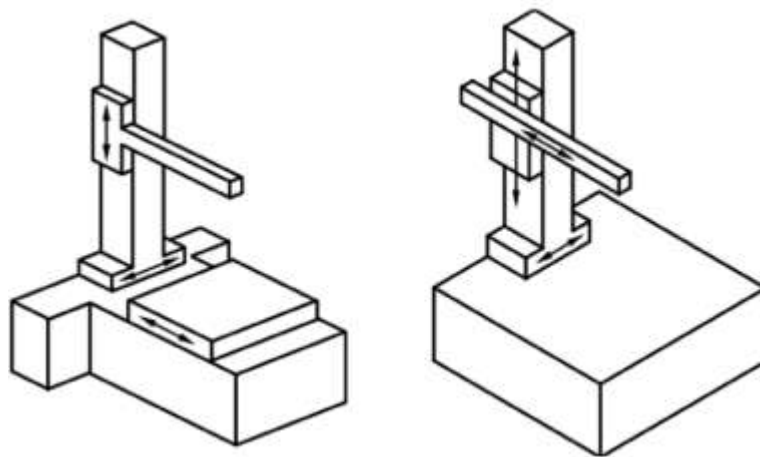


Рисунок 5.5 – Стійкові КІМ з горизонтальною рукою [15]

Для таких машин характерна наявність великих робочих діапазонів, де одна з осей може бути істотно більшою за два інші. Конструкція з рухомим повзуном, наприклад, може забезпечувати вимірювальний діапазон по протяжній осі до 25 м. Відносні рівні похибки вимірювання для машин з горизонтальною рукою значно варіюють залежно від їх конструкції [15].

#### Мостове компонування

Для великих виробів з вимірюваним об'ємом близько 10 м<sup>3</sup> і більше, мають відносно вузькі допуски, найбільш підходящою є бруківка. З її допомогою можуть вимірюватись такі деталі, як крила літаків, кузови автомобілів, гребні гвинти суден, великі дизельні двигуни тощо. Дане компонування складається з чотирьох колон, що несуть напрямні балки, якими переміщається поперечка з рухомою кареткою (рисунок 5.6). Переміщеннями поперечки та каретки реалізуються дві осі машини, третя вісь реалізується висувною піноллю, яка кріпиться на каретці та несе зондувальну систему. Для підвищення жорсткості конструкція встановлюється на масивній основі, яка також служить для розміщення на ньому об'єкта, що вимірюється. Щоб уникнути нищпорення поперечки часто використовуються системи зі здвоєним приводом. Для ефективної компенсації геометричних спотворень, спричинених вагою поперечки та супорту, а також температурними деформаціями використовується спеціальне програмне забезпечення [15].

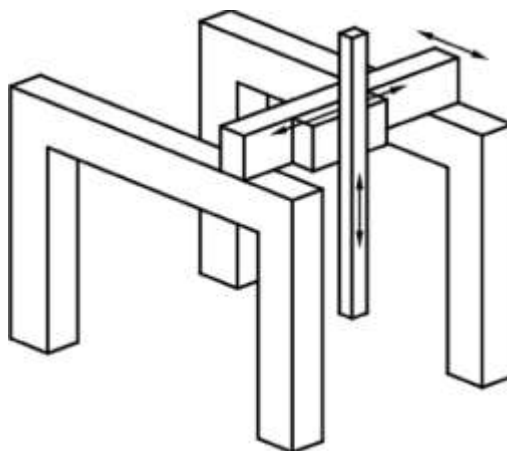
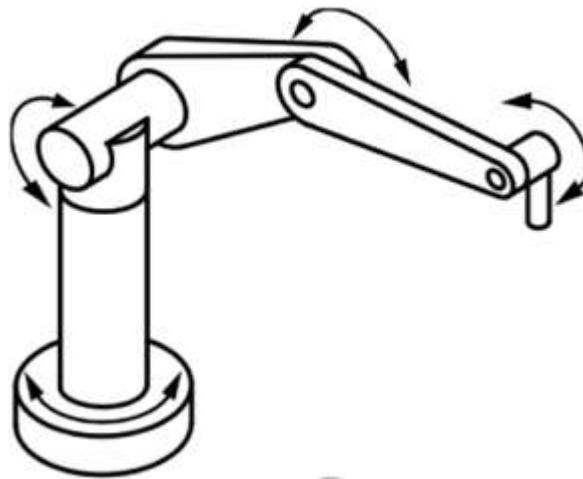


Рисунок 5.6 – КІМ бруківки [15]

Крім більшого обсягу робочого простору (наприклад, 25000x6000x4000 мм), перевагою КІМ мостового типу є легкий доступ оператора до виробів, що вимірюються в просторі машини. Рухливі частини машини мають меншу вагу, оскільки переміщається тільки горизонтальна поперечка і, внаслідок цього, зазвичай досягається середній рівень точності навіть для вимірюваних великих обсягів. Типові машини даної компоновки щодо економічні. Однак при більш високих вимогах до похибки вимірювань витрати можуть збільшуватися за рахунок спеціальних вимог до машини, таких як використання віброізованих фундаментів і спеціальних конструкційних елементів (наприклад, великих гранітних блоків) [15].

#### Шарнірно-зчленовані вимірювальні руки

В останні роки було досягнуто значних успіхів у технології виробництва портативних КІМ, які мають всі переваги традиційних машин у поєднанні з деякою додатковою гнучкістю. До таких машин відносяться координатно-вимірювальні машини з шарнірно-зчленованою рукою. Ці машини складаються з кількох шарнірно з'єднаних один з одним плечей, оснащених кутовими енкодерами, які використовуються для вимірювання просторових координат об'єкта шляхом зчитування енкодерами кутів повороту шарнірних плечей (рисунки 5.7) [15].



### Рисунок 5.7 – Шарнірно-зчленована КІМ [15]

Головними відмінними рисами шарнірно-зчленованих КІМ є такі особливості.

Вони легковагні, малі та портативні. Багато вимірювальних завдань, що мають місце в умовах цеху, не можуть бути виконані з використанням традиційних КІМ. Наприклад, щоб виміряти геометричний елемент розміром 3 м, традиційна картезіанська КІМ повинна мати хід і розміри, що перевищують 3 м (інакше доведеться вимірювати деталь у кілька етапів), що робить машину громіздкою та важкою, з масою часто досягає кількох тон. Однак шарнірно-зчленовані КІМ мають набагато менші розміри. При їх використанні в даному випадку достатньо, щоб сума довжин усіх плечей руки була більшою за 1,5 м [15].

Сучасні вимірювальні системи поділяються на безконтактні та комбіновані.

#### Комбіновані вимірювальні системи

Кожен тип вимірювальної системи має свої переваги та недоліки, і поки що не існує універсальної вимірювальної системи, здатної однаково задовільно виконувати всі метрологічні завдання. Особливо для комплексних виробів або деталей з широким діапазоном різних геометричних елементів потреба у максимальній якості контролю та його ефективності визначає необхідність використання інтелектуальної комбінації різних технік вимірювання (рис. 5.8) [15].



Рисунок 5.8 – Комбінована вимірювальна система [15]

Завдяки їх здатності до вимірювання окремих точок та можливості застосування різних щупів, традиційні тактильні вимірювальні системи є дуже гнучкими та придатними для різноманітних вимірювальних завдань, таких як вимірювання відхилень форми та розташування поверхонь, лінійних та кутових розмірів стандартних геометричних елементів за доступності вимірюваних точок для наконечника щупу. та їх достатньої жорсткості для виміру. Однак вони не ефективні при вимірі скульптурних поверхонь, не можуть проникати у внутрішні геометричні елементи малого розміру, використовують вимірювальне зусилля, яке може пошкодити чутливі деталі та не здатні виконувати спеціальні завдання, на зразок вимірювання товщини прозорих шарів [15].

Оптичні системи зазвичай можуть швидко збирати дуже багато точок, і тому особливо зручні для вимірювання скульптурних поверхонь і цілісного вимірювання чітко видимих геометричних елементів. Візуальні системи з їх 2D характеристиками можуть бути вигідно використані для вимірювання плоских елементів перпендикулярних до оптичної осі, таких як кромки і надруковані елементи. Лазерні лінійні та точкові датчики (тріангуляційні або автофокусовані) підходять для вимірювання об'єктів або елементів з вираженими перепадами

висоти, таких як криволінійні поверхні. Однак при використанні оптичних систем неможливий вимірювання поверхонь, які практично паралельні до оптичної осі, наприклад, отворів. Маленькі отвори, вузькі канавки тощо елементи можуть бути виміряні за допомогою мініатюрних тактильних вимірювальних систем [15].

При використанні декількох вимірювальних систем для вимірювання одного компонента важливо забезпечити, щоб дані, виміряні всіма застосовуваними системами, могли бути приведені до однієї системи координат так, щоб скомбінувати в єдиний масив всю вимірювальну інформацію про компонент. Це підвищує цінність такого підходу порівняно із застосуванням кількох незалежних метрологічних систем [15].

#### Безконтактні вимірювальні системи

Безконтактні вимірювальні системи виступають заміною традиційнішим тактильним вимірювальним системам у додатках, де потрібна підвищена швидкість вимірювань або властивості матеріалу вимірюваного виробу, не допускають контактних вимірювань. Ці системи є швидкими та забезпечують збирання великого обсягу вимірювальних даних. Однак користувач повинен мати на увазі обмеження таких систем. В даний час для таких датчиків складно забезпечити єдність вимірювань та відповідні стандарти щодо перевірки їх робочих характеристик знаходяться на ранніх стадіях розробки [15].

Протягом останніх десяти років основним напрямом розробки вимірювальних датчиків є створення оптичних датчиків (рисунк 5.9). Ці датчики комбінують елементи оптики, відео та лазерних технологій. Вони можуть збирати до 20 000 точок в секунду з високою точністю. У поєднанні з потужним математичним забезпеченням, це дозволяє виконувати аналіз великих обсягів даних у найкоротші терміни [15].



Рисунок 5.9 – Односмуговий лазерний сканер для KIM LC60Dx (Nikon) [15]

Приклад безконтактного вимірювального датчика є лазерний датчик. При використанні даного типу датчика точно сфокусований лазер або інфрачервоний промінь випускається в напрямку точки вимірюваної деталі. Коли промінь досягає поверхні деталі, він формує світлову пляму, що відповідає вимірюваній точці, і відбивається поверхнею. Відбите світло потім фокусується на фотоелектричному матричному детекторі. Будь-яка зміна відстані поверхні деталі від датчика призводить до зміни положення відображеної світлової плями на матричному детекторі. Лазерний датчик здатний сканувати з вищою швидкістю, ніж тактильний датчик, але забезпечує меншу роздільну здатність. Сигнал, який виробляється лазерним датчиком, емулює сигнал стандартного тактильного датчика. Це гарантує його застосування у існуючому програмному забезпеченні КІМ без необхідності використання спеціальних технік програмування [15].

Внаслідок того, що лазерний датчик не викликає деформацій поверхонь деталей, він добре підходить для вимірювання пластичних або крихких

матеріалів. Типове застосування подібних систем включає вимірювання сидінь та приладових панелей автомобілів, пластикових форм, глиняних моделей та швидких прототипів. Лазерні датчики здатні реалізовувати точні вимірювальні системи, які, проте, можуть давати похибки деяких видів матеріалів деталей через їх властивостей [15].

Деякі безконтактні датчики включають джерело структурованого освітлення, наприклад, у вигляді лінії, що висвітлює деталь з формуванням вздовж її контуру світлової смуги. Ця світлова смуга вловлюється датчиком зображення, який трансформує її в цифрове зображення, що вимірюється, за допомогою тріангуляції якого можна обчислити координати  $(x, y, z)$  сотень точок уздовж цієї смуги [15].

Безконтактні датчики здатні сканувати швидше, ніж аналогові датчики, але мають обмеження по можливості доступу до геометричних елементів деталей. Через це може знадобитися часта зміна орієнтації вимірювальної головки під час процесу сканування, що призводить до зниження загальної ефективної продуктивності системи [15].

Зазвичай оптичні системи не використовуються для високоточних вимірювань, а оптичні системи з камерою обмежені розміром, числом пікселів та роздільною здатністю зображення, яке формується об'єктивом камери.

Існують вимірювальні системи, які тільки виявляють контакт і, отже, мають булевий вихід (контакт є чи ні) – вимірювальні системи з тригерним датчиком торкання. Також існують системи, які вимірюють вектор (норму та напрямок) – скануючі вимірювальні системи [15].

Вимірювальні системи з датчиком торкання підходять для вимірювання стандартних геометричних елементів, тому що відносно невеликого числа окремих вимірюваних точок часто буває достатньо для побудови елемента, що замінює, а компенсація розміру вимірювального наконечника і робочого ходу щупа може бути легко виконана шляхом віднімання (складання) ефективного розміру наконечника з розміром або положенням елемента (компенсація радіуса щупа на вимірюваному елементі). Для вимірювання скульптурних поверхонь вільної

форми більше схожі скануючі вимірювальні системи завдяки їх здатності сканувати вимірювану геометрію та можливості безпосередньо компенсувати ефективний радіус наконечника за допомогою виміряного вектора зондування (компенсація радіуса щупа в кожній виміряній точці) [15].

Скануюча (або аналогова) вимірювальна система (рисунки 5.10) складається з трьох пружинних паралелограмів, які мають діапазон відхилень зазвичай у межах  $\pm 3$  мм у напрямку вимірювальних осей. Переміщення у кожному напрямі фіксуються індуктивною вимірювальною системою. Кожен паралелограм закріплений у своєму нейтральному положенні, на яке налаштовано початок відліку індуктивної вимірювальної системи. Рухлива система котушок генерує вимірювальне зусилля при контакті щупа з деталлю. Як тільки вимірювальна система налаштується на близько нульове положення, координати машини та оцифровані залишкові відхилення вимірювальної головки (скануючого модуля) передаються в комп'ютер. При скануванні з великою швидкістю вимірювальна головка заздалегідь відхиляється у напрямку виміру. Це гарантує зупинку вимірювальної головки в межах її діапазону відхилень у разі контакту або зіткнення [15].

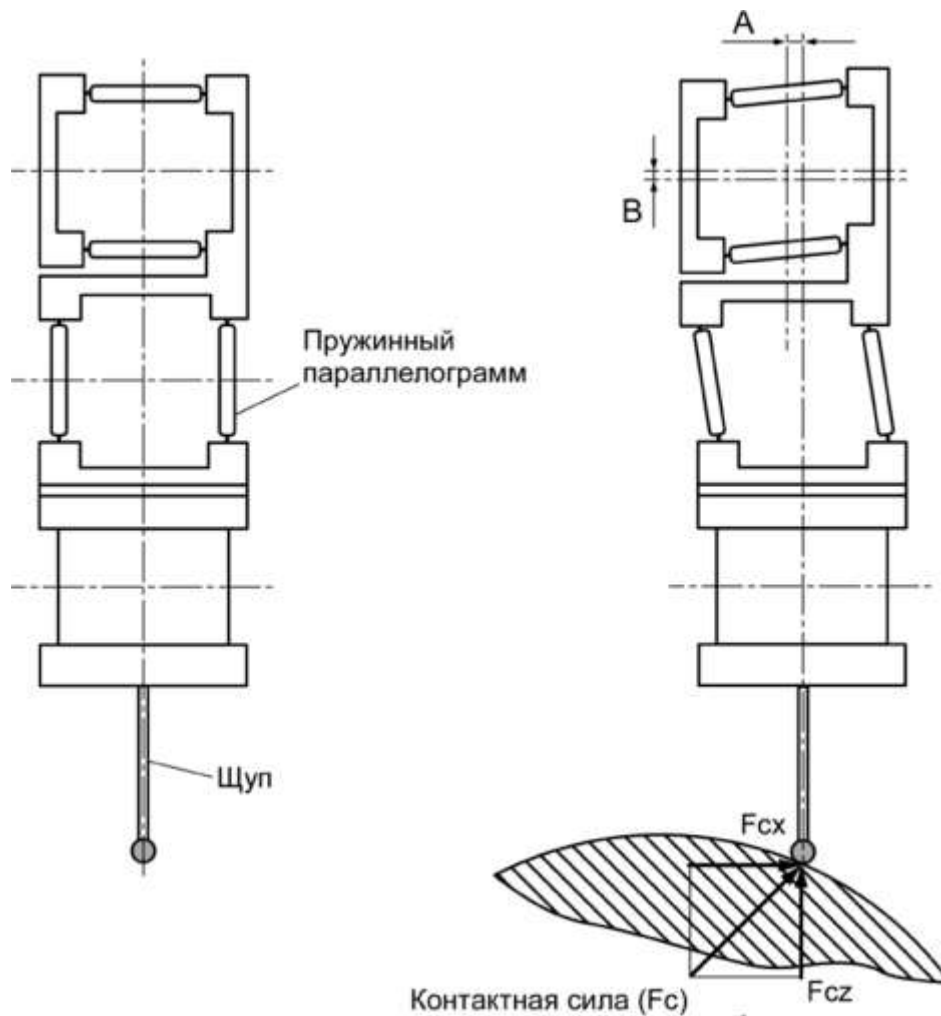


Рисунок 5.10 – Вимірювальна система, що сканує, з пружинними паралелограмами [15]

До переваг вимірювальних систем тригерного типу зазвичай відносяться малі ціна, вага і розмір, можливість використання поворотних головок і забезпечення покращених динамічних характеристик конструкції КІМ. На противагу цим системам скануючі вимірювальні системи є більш точними, дозволяють виробляти екстраполяцію точок, що зондуються, і дають можливість сканування об'єктів як відомої, так і невідомої геометричної форми [15].

Вимірювальні системи тригерного типу здійснюють динамічні вимірювання, тобто вони виявляють точку поверхні в процесі руху вузлів КІМ. Скануючі вимірювальні системи можуть здійснювати як динамічні, так і статичні

вимірювання, тобто координати вимірювальної системи та машини зчитуються при зупинці КІМ [15].

Основним компонентом вимірювальної системи є головка вимірювальна. Вибір вимірювальної головки може суттєво вплинути на характеристики всієї системи загалом. Отже, задоволення всіх вимог, що висувуються до вимірів, при виборі вимірювальної головки необхідно прагнути деякого компромісу. Наприклад, вимірювальна головка здатна нести важкий щуп також матиме велике вимірювальне зусилля та низьку швидкодію. Крім того, при виборі вимірювальної головки користувач повинен мати на увазі, що більш чутливі головки потребують кращих температурних умов роботи. Для отримання найкращих результатів користувач повинен відстежувати температуру навколишнього середовища в робочій зоні машини та зіставляти її з тією, що рекомендується для конкретної вимірювальної головки [15].

При вимірюваннях на машинах з ручним керуванням щуп може зазнавати впливу, що порушує умови експлуатації. Цей факт можливий, тому що користувач може змінювати швидкість і зусилля при приведенні щупа в контакт з деталлю, і ці варіації можуть викликати надлишковий хід щупа. Тому, щоб уникнути пошкодження спрацьовувального механізму вимірювальні голівки, розроблені для використання в режимі ручного керування, повинні бути більш стійкими, ніж голівки, розроблені для систем прямого комп'ютерного управління [15].

Крім маси, яку може нести вимірювальна головка та компромісу між чутливістю та температурними умовами роботи, користувач також повинен враховувати, що головка може бути поворотною та неповоротною і чи повинна вона бути ручною або автоматичною.

Неповоротні вимірювальні головки забезпечують єдину фіксовану орієнтацію щупа вертикально зверху донизу. Неповоротні вимірювальні головки широко використовуються для вимірювання елементів, отриманих механічною обробкою в листовому металі або будь-яких інших деталей, для яких потрібна

вертикальна орієнтація щупа. Вони можуть використовуватися як на машинах із ручним керуванням, так і на машинах із прямим комп'ютерним керуванням [15].

Поворотні вимірювальні головки дозволяють оператору орієнтувати щуп у безлічі різних напрямків. Поворотні головки контролюють напрямок, у якому вимірюються точки. Кут підйому у вертикальній площині контролюється А-віссю, а кут повороту у горизонтальній площині - В-віссю. Прирощення кутів зазвичай становлять або 15 °, або 7,5 °. Даний тип головки дозволяє вимірювати елементи на задніх та бокових сторонах деталей, а також елементи з гострими кутами [15].

Поворотні вимірювальні головки поставляються у двох загальноприйнятих варіантах: з ручним (Рисунок 5.11) та механізованим (Рисунок 5.12) приводом. Кожна конструкція поворотної головки має максимальну допустиму величину подовжувача. Тому, якщо потрібен вимір глибоких отворів, користувач попередньо повинен переконатися, що вимірювальна головка, що використовується, зможе витримати вагу необхідного подовжувального стрижня [15].



Рисунок 5.11 – Вимірювальні поворотні головки з ручним приводом виробництва «TESA Technology» (Німеччина) [15]



Рисунок 5.12 – Вимірювальні поворотні головки з механізованим приводом виробництва «Renishaw» (Великобританія) [15]

Поворотні вимірювальні головки з ручним приводом вимагають втручання користувача для надання голівці бажаної орієнтації. Такі типи головок можуть бути використані в машинах як з ручним, так і з прямим комп'ютерним керуванням. На машинах з прямим комп'ютерним керуванням програма зупинятиметься в кожній запрограмованій точці, де потрібна зміна орієнтації головки, і чекати поки оператор не поверне головку [15].

При використанні поворотних головок з ручним управлінням, як тільки голівці буде надано потрібне положення, нове положення щупа вимагатиме калібрування відносної еталонної сфери. Також потрібно помітити, що тепло, що виділяється оператором при орієнтуванні головки може викликати похибки записуваних результатів через температурне розширення щупа. Тому при зміні орієнтації щупа рекомендується вдягати рукавички [15].

Для деяких типів поворотних вимірювальних головок з ручним приводом для набору положень щупа може бути виконано кілька калібрування з використанням еталонної сфери. У процесі вимірювання користувач може надати

головці одне з положень, попередньо підданих калібрування, і продовжити вимірювання без необхідності контролю щупа щодо еталонної сфери. Інші поворотні вимірювальні головки з ручним приводом вимагають калібрування з використанням еталонної сфери безпосередньо після кожної зміни орієнтації головки. При використанні даного типу вимірювальної головки важливо помітити, що під час калібрування еталонна сфера не повинна переміщатися, інакше це призведе до викривлення вимірюваних результатів через похибки калібрування [15].

Автоматичні або механізовані вимірювальні головки дозволяють автоматично змінювати кути щупа під час виконання програми вимірювання деталі. Отже, програми вимірювання дуже складних деталей, що використовують безліч різних положень щупа, можуть виконуватися повністю без втручання оператора. Такі вимірювальні головки використовуються тільки в автоматизованих КІМ. При їх використанні потрібні такі самі процедури калібрування, що були згадані для поворотних головок з ручним управлінням [15].

Якщо користувач застосовує машину з прямим комп'ютерним керуванням, і при вимірюваннях потрібно повертати головку лише час від часу, то в цьому випадку рекомендується використовувати поворотну головку з ручним керуванням. Однак, якщо стратегія вимірювань вимагає поворотів на регулярній основі, то в цьому випадку потрібна автоматична поворотна головка. Даний тип вимірювальної головки дозволить користувачеві отримувати всі переваги від програмного вимірювання деталей та виключатиме постійні паузи в роботі машини, необхідні для зміни орієнтації головки вручну. Від вимірювальної програми буде мало користі, якщо оператору потрібно стояти поруч із машиною під час виконання робочого циклу та змінювати орієнтацію головки на регулярній основі [15].

Діапазон комерційно доступних в даний час вимірювальних систем для КІМ є широким. Більшість великих виробників КІМ пропонують свої власні вимірювальні системи, наприклад, Carl Zeiss, Leitz (Німеччина); "Mitutoyo"

(Японія). Деякі додатково пропонують інтерфейси для сторонніх вимірювальних систем. Невеликі виробники КІМ та виробники комбінованих КІМ часто не здатні розробити свої власні вимірювальні системи та використовують системи, розроблені спеціалізованими виробниками вимірювальних систем. Нижче розглянуто дві передові сканувальні вимірювальні системи, і використовуються в них техніки компенсації динамічних похибок КІМ [15].

#### П'ятикоординатна вимірювальна головка «Renishaw Revo»

Система «Renishaw Revo» є високошвидкісною системою сканування з двома обертальними осями, що доповнюють три стандартні лінійні осі (рисунок 5.13). Отже, по суті це вимірювальна система з інтегрованою, динамічно збалансованою двоосьовою поворотною головкою. Використання цієї системи, крім забезпечення гнучкості та скорочення часу вимірювань за рахунок опції швидкої зміни орієнтації щупа у процесі вимірювання без його повторного калібрування, значно прискорює сканування осесиметричних елементів. Для сканування осесиметричних елементів, наприклад циліндрів, обертальні осі можуть бути використані для реалізації кругового руху щупа, коли лінійні осі нерухомі (кругове сканування) або переміщуються з постійною швидкістю (спіральне сканування). Прискорені переміщення, які неминуче ведуть до динамічних реакцій, можуть бути виключені, і швидкість сканування може бути збільшена без шкоди для точності (як заявляється виробником) через відсутність деформацій КІМ, викликаних динамічними навантаженнями [15].



Рисунок 5.13 – П'ятикоординатна вимірювальна система «Renishaw Revo»  
[15]

Ще однією цікавою особливістю системи «Revo» є пряме вимірювання переміщень кулькового наконечника щупа при його контакті з деталлю, з використанням відбивача встановленого в неробочій частині наконечника всередині порожнистого стрижня. Визначення переміщень наконечника проводиться оптичним шляхом за допомогою лазерного променя, спрямованого на відбивач та оцінки відбитого світла. Прямий вимір положення кулькового наконечника додатково покращує динамічні властивості вимірювальної системи, так як вигин щупа, викликаний динамічними навантаженнями, не має значення для результатів вимірювання. При використанні системи Revo швидкість сканування може досягати до 500 мм/с [15].

#### Вимірювальна головка «Zeiss»

Система Zeiss VAST використовує високошвидкісну скануючу технологію вимірювань з компенсацією динамічних похибок (рисунок 5.14). Високі прискорення під час сканування обумовлюють великі динамічні навантаження, що діють на осі машини, вимірювальну систему і щуп, і динамічні деформації цих компонентів, що викликають. Крім того, ці динамічні навантаження можуть значною мірою впливати на вимірювальне зусилля. Ці два джерела похибок, що знижують точність сканування на високих швидкостях, компенсуються системою VAST незалежно від вимірюваного елемента [15].



Рисунок 5.14 – Вимірювальна система "Zeiss VAST XT" [15]

У системі «VAST» використовується активна і керована генерація вимірювального зусилля за допомогою електромагнітних виконавчих механізмів замість пружин, що зазвичай застосовуються, компенсує зміни вимірювального зусилля, викликані відцентровими силами. Компенсація динамічних деформацій досягається за рахунок системи комп'ютерного забезпечення точності, відповідно до чого спочатку виявляються деформації геометрії машини та вимірювальної системи, що залежать від положення та прискорень, а потім вводяться в систему керування машиною для їх корекції. При використанні цих методів динамічні похибки можуть бути обмежені величиною менше 1 мкм, а швидкості сканування можуть досягати до 100 мм/с або більше (згідно з даними виробника) [15].

Іншою особливістю системи «VAST», що підвищує ефективність сканування, є допоміжне програмне забезпечення, яке визначає оптимальну швидкість вимірювань відповідно до геометрії вимірюваного елемента, його допусків, що використовуються щупом та типом КІМ. Вимірювальна система «VAST» складається з трьох незалежних послідовних осей, кожна з яких оснащена індуктивним датчиком, активним електромеханічним виконавчим механізмом та спеціальною системою демпфування, що запобігає помилковим спрацьовуванням [15].

## 6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ

При проектуванні операцій має місце багатоваріантність можливих рішень. З усіх варіантів, забезпечуючих якість та задану програму випуску деталей, необхідно вибрати варіант, який дає найбільший економічний ефект.

Економічний ефект від впровадження нового обладнання розраховуємо за формулою (1.6) [16]:

$$E = (C_1 - C_2) \cdot П \quad (6.1)$$

де  $C_1, C_2$  – собівартість виготовлення по кожному з варіантів;

$П$  – річна програма випуску

Собівартість по кожному з варіантів виготовлення розраховується за формулою (6.2) [16]:

$$C = Зр + E + A + O + P \quad (6.2)$$

де  $Зр$  – витрати на заробітну плату відповідно до розряду виконуваних робіт;

$E$  – витрати на електроенергію;

$A$  – витрати на амортизацію обладнання відповідно до його ціни;

$O$  – витрати на обслуговування обладнання;

$P$  – витрати на ремонт обладнання;

При виконанні магістерської роботи з метою підвищення якості верстат CORMAK 400×700 було замінено на GILDEMEISTER CT 60.

Визначимо необхідну кількість обладнання [17] за формулою (6.3):

$$C_p = \frac{t_{\text{шт.к}}}{\Phi_d} \quad (6.3)$$

де  $t_{\text{шт.к.}}$  – штучно-калькуляційний час виконання даної операції;

$\Phi_d$  – дійсний річний фонд часу при роботі у дві зміни

$$C_p = \frac{21,41}{4015} = 0,005 \approx 1$$

Визначимо норми витрат по статтях собівартості. Приймаємо розряд робочого 5-й  $Z_T=1,293$ . Приймемо коефіцієнт перевиконання норми  $K=1,2$  грн/хв і одержимо  $Z_p=Z_T \times K_n=1,36 \times 1,2=1,632$  грн/хв [18].

Витрати на електроенергію CORMAK 400×700  $N=5,5$ кВт, GILDEMEISTER CT 60  $N=22$ кВт. Для серійного виробництва коефіцієнт з потужності  $K_1=0,7$  та по часу роботи  $K_2=0,7$ . Вартість 1 кВт електроенергії приймаємо  $C_e=1,68$ грн [19]. Витрати на електроенергію розраховуємо за формулою (6.4) [16]:

$$E = \frac{N \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot C_e}{60} \quad (6.4)$$

де  $N$  – потужність верстату, кВт;

$k_1, k_2$  – коефіцієнти, ураховуючі відповідно використання електродвигунів по потужності та по часу;

$C_e$  – вартість 1 квт.г. електроенергії у діючих на даний час розцінках;

$$E_{\text{CORMAK 400} \times 700} = \frac{5,5 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,68}{60} = 0,08;$$

$$E_{\text{GILDEMEISTER CT 60}} = \frac{22 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,68}{60} = 0,3$$

Витрати на амортизацію обладнання, ціна верстату CORMAK 400×700 Ц=871759грн, ціна верстату GILDEMEISTER CT 60 Ц=533800грн. Витрати на амортизацію обладнання розраховуємо за формулами (6.5, 6.6) [16]:

$$\sum A_r = \frac{\alpha_1 \cdot 1,15 \cdot Ц}{100} \quad (6.5)$$

де  $A_r$  – нарахування на амортизацію за рік;

Ц – вартість обладнання;

$\alpha_1$  – процент відрахувань від балансової вартості обладнання;

$$A = \frac{A_r \cdot 100}{F_d \cdot 60} \quad (6.6)$$

де  $F_d$  – дійсний фонд роботи обладнання;

$$\begin{aligned} \sum A_{\text{CORMAK } 400 \times 700} &= \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 871759}{100} = 150378,43 \text{ грн} \\ A_{\text{CORMAK } 400 \times 700} &= \frac{150378,43 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 62,42 \text{ грн} \\ \sum A_{\text{GILDEMEISTER CT } 60} &= \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 533800}{100} = 92080,5 \text{ грн} \\ A_{\text{GILDEMEISTER CT } 60} &= \frac{92080,5 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 38,22 \text{ грн} \end{aligned}$$

Витрати на обслуговування обладнання розраховуємо за формулами (6.7, 6.8) [16]:

$$\sum O_r = \frac{\alpha_2 \cdot 1,15 \cdot Ц}{100} \quad (6.7)$$

де  $O_r$  – нарахування на обслуговування за рік;

Ц – вартість обладнання;

$\alpha_1$  – процент відрахувань від балансової вартості обладнання;

$$O = \frac{O_r \cdot 100}{F_d \cdot 60} \quad (6.8)$$

де  $F_d$  – дійсний фонд роботи обладнання;

$$\begin{aligned} \sum O_{\text{CORMAK } 400 \times 700} &= \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 871759}{100} = 5012,61 \text{ грн} \\ O_{\text{CORMAK } 400 \times 700} &= \frac{5012,61 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 2,08 \text{ грн} \\ \sum O_{\text{GILDEMEISTER CT } 60} &= \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 533800}{100} = 3069,35 \text{ грн} \\ O_{\text{GILDEMEISTER CT } 60} &= \frac{3069,35 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 1,27 \text{ грн} \end{aligned}$$

Витрати на ремонт обладнання розраховуємо за формулами (6.9, 6.10) [16]:

$$\sum P_r = \frac{\alpha_3 \cdot 1,15 \cdot Ц}{100} \quad (6.9)$$

де  $P_r$  – нарахування на ремонт обладнання за рік;

$Ц$  – вартість обладнання;

$\alpha_3$  – процент відрахувань від балансової вартості обладнання;

$$O = \frac{P_r \cdot 100}{F_d \cdot 60} \quad (6.10)$$

де  $F_d$  – дійсний фонд роботи обладнання;

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{CORMAK } 400 \times 700} &= \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 871759}{100} = 45113,53 \text{ грн} \\ P_{\text{CORMAK } 400 \times 700} &= \frac{45113,53 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 18,73 \text{ грн} \\ \sum P_{\text{GILDEMEISTER CT } 60} &= \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 533800}{100} = 27624,15 \text{ грн} \\ P_{\text{GILDEMEISTER CT } 60} &= \frac{27624,15 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 11,47 \text{ грн} \end{aligned}$$

Визначимо технологічну собівартість для кожного з варіантів за формулою (6.2):

$$C_{\text{CORMAK } 400 \times 700} = 1,632 + 0,08 + 62,42 + 2,08 + 18,73 = 84,94 \text{ грн}$$

$$C_{\text{GILDEMEISTER CT } 60} = 1,632 + 0,3 + 38,22 + 1,27 + 11,47 = 52,89 \text{ грн}$$

Розрахуємо економічний ефект від впровадження нового обладнання за формулою (6.1):

$$E = (C_{\text{CORMAK } 400 \times 700} - C_{\text{GILDEMEISTER CT } 60}) \cdot \Pi = (84,94 - 52,89) \cdot 1000 = 32050 \text{ грн}$$



## 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 7.1 Аналіз потенційних небезпек

В процесі організації трудової діяльності на будь якому підприємстві вагому увагу приділяють впровадженню комплексних заходів (соціально-економічного, технічного, організаційного і гігієнічного напрямків), які мають на меті покращити працездатність людини та зберегти її здоров'я від дії негативних факторів ризику. При цьому всебічно аналізуються питання безпеки виробничого травматизму, економічної ефективності оздоровчих заходів, впливу метеорологічних та інших санітарно-гігієнічних факторів, що впливають на організм людини.

Аналізуючи технологічні процеси виготовлення деталей в механічному цеху визначимо найбільш суттєві потенційні небезпеки, що можуть впливати на здоров'я працюючих.

Внаслідок порушення організаційних вимог проявляються травми різного ступеню важкості, наприклад це такі порушення:

а) розвантаження чи завантаження заготовок та деталей без застосування засобів захисту;

б) неправильно організований виробничий цикл, що призводить захащення заготовками і деталями робочого місця;

в) застосування тари, шаф, меблів, що не відповідають сучасним ергономічним рекомендаціям;

г) робота без захисних рукавиць може привести до пошкодження шкіряного покриву рук гострими кромками;

д) несправність електрообладнання може призвести до ураження електричним струмом, електротравм різної важкості та, навіть, до смерті постраждалого; крім того, несправністю електричного обладнання може стати причиною загоряння та розповсюдження пожежі.

ж) виконанні операцій точіння в'зких матеріалів без спеціальних рукавиць може привести до опіків пальців рук;

з) робота без захисних окулярів або щитків для захисту обличчя можливе викликати травмування очей металевими частками або стружкою;

і) неуважність і недбалість персоналу також може привести до механічних травм, ушибів, переломів.

к) непрофесійно організований виробничий процес призводить до нервово-психічного навантаження;

л) ігноруванні короткочасними перервами протягом робочого дня , (особливо це важливо для верстатників) призводить до захворювань периферичної нервової системи: невритів, радикулітів. Крім того, для верстатників характерні деякі особливості робочої пози, які негативно впливають на стан здоров'я. Повтор однотипних рухів, які пов'язані з багаторазовим скороченням м'язів є причиною захворювання кистей рук (запалення та набрякання) та зап'ястя, набрякання та оніміння пальців. Робота на верстатах з елементами ручного керування пов'язане з тривалим перебуванням у вимушеній робочій позі, статичним навантаженням, напруженням уваги, що в свою чергу, призводить до підвищеної втоми та нервово-емоційного напруження. Тобто під час роботи людина постійно відчуває енергетичне та інформаційне напруження.

Недостатнє освітлення виробничих приміщень і робочих місць, у зв'язку з несправністю, або хибного вибору освітлювальних приладів, що призводить до погіршення зору.

Постійний рівень шуму, що перевищує нормативне значення в 80дБ призводить до роздратованості, збільшенню помилок під час аналізу креслень, в окремих випадках - до захворювань загального характеру, погіршення слуху робочих.

Температура в цеху, суттєво нижча за нормовану в осінньо-зимовий період та підвищена вологість, у зв'язку з відсутністю опалювальної системи, можуть викликати загальні захворювання, особливо у людей з низьким імунітетом.

Під час аварії або при її ліквідації, інших надзвичайних ситуацій неправильні дії персоналу призводять до паніки, травмування та, навіть, загибелі людей.

## 7.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Як свідчить аналіз потенційних небезпек та аналіз статистичних даних нещасних випадків, що пов'язано з виробництвом, основною причиною травмування є порушення організаційних вимог під час виконання виробничих обов'язків. Основним методом профілактики зазначених порушень є проведення навчання з питань охорони праці, інструктажів та стажування. Проходження навчання та контроль за його якістю організовується відповідно вимог, що зазначено в НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»[18].

Другою, із найбільш розповсюджених причин нещасних випадків на виробництві є небезпека ураження електричним струмом при використанні верстатів та приладів. Дія електричного струму на організм людини має декілька особливостей[19]:

- несподіваність ураження, яка пов'язана із відсутністю у людини органів чуття (рецепторів), за допомогою яких можна виявити напругу на відстані;
- можливість дистанційної дії, що проявляється в ураженні людини через електричну дугу, або крокову напругу;
- рефлекторна дія через центральну нервову систему, яка призводить до порушення роботи серця і легень.

Наслідки ураження електричним струмом залежать від багатьох факторів: опору організму, величини, тривалості дії, роду і частоти струму, шляхів його проходження через життєво важливі органи, умов зовнішнього середовища. [22].

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є [21]:

- забезпечення недоступності струмопровідних частин для випадкового дотику;
- застосування електроенергії з безпечними величинами напруги;
- усунення небезпеки ураження людей струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування;

- застосування індивідуальних захисних засобів від ураження електричним струмом.

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам ПУЕ («Правила устрою електроустановок»), НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок», величина опору захисного заземлення електрообладнання виробничого приміщення – 4 Ом. Оскільки опір заземлення значно менший за опір тіла людини (1000 Ом), то у випадку її дотику до пошкодженого електроустаткування найбільший за величиною струм пройде через заземлюючий пристрій. [22]

Відповідно до вимог ПУЕ в електроустаткуванні застосовують такі системи засобів: захисне заземлення ізоляції струмопровідних частин, захисне відключення, напруга (до 42 В) для переносного освітлення і роботи електроінструменту, повна недоступність працівників до неізованих проводів.

Відповідно до вимог ПУЕ обладнання має подвійну ізоляцію: робочу – електрична ізоляція струмоведучих частин електроустаткування, що забезпечує її нормативну роботу та захист від ураження електричним струмом;

- додаткову ізоляцію – для захисту від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції.

- Категорія приміщення, відповідно НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Электрообладнання специальных установок» - підвищеної небезпеки (сухе – відносної вологості не більше 60%, металевий пил в повітрі, температура до 30°C, залізобетонна підлога). [23]

Для підвищення рівня захисту від загорання при замиканні на заземні частини, коли величина струму не є достатньою для спрацювання максимального струмового захисту, рекомендовано застосування УЗО зі струмом спрацювання до 400 мА.

Для попередження механічних травм передбачено застосування пристроїв, які виключають ймовірність контакту людини з небезпечною зоною, або знижують небезпеку контакту (засоби захисту робітників). Ймовірність механічного

травмування може виникнути внаслідок захащення робочої зони під час порушення термінів виконання робіт або у зв'язку з недбалістю та неуважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму при розташуванні верстатів враховується направлення технологічного потоку та взаємозв'язки різних підрозділів цеху. Верстати розміщуються послідовно у відповідності з технологічним процесом. Ширина проїзду на дільниці становить 4.5 метрів, передбачена ширина проходів с 2-2.5метри, це забезпечує безпечне переміщення заготовок, деталей, чи обладнання під час ремонту чи реконструкції. Враховано рекомендації ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення». [23]

З метою зменшення важкої фізичної праці та запобіганню травматизму в умовах серійного виробництва передбачено механізоване переміщення вантажів, масою понад 20 кг та на відстань понад 25 м, яке відповідає вимогам ДСТУ EN 13155-2018 «Крани вантажопідіймальні. Вимоги щодо безпеки. Пристрої вантажозахоплювальні знімні». На дільниці, що проектується, передбачено застосування кран-балки, яка призначена для транспортування пристосувань, переміщення тари з партією заготовок або деталей від верстата до верстата. Кран-балка з дистанційним (за допомогою пульта) керуванням. Перевагою дистанційного керування є можливість здійснення постійного візуального контролю за переміщенням вантажу, а перебування працівника в безпечній зоні, що гарантує його особисту безпеку. Попереджувальні надписи про вантажопідйомність крана і його роботу відповідають вимогам «Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2009 р. № 1262 (Офіційний вісник України, 2009 р., № 92, ст. 3118). Також враховано, що вантажопідйомність кран-балки на 10-20% вища ніж маса вантажу, що підіймається. [24].

Обслуговування універсальних верстатів з елементами ручного керування пов'язане з тривалим перебуванням у вимушеній робочій позі, статичним навантаженням, напруженням уваги, що в свою чергу, призводить до підвищеної

втоми та нервово-емоційного напруження. Тобто під час роботи людина постійно відчуває енергетичне та інформаційне напруження.

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години, а також спеціально обладнане приміщення – кімната відпочинку.

Також обов'язковим є проходження медичного огляду один раз на два роки, а для окремих категорій робітників і один раз на рік, за рахунок роботодавця відповідно Наказ міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій».

### 7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Метеорологічні умови на ділянці: температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» і Роботи на ділянці належать до категорії Па –робота середньої важкості, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату[25]:

- у холодний період року: температура 18-20°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с;

- у теплий період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Забезпечення таких параметрів мікроклімату досягається оснащенням приміщень системою опалювання, що збалансована з припливно-витяжною вентиляцією, згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Освітлення виробничих приміщень відіграє найважливішу роль у забезпеченні збереження працездатності та здоров'я працівників, що постійно

працюють в умовах напруження органу зору. Згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення [26]. Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Норма освітленості на робочий поверхні становить 200-300 лк. Як джерела штучного освітлення в конструкторському бюро та робочих кімнатах використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛД, які встановлені у світильники типу ЛСП або ЛПО. Для забезпечення нормованого освітлення на дільниці механічного цеху застосовуються світильники типу РСП, з газорозрядними лампами типу ДРІ Лампи мають високу ефективність, економічні, надійні, строк експлуатації понад 10000-14000 годин. [27].

Розрахуємо систему загального рівномірного штучного освітлення в технологічному бюро.

Приймаємо розміри приміщення довжина  $A = 18\text{м}$ , ширина  $B = 10\text{м}$ , висота  $H = 3,5\text{ м}$ . Висота столу становить  $h = 0,8\text{м}$ .

Згідно з ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» нормоване освітлення вибираємо  $E_n = 400\text{ Лк}$ .

Розряд зорової роботи – III г.

Коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення (від: стелі –  $\rho_c$ ; стін –  $\rho_{ст}$ ; підлоги –  $\rho_{п}$ ) у світлому приміщенні  $\rho_c=70\%$ ;  $\rho_{ст}=50\%$ ;  $\rho_{п}=30\%$ ;

Коефіцієнт запасу  $k_z$  враховує зниження рівня освітленості з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення, приймається в залежності від виробничих умов. Приймаємо  $k_z = 1,4$ .

Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення  $z$  (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості), для люмінесцентних ламп низького тиску, як правило дорівнює  $z = 1,1$ .

Розрахуємо кількість рядів світильників у приміщенні [28]:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) * \left(\frac{L}{h}\right)} = \frac{10}{(3.5 - 0.8) * 1.4} = 2.65 \text{ ряда}$$

Розрахункове значення округляємо до трьох.

Визначимо максимально припустиму відстань між рядами світильників

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p} = \frac{10}{3} = 3.3 \text{ м}$$

Розраховуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h_3 = H - h_p - h = 3.5 - 0.8 - 3.3 \approx 0 \text{ м}$$

Згідно розрахунків доцільно вибрати світильник типу ЛПО, що кріпиться безпосередньо на стелі.

Чисельне значення індексу приміщення визначаємо за рівнянням:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{18 * 10}{2.7(18 + 10)} = 2.3$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку  $\eta$  вибирається в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення ( $\rho_c$ ,  $\rho_{st}$ ,  $\rho_p$ ) та індексу приміщення. [8] Враховуючи значення індексу приміщення  $i=2,3$  та те, що планується застосовувати світильник ЛПО, то згідно рекомендацій [29]  $\eta = 0.56$

Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному виробничому приміщенні:

$$\Phi = \frac{E_n * S * K_z * Z}{\pi} = \frac{400 * 180 * 1.5 * 1.15}{0.56} = 221785.7 \text{ лм}$$

де  $\Phi$  – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, лм;

$E_n$  – нормоване значення освітленості, лк;

$S$  – площа освітлюваної поверхні,  $\text{м}^2$ ;

$K_z$  – коефіцієнт запасу;

$z$  – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку

Визначаємо умовну загальну кількість світильників у приміщенні:

$$N^* = \frac{AB}{L^2_{max}} = \frac{180}{10.89} = 16.52$$

Розрахуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi^*_л = \frac{\Phi}{N^*} = \frac{221785.7}{2 * 16.52} = 6712 \text{ лм}$$

Обираємо стандартну люмінесцентну лампу з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи  $\Phi_{л}$  лампу ЛБ 80,  $\Phi_{л}=5400$  лм

Коефіцієнт  $m$  становить:

$$m = \frac{\Phi^*_л}{\Phi_{л}} = \frac{6712}{5400} = 1.2$$

Фактична кількість ламп у приміщенні:

|

$$N_p = N^* m = 16.52 * 1.24 = 20.53 \text{ шт}$$

Згідно отриманого результату, доцільно прийняти необхідну кількість світильників 21, в якому використовується по дві лампи потужністю 80Вт, розмістити їх в три ряди по 7 штук в кожному ряду.

Визначаємо загальну розрахункову освітленість  $E_p$  у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_{л} * N_{л} * \pi}{S * k_3 * z} = \frac{5400 * 42 * 0.56}{180 * 1.5 * 1.15} = 409 \text{ лк}$$

Тобто виконується умова  $E_p = (-10\% \dots +20\%) \cdot E_{н, лк}$

Розрахуємо загальну потужність освітлювальної установки:

$$P_{\varepsilon} = N_{л} * P_{л} = 42 * 80 = 3360 \text{Вт}$$

де  $P_{л}$  – потужність вибраної стандартної лампи.

Таким чином, для забезпечення в технологічному бюро нормованої освітленості в 400лк необхідно передбачити 21 світильник типу ЛПО з люмінесцентними лампами потужністю в 80Вт.

Постійну роботу верстатів супроводжує постійний рівень шуму, що перевищу нормативне значення в 80Дб. Як відомо, шум по різному впливає на нервову систему різних людей, але, найчастіше - викликає роздратованість, погіршує увагу та процес мислення, може стати причиною підвищеного стомлення робітників. Загальне самопочуття і здоров'я людини також суттєво залежить від частоти, що характеризує звук та терміну дії шуму.

Для боротьби з виробничим шумом найефективнішим є зниження його рівня у джерелі виникнення, що досягається конструктивно під час проектування верстатів. Також широко застосовуються методи звукоізоляції та звукопоглинання (стіни, загородки, перекриття з металу, товстого скла, цегли, залізобетону, які покривають пористими матеріалами, шлаковатою, пінополіуретаном, тканинами тощо) [30].

Рівні вібрації під час верстатних робіт перевищують допустимі значення, що визначені в ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» і ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 «ССБП. Вібраційна безпека. Загальні вимоги». [30].

Для зменшення негативного впливу вібрації (спазми судин, порушення кровообігу та терморегуляції, біль в суглобах, тремор кінцівок) під час роботи з ручним механічним, електричним та пневматичним інструментом застосовуються засоби індивідуального захисту ДСТУ 7239:2011 «ССБП. Засоби індивідуального

захисту. Загальні вимоги та класифікація». Колективні методи віброзахисту передбачають такі заходи:

- зменшення вібрації в джерелах її виникнення – усі деталі верстатів і агрегатів, що рухаються, ретельно урівноважені, а для зменшення динамічних сил, які створюють вібрації, деталі змашуються;
- зменшення параметрів вібрації на шляхах її поширення від джерела збудження;
- організаційно-технічні – планово-запобіжний ремонт і контроль за вібраційними параметрами;
- гігієнічні і лікувально-профілактичні.

Під час роботи в умовах загальної вібрації застосовується спеціальне взуття.

#### 7.4 Заходи з пожежної безпеки

Для ліквідації пожежі у початковій стадії її розвитку силами персоналу підприємства застосовуються первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, лом, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння. Первинні засоби пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись як окремо, так і в складі пожежних щитів. [33].

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» приміщення механічного цеху відносяться до класу можливої пожежі класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (пожежі, пов'язані горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В.) [33].

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою, який регламентується ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за

вибухопожежною та пожежною безпекою» та СНиП 2.09.02-85\* «Производственные здания» механічна дільниця відповідає категорії «Д» з пожежної безпеки – наявність незаймистих речовини і матеріали в холодному стані. [33].

Відповідно до категорії виробництва з пожежної безпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», ступінь вогнестійкості приміщення дослідницької лабораторії – II. [34]

Згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», на випадок пожежі передбачені два шляхи евакуації працівників із адміністративних приміщень та два евакуаційних виходи з механічної дільниці. Максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу, згідно п.2.29 СНиП 2.09.02-85\* «Производственные здания» становить 70 метрів.

Згідно вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677 приміщення (лабораторія) оснащено переносними вуглекислотними вогнегасниками ВВК-3 з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м<sup>2</sup> площі приміщення з урахуванням гранично допустимих концентрацій вогнегасної рідини. Доцільність використання даного вогнегасника пояснюються його властивостями. Вогнегасник призначений для гасіння загорання різних речовин, горіння яких не може відбуватися без доступу повітря, загорання електроустановок, що знаходяться під напругою, загорання в приміщеннях при наявності оргтехніки. Головною особливістю вуглекислотний вогнегасників є відсутність слідів гасіння так як вуглекислота після використання не залишає слідів і бруду. [34]

Для механічних цехів та адміністративних приміщень передбачено використання сповіщувачів пожежі, приміщення буде обладнане адресованим автоматичним сповіщувачем ДПП-1, який буде реагувати на дим. Своєчасне виявлення ознак займання й виклик пожежних підрозділів дає змогу швидко локалізувати осередки пожежі та вжити заходи щодо її ліквідації, а отже, створює

можливість суттєво зменшити обсяги заподіяної шкоди. Адресований сповіщувач постійно або періодично активно формує сигнал про стан пожежонебезпечності у захищуваному приміщенні та про власну працездатність із зазначенням свого номера (адреси). Автоматичні пожежні сповіщувачі реагують на фактори, що супроводжують пожежу: підвищення температури, дим, полум'я. [34]

Враховуючи пожежну небезпеку в приміщеннях та на ділянці також передбачено систему автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники типу ВВК-3).

### 7.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Єдина державна система цивільного захисту - це сукупність органів управління, сил і засобів центральних та місцевих органів виконавчої влади, виконавчих органів рад, підприємств, установ та організацій, які забезпечують реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту. [34]

Вона включає в себе центральні та місцеві органи виконавчої влади, виконавчі органи рад, державні підприємства, установи та організації з відповідними силами і засобами, які здійснюють нагляд за забезпеченням техногенної та природної безпеки, організовують проведення роботи із запобігання надзвичайній ситуації (НС) техногенного та природного походження і реагування у разі їх виникнення з метою захисту населення і довкілля, зменшення матеріальних втрат. [34]

Забезпечення реалізації державної політики у сфері цивільного захисту здійснюється єдиною державною системою цивільного захисту, яка складається з функціональних і територіальних підсистем та їх ланок.

Положення про єдину державну систему цивільного захисту, типові положення про функціональні і територіальні підсистеми затверджені Постановою Кабінетом Міністрів України від 9 січня 2014 р. № 11.

Основними завданнями єдиної державної системи цивільного захисту є:

- забезпечення готовності міністерств та інших центральних та місцевих

органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, підпорядкованих їм сил і засобів до дій, спрямованих на запобігання і реагування на надзвичайні ситуації;

- забезпечення реалізації заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій;

- навчання населення щодо поведінки та дій у разі виникнення надзвичайної ситуації;

- виконання державних цільових програм, спрямованих на запобігання надзвичайним ситуаціям, забезпечення сталого функціонування підприємств, установ та організацій, зменшення можливих матеріальних втрат;

- опрацювання інформації про надзвичайні ситуації, видання інформаційних матеріалів з питань захисту населення і територій від наслідків надзвичайних ситуацій;

- прогнозування і оцінка соціально-економічних наслідків надзвичайних ситуацій, визначення на основі прогнозу потреби в силах, засобах, матеріальних та фінансових ресурсах;

- створення, раціональне збереження і використання резерву матеріальних та фінансових ресурсів, необхідних для запобігання і реагування на надзвичайні ситуації;

- оповіщення населення про загрозу та виникнення надзвичайних ситуацій, своєчасне та достовірне інформування про фактичну обстановку і вжиті заходи;

- захист населення у разі виникнення надзвичайних ситуацій;

- проведення рятувальних та інших невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, організація життєзабезпечення постраждалого населення;

- пом'якшення можливих наслідків надзвичайних ситуацій у разі їх виникнення;

- здійснення заходів щодо соціального захисту постраждалого населення;

- реалізація визначених законом прав у сфері захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій, в тому числі осіб (чи їх сімей), що брали

безпосередню участь у ліквідації цих ситуацій;

- інші завдання, визначені законом.

Залежно від масштабів і особливостей НС, що прогнозується або виникла, може існувати один з таких режимів функціонування:

- режим повсякденної діяльності - при нормальній виробничо-промисловій, радіаційній, хімічній, біологічній (бактеріологічній), сейсмічній, гідрогеологічній і гідрометеорологічній обстановці;

- режим підвищеної готовності - при істотному погіршенні виробничо-промислової, радіаційної, хімічної, біологічної, сейсмічної, гідрогеологічної і гідрометеорологічної обстановки (з одержанням прогнозової інформації щодо можливості виникнення надзвичайної ситуації);

- режим діяльності у надзвичайній ситуації - при реальній загрозі виникнення НС і реагування на них;

- режим діяльності у надзвичайному стані - запроваджується в Україні або на окремих її територіях у порядку, визначеному Конституцією України та Законом України «Про надзвичайний стан».

Положенням про єдину державну систему цивільного захисту визначається перелік заходів, що здійснюються у відповідному режимі, завдання та порядок взаємодії суб'єктів забезпечення цивільного захисту під час функціонування зазначеної системи у відповідному режимі.

В особливий період єдина державна система цивільного захисту функціонує відповідно до цього Кодексу та з урахуванням особливостей, що визначаються згідно з вимогами законів України «Про правовий режим воєнного стану» [15].

Таким чином, необхідність вирішення питань безпеки зумовлює формування цілісної системи знань з охорони праці, необхідних для прийняття за будь-яких умов обґрунтованих рішень щодо безпеки на рівні людини, колективу, підприємства, галузі, регіону й суспільства в цілому. Дотримання вимог нормативно-правових актів, виконання організаційних та технічних заходів безпеки, дотримання технологічної та трудової дисципліни дасть можливість запобігти виробничому травматизму та виникненню професійних захворювань.

## ВИСНОВОК

Детально розроблений технологічний процес виготовлення гільзи. Обрано і економічно обґрунтований метод отримання заготовки. Призначено припуски на заготовку. Режими різання і технічні норми часу призначені і визначені за рекомендаціями нормативних документів авіаційної промисловості. Розроблено розрахунково-технологічні карти обробки деталей на верстатах з ЧПУ.

Технологічний процес розроблений з урахуванням вимог охорони праці та стійкості до надзвичайних ситуацій. Спроектвані верстатні пристосування дозволяють швидко і надійно закріплювати заготовку під час обробки, що в умовах великосерійного виробництва дуже важливо.

Виконано спеціальне завдання на тему використання координатно-вимірювальних машин.

У частині з охорони праці приведена повна характеристика ділянки механічної обробки деталей з точки зору безпеки проведення робіт, наведені методика дій при виникненні надзвичайних ситуацій.

Складено альбом технологічної документації на виготовлення гільзи.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. <http://www.lasmet.ru/steel/mark.php?s=100>
2. <https://markmet.ru/encyclopedia/13x11n2v2mf>
3. Маталин А.А. и др. Проектирование технологических процессов обработки деталей на станках с числовым программным управлением.-Л., 1977г.
4. Стандарты предприятия: Система качества, Положения о цехе основного производства ОАО “Мотор Сич”, 1998. –45с.
5. Должностная инструкция. СТП 549.00.200.1 – 2004 г.
6. Горохов В.А. «Проектирование и расчет приспособлений»: Учебное пособие для студентов вузов. – Минск: «Вышэйшая школа», 1986г. – 237с.
7. Иванов И.И. «Детали машин» Учебник для вузов. – 2-е издание. – М.: Машиностроение 1983г. – 277с.
8. Методичні вказівки до практичних занять з дисциплін “ Технологія машинобудування» (розділ проектування зубообробних операцій) для студентів спеціальностей: 8.090202, 8.090203, 7.090260, усіх форм навчання./Укл. В.Д. Хорошков.-Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. - 93 с.
9. Обработка металлов резанием: Справочник технолога/ А.А. Гаков., В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Гакова.- М.: Машиностроение.1988.-736 с., ил.
10. Стружестрах Е.И. Справочник нормировщика.М.: Машиностроение,1961.-Т.2.- 890 с.
11. В.А. Богуслаев, В.А. Лиховицер, А.С.Смирнов. Станочные приспособления, монография., – г. Запорожье , изд. ОАО «Мотор Сич». 2000 г.,461 с.
12. Справочник инструментальщика/ И.А. Ординарцев, Г.В. Филипов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.: ил.

13. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник/ Я. Л. Гуревич, М. В. Горохов, В. И. Захаров 2 – е изд. Перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. - 240 с.

14. [https://studref.com/318100/tehnika/avtomatizatsiya\\_proizvodstvennyh\\_prot\\_sessov\\_v\\_mashinostroenii](https://studref.com/318100/tehnika/avtomatizatsiya_proizvodstvennyh_prot_sessov_v_mashinostroenii)

15. Каменев, С.В. Основы автоматизированных координатных измерений : учебное пособие для обучающихся по образоват. программам высш. образования по направлениям подготовки 15.03.05, 15.04.05 Конструкторско-технолог. обеспечение машиностроит. производств, 15.03.06 Мехатроника и робототехника и 15.03.04 Автоматизация технолог. процессов и производств / К.В. Марусич; Оренбургский гос. ун-т; С.В. Каменев .— Оренбург : ОГУ, 2017 .— 120 с.

16. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології машинобудування для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування» (8.090202) та «Технологія будування авіаційних двигунів» (7.090260) усіх форм навчання. / Склали: Яценко В.К., Ципак В.І., Коренєвський Є.Я., Хорошков В.Д., Кононов В.В., Смирнов О.С., Сахно О.Г., Зінкевич К.В., Гончар Н.В. Пухальська Г.В., Алексеєнко О.В., Каліуш В.І., Савчук Н.О. – Запоріжжя, ЗНТУ, 2003. 245с.

17. <https://krm.gov.ua/posadovi-oklady-taryfni-stavky-pratsivnykiv-byudzhetnoyi-sfery-za-yedynoyu-taryfnoyu-sitkoyu-na-2021-rik-ta-doderzhannya-derzhavnyh-garantij-v-oplati-pratsi-2/>

18. <https://index.minfin.com.ua/tariff/electric/>

19. НПАОП 0.00-4.12-05.Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. [На заміну ДНАОП 0.00-4.12-99, ДНАОП 0.00-8.01-93]. К. : Держнагляд охорони праці, 2005. 26с.- (Нормативно-правовий акт охорони праці)

20. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 376 с.

21. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21]. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

22. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення [Текст] : ДБН В.2.2-28:2010. – На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний від 2011-10-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 31 с. – (Державні будівельні норми).

23. Технічний регламент знаків безпеки і захисту здоров'я працівників, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2009 р. № 1262 (Офіційний вісник України, 2009 р., № 92, ст. 3118).

24. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс]:– Чинний від 1999-12-01. К. : МОЗ України, 1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>

25. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с.

26. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі»: для студентів усіх спеціальностей та форм навчання /Укл. : В.І. Шмирко, О.В. Коробко, Ю.І. Троян. – Запоріжжя: каф. ОПіНС. НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 36с., 3 рис., 12 табл.

27. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с. + 1 зл. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-617-07-0134-3

28. ДСН 3.3.6.039-99Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації, [Електронний ресурс] Чинний від 1999-12-01. К. : МОЗ України, 1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>

29. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Державні будівельні норми)

30. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Державний Стандарт України)

31. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT) [Текст] : ДСТУ EN 2:2014. – На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016 / Мінекономрозвитку України, 2014. – 7 с. (Державний Стандарт України)

32. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. К. : МВС України, 2018. 23 с. (Правила)

33. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. Редакція від: 01.01.2018. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

## ДОДАТОК А Специфікація робочого пристосування

| Період, приміт. |              | Формат    | Зона           | Лист  | Обозначение        | Наименование                            | Кол.   | Примечание |        |
|-----------------|--------------|-----------|----------------|-------|--------------------|-----------------------------------------|--------|------------|--------|
|                 |              |           |                |       |                    |                                         |        |            |        |
| Стор. №         | A1           |           |                |       |                    | Документація                            |        |            |        |
|                 |              |           |                |       |                    | Складальне креслення                    |        |            |        |
|                 |              |           |                |       |                    | Деталі                                  |        |            |        |
|                 |              |           |                |       |                    |                                         |        |            |        |
|                 |              |           |                |       |                    |                                         |        |            |        |
|                 |              |           |                |       |                    |                                         |        |            |        |
|                 |              |           |                | 1     |                    | Поршень                                 |        |            |        |
|                 |              |           |                | 2     |                    | Циліндр                                 |        |            |        |
|                 |              |           |                | 3     |                    | Труба                                   |        |            |        |
|                 |              |           |                | 4     |                    | Подаюча труба                           |        |            |        |
|                 |              |           |                | 5     |                    | Подаюча цанга                           |        |            |        |
|                 |              |           |                | 6     |                    | Корпус                                  |        |            |        |
|                 |              |           |                | 7     |                    | Стопор                                  |        |            |        |
|                 |              |           |                | 8     |                    | Рухома цанга                            |        |            |        |
|                 |              |           |                | 9     |                    | Змінна цанга                            |        |            |        |
|                 |              |           |                | 10    |                    | Змінний вкладиш                         |        |            |        |
|                 | Підп. і дата |           |                |       | 11                 |                                         | Патрон |            |        |
|                 |              |           |                |       | 12                 |                                         | Втулка |            |        |
|                 |              |           |                | 13    |                    | Тяга                                    |        |            |        |
|                 |              |           |                | 14    |                    | Циліндр                                 |        |            |        |
|                 |              |           |                | 15    |                    | Кронштейн                               |        |            |        |
|                 |              |           |                | 16    |                    | Повзун                                  |        |            |        |
|                 |              |           |                | 17    |                    | Підшипник                               |        |            |        |
|                 |              |           |                | 18    |                    | Кульце                                  |        |            |        |
|                 |              |           |                |       |                    |                                         |        |            |        |
|                 |              |           |                |       |                    |                                         |        |            |        |
|                 |              |           |                |       |                    |                                         |        |            |        |
|                 |              |           |                |       |                    |                                         |        |            |        |
|                 |              |           |                |       |                    |                                         |        |            |        |
|                 |              |           |                |       |                    |                                         |        |            |        |
|                 |              |           |                |       |                    |                                         |        |            |        |
| Інд. № подл.    |              | Ізм./Лист | № докум.       | Підп. | Дата               | НУЗП 292232.001                         |        |            |        |
|                 |              | Розроб.   | Аллімпієв К.Л. |       |                    |                                         |        |            |        |
|                 |              | Проб.     | Кондратюк Е.В. |       |                    | Пристрій подавання та затиснення прутка | Лист   | Лист       | Листов |
|                 | Н.контр.     | Дядя С.І. |                |       |                    |                                         | 1      | 2          |        |
| Чтв.            | Дядя С.І.    |           |                |       | НУЗП<br>гр.Мз-110м |                                         |        |            |        |

Копіювати

Формат А4

## ДОДАТОК Б Специфікація контрольного пристосування

[illegible]