

**Національний технічний університет України  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені Ігоря Сікорського»  
НАВЧАЛЬНО - НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-  
МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ  
Кафедра технології машинобудування**

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_ Олександр Охріменко \_\_\_\_\_

(підпис) (власне ім'я, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проєкт  
на здобуття ступеня бакалавра  
за освітньо-професійною програмою  
«Технології машинобудування»  
зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»**

на тему: Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі  
“Фланець”

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-02

\_\_\_\_ Ковбаса Віталій Ігорович \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник Приходько Василь Петрович, к.т.н., доцент \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Ковальов Віктор Андрійович к.т.н., доцент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проєкті немає запозичень з  
праць інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені Ігоря Сікорського»  
НАВЧАЛЬНО - НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-  
МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма - «Технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр Охріменко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

гр. МТ-02 Ковбасі Віталію Ігоровичу

1. Тема дипломного проєкту: «Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі “Фланець”»

Керівник проєкту: Приходько Василь Петрович, к.т.н., доцент ,

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

затверджені наказом по університету від «27» травня 2024р. № 2115 -с

2. Термін подання студентом дипломного проєкту «10» червня 2024р.

3. Вихідні дані до проєкту Креслення деталі, та технічні вимоги на її виготовлення. Тип виробництва – серійне.

4. Зміст пояснювальної записки: Загальні питання машинобудування – Підвищення якості посадки деталей «труба-отвір» на основі результатів статичного аналізу точності розмірів, отриманих в умовах виробництва. Технологічний розділ – вибір методу отримання заготовки, технологічних *f*

схем базування, розроблення та представлення операційного ТП виготовлення деталі, розрахунок припусків ( для 2х- поверхонь), режимів різання для (2-х переходів), норм часу. Конструкторський розділ - проектування, опис і силовий розрахунок пристроїв.

5. Перелік графічного матеріалу ( із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Кресленики деталі та заготовки - 1Аркуш; графічне представлення елементів ТП 2-3 аркуші; конструкції 2-х верстатних пристроїв 2 аркуші; статичний аналіз точності з'днувальних деталей та посадки 2 аркуші; Усього 6-7 аркушів ф. А1.

Дата видачі завдання: квітень, травень 2024р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проєкту                  | Термін виконання етапів дипломного проєкту | Примітка |
|-------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------|
| 1     | Статистичний аналіз точності посадки                       | 13 травня 2024                             |          |
| 2     | Вибір методу отримання заготовки                           | 14 травня                                  |          |
| 3     | Вибір технологічних баз і схем базування                   | 15 травня                                  |          |
| 4     | Розроблення та представлення ТП                            | 22 травня                                  |          |
| 5     | Розрахунки припусків, режимів різання, норм часу           | 26 травня                                  |          |
| 6     | Проектування і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв | 5 червня                                   |          |
| 7     | Оформлення і подання до захисту                            | 10 червня                                  |          |
|       |                                                            |                                            |          |

Студент

Керівник проєкту

Віталій КОВБАСА

Василь ПРИХОДЬКО

# ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

| № з/п    | Формат              | Позначення        |       |      | Найменування                 | Кількість листів                                           | Примітка |
|----------|---------------------|-------------------|-------|------|------------------------------|------------------------------------------------------------|----------|
| 1        | A4                  |                   |       |      | Завдання на дипломний проєкт | 2                                                          |          |
| 2        | A4                  | ДП МТ02.06.000.ПЗ |       |      | Пояснювальна записка         | 73                                                         |          |
| 3        | A1                  | ДП МТ02.06.001.   |       |      |                              | 1                                                          |          |
| 4        | A1                  | ДП МТ02.06.002.   |       |      |                              | 1                                                          |          |
| 5        | A1                  | ДП МТ02.06.003    |       |      |                              | 1                                                          |          |
| 6        | A1                  | ДП МТ02.06.004.   |       |      |                              | 1                                                          |          |
| 7        | A1                  | ДП МТ02.06.005.   |       |      |                              | 1                                                          |          |
| 8        | A1                  | ДП МТ02.06.006.   |       |      |                              | 1                                                          | Плакат   |
| 9        | A1                  | ДП МТ02.06.007.   |       |      |                              | 1                                                          | Плакат   |
|          |                     |                   |       |      |                              |                                                            |          |
|          |                     |                   |       |      |                              |                                                            |          |
|          |                     |                   |       |      |                              |                                                            |          |
|          |                     |                   |       |      |                              |                                                            |          |
|          |                     |                   |       |      |                              |                                                            |          |
|          |                     |                   |       |      |                              |                                                            |          |
|          |                     |                   |       |      |                              |                                                            |          |
|          |                     |                   |       |      |                              |                                                            |          |
|          |                     |                   |       |      |                              |                                                            |          |
|          |                     |                   |       |      |                              |                                                            |          |
|          |                     |                   |       |      |                              |                                                            |          |
|          |                     |                   |       |      |                              |                                                            |          |
|          |                     |                   |       |      | ДП МТ02.06.000               |                                                            |          |
|          |                     | ПІБ               | Підп. | Дата |                              |                                                            |          |
| Розробн. | Ковбаса В.І.        |                   |       |      | Відомість дипломного проєкту | Лист                                                       | Листів   |
| Керівн.  | Приходько В.П.      |                   |       |      |                              | 1                                                          | 1        |
| Н/контр. |                     |                   |       |      |                              | КПІ ім. Ігоря Сікорського<br>ММІ<br>Каф. ТМ<br>Група МТ-02 |          |
| Зав.каф. | Охріменко Олександр |                   |       |      |                              |                                                            |          |
|          |                     |                   |       |      |                              |                                                            |          |

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до дипломного проекту ступеня бакалавра на тему «Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі «Фланець»» складається з 73 аркушів формату А4, містить в собі 59 ілюстрацій, 23 таблиці, а також, маршрутні, операційні карти та карти ескізів.

При написанні дипломного проекту було використано 18 літературних джерела, серед яких методичні вказівки та технічна література. Графічна частина складається з 7 аркушів А1: кресленник деталі, заготовка, карти схем оброблення на операціях 005,010, складальні кресленики верстатних пристроїв для багатоцільових операцій, плакати.

У дипломному проєкті виконано:

- Аналіз та оцінку забезпечення посадки у з'єднанні «труба-отвір»
- Проаналізовано конструкцію деталі на технологічність.
- Обґрунтовано та вибрано схеми базування по ЗТБ і ТБ.
- Розроблений операційний технологічний процес.
- Визначені припуски на механічну обробку поверхонь заготовки.
- Розраховані режими різання для різних переходів.
- Розрахований штучно-калькуляційний час на оброблення деталі.
- Розроблені верстатні пристрої для оброблення деталі на 2-х операціях (005,010) .
- Розраховані похибки установки заготовки в пристроях.
- Виконано розрахунки необхідних сил затиску заготовки та затискних систем верстатних пристроїв, на основі яких, прийнято відповідні рішення щодо конструктивних елементів пристроїв.

Бібліографічний опис:

Ковбаса В.І. Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі «Фланець»: дипломний проєкт за напрямом 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології машинобудування» / Ковбаса Віталій Ігорович. – Київ, 2024. – 73 с.

## **ЗМІСТ**

|                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>АНОТАЦІЯ</b>                                                                                            | <b>5</b>  |
| <b>1. АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОСАДКИ У З'ЄДНАННІ «ТРУБА-ОТВІР ФЛАНЦЮ»</b>                           | <b>10</b> |
| 1.1. Вихідні дані та завдання:                                                                             | 10        |
| 1.1.1. Розмірні параметри конструкторського розміру                                                        | 10        |
| 1.1.2. Завдання, що повинні бути вирішені у процесі дослідження                                            | 11        |
| 1.2. Оцінка точності розмірів, одержаних вимірюванням заготовок                                            | 12        |
| 1.2.1. Перевірка закону розподілу розмірів та розрахунок його основних параметрів                          | 12        |
| 1.3. Статистичний аналіз результатів, отриманих при вимірюванні деталей                                    | 13        |
| 1.4. Вирівнювання кривої розподілення по гіпотетичному теоретичному закону розподілення                    | 16        |
| 1.5. Порівняння емпіричних та теоретичних функцій розподілення по критерію Пірсона                         | 19        |
| 1.6. Статистична оцінка забезпечення посадки                                                               | 20        |
| <b>2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</b>                                                                             | <b>25</b> |
| 2.1. Аналіз службового призначення та умов роботи деталі в вузлі                                           | 25        |
| 2.1.1 Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація                                         | 25        |
| 2.1.2 Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі                                            | 25        |
| 2.1.3 Аналіз вибору конструкційного матеріалу                                                              | 26        |
| 2.2. Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготування виробництва | 26        |
| 2.3. Короткий аналіз технологічності конструкції деталі                                                    | 28        |
| 2.3.1 Якісна оцінка технологічності конструкції                                                            | 29        |
| 2.3.2 Кількісна оцінка технологічності деталі                                                              | 29        |

|                                                                                                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4. Проектування конструкції заготовки                                                                                                    | 31        |
| 2.4.1 Визначення виду та способу виготовлення заготовки                                                                                    | 31        |
| 2.4.2 Проектування конструкції заготовки у відповідності до стандартів                                                                     | 33        |
| 2.5. Обґрунтування вибору баз для технологічного процесу виготовлення деталі                                                               | 33        |
| 2.5.1 Обґрунтування вибору загальних технологічних баз                                                                                     | 33        |
| 2.5.2 Обґрунтування вибору технологічних баз для перших технологічних операцій                                                             | 35        |
| 2.6. Проектування типових послідовностей оброблення поверхонь для перших технологічних операцій                                            | 36        |
| 2.7. Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі                                                                  | 37        |
| 2.8. Короткий опис вибору верстатного обладнання                                                                                           | 43        |
| 2.9. Визначення припусків для технологічних переходів оброблення поверхонь заготовки                                                       | 44        |
| 2.9.1 Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом                                                                                | 44        |
| 2.9.2 Визначення припусків аналоговим методом                                                                                              | 47        |
| 2.10. Визначення режимів різання                                                                                                           | 47        |
| 2.10.1 Визначення режимів різання розрахунково - аналітичним методом для операції 010 Багатоцільова з ЧПК розміру $\varnothing 45^{+0,25}$ | 47        |
| 2.10.2 Визначення режимів різання аналоговими методами                                                                                     | 53        |
| 2.11. Нормування технологічних операцій                                                                                                    | 59        |
| 2.11.1 Розрахунок штучного часу для операції                                                                                               | 59        |
| 2.11.2 Нормування аналоговими методами                                                                                                     | 61        |
| <b>3. ПРОЄКТУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ</b>                                                                                                | <b>62</b> |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. Розроблення і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв            | 62 |
| 3.1.1 Вихідні дані для розроблення конструкцій верстатних пристроїв       | 62 |
| 3.1.2 Послідовність розроблення конструкції пристрою                      | 63 |
| 3.2. Теоретичні та методологічні основи проектування верстатних пристроїв | 64 |
| 3.2.1 Розрахунок похибок базування                                        | 64 |
| 3.2.2 Визначення похибок закріплення верстатного пристрою                 | 64 |
| 3.3. Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв                     | 65 |
| 3.3.1 Розрахунок необхідної сили затиску заготовки $Q$                    | 65 |
| <b>ВИСНОВКИ</b>                                                           | 71 |
| <b>ЛІТЕРАТУРА</b>                                                         | 72 |
| <b>ДОДАТКИ</b>                                                            |    |
| <b>ТЕЗИ</b>                                                               |    |

## **ВСТУП**

Дипломний проект включає розробку процесу виготовлення деталі «Фланець», а також статистичний аналіз точності посадки.

В ході виконання дипломного проекту було поставлено та вирішувались задачі, які охоплюють методи отримання заготовки, розробка технологічного процесу, вибір обладнання для виготовлення деталі «Фланець» та підбір інструментів для обробки деталі. Розраховувались припуски, режими різання та норми часу.

Також виконувалось розроблення та розрахунок верстатних пристроїв на технологічні операції.

У пояснювальній записці відображено результати вирішення задач розробки статистичного аналізу технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець» і розрахунки затискних систем верстатних пристроїв.

## **1. АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОСАДКИ У З'ЄДНАННІ «ТРУБА-ОТВІР ФЛАНЦЮ»**

На основі результатів вимірювання партії заготовок в умовах виробництва та статистичного аналізу точності необхідно знайти варіант складання, що забезпечить задану точність посадки.

### **1.1. Вихідні дані та завдання:**

Проблема на виробництві – нестабільність процесу складання та необхідність, в окремих випадках індивідуального підбору пар з'єднуваних деталей (приблизно 15-20%).

Мета дослідження: провести статистичний аналіз точності розмірів з'єднуваних поверхонь деталей, визначити забезпечуваний характер посадок, розрахувати величини можливих натягів та зазорів, оцінити їх та запропонувати шляхи підвищення точності посадок і стабільності процесу складання.

Для виконання статистичного аналізу точності в умовах виробництва були проведені вимірювання діаметрів поверхонь, що утворюють посадку: отворів  $D_i$  і зовнішніх циліндричних поверхонь (валів)  $d_i$ . В результаті вимірювань були отримані 2 вибірки розмірів  $N=80$  деталей в кожній, на основі яких були визначені їх статистичні параметри:  $\bar{X}_i, S_i, \omega_i$ .

#### **1.1.1. Розмірні параметри конструкторського розміру**

$A_i$  номінальний розмір поверхні, точність якої необхідно забезпечити при складанні:

$$A_i = 35 \text{ мм.}$$

$$TA_i = 0,41 \text{ мм.}$$

$$ESA_i = +0,24 \text{ мм}$$

$$EIA_i = -0,17 \text{ мм.}$$

де  $TA_i$  - допуск КР;  $ESA_i$  - верхнє відхилення;  $EIA_i$  - нижнє відхилення;

### 1.1.2. Завдання, що повинні бути вирішені у процесі дослідження

Завданням нашого дослідження є оцінка якості посадки у з'єднанні «труба»-«отвір». Виходячи із спостережень за процесом складання вузла, можна зробити попередні висновки щодо характеру посадки.

Основні висновки такі:

1. Посадка має невисоку точність розмірів.
2. При складанні (з'єднанні) деталей «труба» і «отвір» характер посадки змінюється в широкому діапазоні, утворюються посадки як із зазором, так і з натягом.
3. Внаслідок такої зміни характеру посадок робітник змушений в окремих випадках міняти з'єднувані деталі для зменшення зазорів і натягів. Це може призвести до нестабільності процесу складання, зниження продуктивності і якості посадок.

Для досягнення зазначеної мети в умовах виробництва були проведені вимірювання розмірів «труби» і «отвору». В результаті було отримано 2 вибірки розмірів по 80 вимірювань в кожній. Щоб забезпечити однорідність результатів вимірювань, їх проводили протягом однієї зміни із випадковим вибором деталі з партії, що поступила на складання.

Отже, кількість деталей у кожній вибірці, а відповідно і кількість значень конструкторських розмірів  $A_i$ , одержаних в результаті вимірювання партії заготовок, становить  $N=80$  шт. для кожного виду.

На основі результатів вимірювань необхідно:

- Виконати статистичну оцінку точності розмірів деталей, що утворюють з'єднання «труба»-«отвір», що отримані при вимірюванні партії заготовок та визначити можливість забезпечення заданої точності при складанні

- При незадовільній точності посадки запропонувати шляхи її поліпшення для забезпечення заданої точності та підвищення продуктивності і стабільності процесу складання вузла.

## **1.2. Оцінка точності розмірів, одержаних при вимірюванні заготовок [1].**

Оцінка точності розмірів, що входять у 2 вибірки, можливість їх аналізу базується на знанні законів розподілення розмірів у зв'язку з чим перед проведенням аналізу та оцінки якості посадки необхідно визначити закон розподілення розмірів та розрахувати його параметри.

### **1.2.1. Перевірка закону розподілу розмірів та розрахунок його основних параметрів**

Подальший план дій першого етапу досліджень базувався на стандартизованій та загальноприйнятій методиці статистичного аналізу точності розмірів. Вона передбачає:

- 1) виконання розрахунків необхідних для побудови гістограми та вирівняної кривої, на основі чого буде виконана попередня оцінка про відповідність розсіювання розмірів у вибірках нормальному закону (Гауса);

- 2) після висунення такої гіпотези буде проведена її перевірка на основі розрахунку критерії Пірсона. У випадку підтвердження гіпотези щодо нормального закону розподілення на другому етапі дослідження будуть проведені розрахунки полів розсіювання, натягів, зазорів для аналізу та оцінки якості посадки.

Отже, виконуємо практичну оцінку законів розподілу розмірів у вибірці у наступній послідовності:

- Розрахунок параметрів та побудова гістограми та емпіричної кривої розподілення розмірів.
- Вирівнювання емпіричної кривої розподілу по прийнятому теоретичному закону.
- За видом побудованих кривих висувається гіпотеза щодо закону розподілу (орієнтовано закону Гауса) випадкових величин (розмірів).

- Перевірка гіпотези щодо підпорядкування розподілення розмірів у вибірках закону нормального розподілення (Гауса). Розрахунок і перевірка виконання критерію Пірсона.
- Розрахунок параметрів емпіричного розподілу ( $\bar{X}_i, S^2$ ).

### 1.3. Статистичний аналіз результатів, отриманих при вимірювання деталей [2].

**Таблиця 1.1.** Результати вимірювань розмірів деталей (Експериментальні дані)

| № П/П | Результати вимірювань,мм | № П/П | Результати вимірювань,мм |
|-------|--------------------------|-------|--------------------------|
| 1     | 35,12                    | 41    | 35,1                     |
| 2     | 34,96                    | 42    | 35                       |
| 3     | 35,1                     | 43    | 35,15                    |
| 4     | 35,13                    | 44    | 34,96                    |
| 5     | 35,16                    | 45    | 34,96                    |
| 6     | 34,96                    | 46    | 35,12                    |
| 7     | 34,94                    | 47    | 35,08                    |
| 8     | 35,01                    | 48    | 35,14                    |
| 9     | 34,98                    | 49    | 35,04                    |
| 10    | 35,07                    | 50    | 35                       |
| 11    | 35,1                     | 51    | 35,14                    |
| 12    | 35,03                    | 52    | 35,06                    |
| 13    | 34,98                    | 53    | 35,1                     |
| 14    | 34,95                    | 54    | 34,99                    |
| 15    | 35,06                    | 55    | 35,08                    |
| 16    | 35,12                    | 56    | 34,92                    |
| 17    | 34,99                    | 57    | 34,97                    |
| 18    | 35,05                    | 58    | 35,09                    |
| 19    | 35,03                    | 59    | 34,92                    |
| 20    | 35,18                    | 60    | 35,02                    |
| 21    | 35,01                    | 61    | 34,93                    |
| 22    | 35,12                    | 62    | 35,1                     |
| 23    | 35,06                    | 63    | 35,12                    |
| 24    | 34,95                    | 64    | 35,03                    |
| 25    | 34,99                    | 65    | 34,96                    |
| 26    | 35,03                    | 66    | 35                       |
| 27    | 35,1                     | 67    | 35,06                    |
| 28    | 35,06                    | 68    | 35,02                    |
| 29    | 34,96                    | 69    | 34,97                    |
| 30    | 34,98                    | 70    | 35                       |
| 31    | 35,14                    | 71    | 35,12                    |
| 32    | 35                       | 72    | 34,95                    |
| 33    | 35,06                    | 73    | 35,02                    |

|    |       |    |       |
|----|-------|----|-------|
| 34 | 35,01 | 74 | 35,04 |
| 35 | 35,03 | 75 | 34,96 |
| 36 | 35,11 | 76 | 35,12 |
| 37 | 35,16 | 77 | 35,12 |
| 38 | 35,02 | 78 | 35,01 |
| 39 | 34,95 | 79 | 35    |
| 40 | 34,97 | 80 | 34,95 |

- На основі отриманих даних (таблиця 1.1) визначимо зону розсіювання результатів, як різницю між найбільшим  $x_{max}$  та найменшим  $x_{min}$  значенням випадкової величини- виміряних розмірів:

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (1.1)$$

$$R = 35,18 - 34,92 = 26\text{мкм};$$

- Визначимо кількість інтервалів  $k$  для об'єму виборки  $N < 100$ :

$$k = 1 + 1.44 \ln N \quad (1.2)$$

$$k = 1 + 1.44 \ln 80 = 7,31 \approx 7$$

- Визначимо ширину інтервалу:

$$h = R/k \quad (1.3)$$

$$h = 26/7 = 3,7 \approx 4\text{мкм}$$

- Перевіряємо виконання умови компенсування похибки вимірювань:

$$h \geq bc$$

$$4 \geq 0,02 \quad (1.4)$$

де  $c$  - ціна поділки вимірювального пристрою;

$b = 1 \dots 2$  - поправочний коефіцієнт.

- За отриманими результатами вимірювань, представлених у вибірці, визначаємо інтервали розмірів та значення середини кожного з них, а також підраховуємо кількість значень розмірів, що входять у  $i$ -й інтервал,

тобто частоту  $m_i$  та відношення цього числа до загальної кількості результатів у вибірці ( $N$ ) - частку  $p_i = m_i/N$  (таблиця 1.2).

**Таблиця 1.2** - Групування результатів дослідження

| №    | Інтервал, мкм |    | Середина інтервала $x_i$ , мкм | Частота $m_i$ | Частка $p_i$ |
|------|---------------|----|--------------------------------|---------------|--------------|
|      | Від           | до |                                |               |              |
| 1    | 0             | 4  | 2                              | 9             | 0,11         |
| 2    | 4             | 8  | 6                              | 12            | 0,15         |
| 3    | 8             | 12 | 10                             | 13            | 0,16         |
| 4    | 16            | 20 | 18                             | 16            | 0,2          |
| 5    | 20            | 24 | 22                             | 14            | 0,18         |
| 6    | 24            | 28 | 26                             | 8             | 0,1          |
| 7    | 28            | 32 | 30                             | 8             | 0,1          |
| Сума |               |    |                                | 80            | 1,0          |

- Розраховуємо оцінки параметрів розподілення даних дослідження:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^k x_i m_i / N \quad (1.5)$$

$$\bar{x} = 1264/80 = 15,8_{\text{мкм}}$$

$$s^2 = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 m_i / N \quad (1.6)$$

$$s^2 = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 m_i / N = 6364,8/80 = 79,56_{\text{мкм}^2}$$

$$S = \sqrt{s^2} \quad (1.7)$$

$$S = \sqrt{s^2} = \sqrt{79,56} = 8,92_{\text{мкм}}.$$

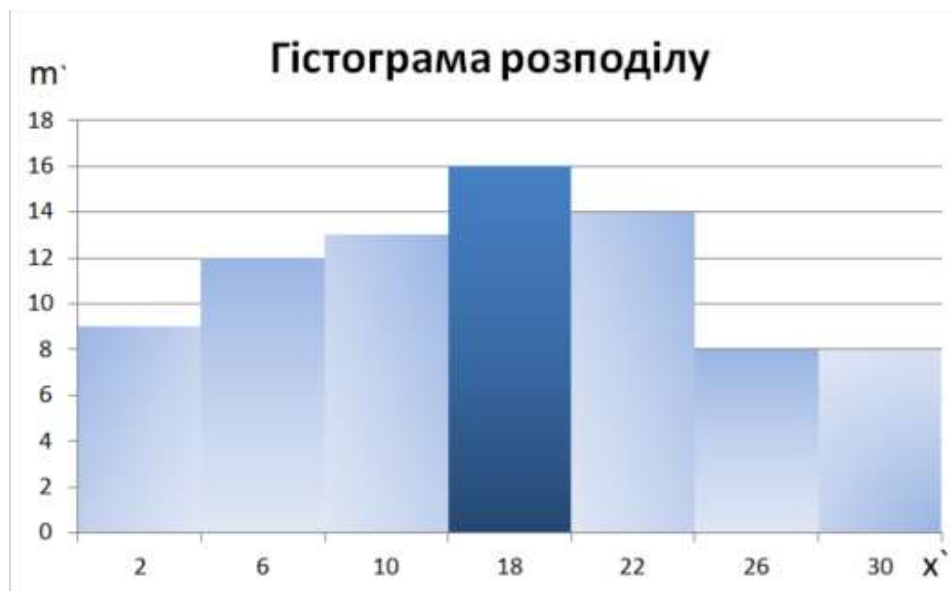
де  $\bar{x}$  - середнє арифметичне значення досліджуваної вибірки виміряних розмірів  $x_i$ ;

$s^2$  - оцінка теоретичної дисперсії;

$N$  об'єм вибірки, тобто кількість розмірів у вибірці.

**Таблиця 1.3 - Розрахунок статистичних характеристик розподілення**

| Номер інтервалу $i$ | Середина інтервалу $x_i$ , мкм | Частота $m_i$ | $x_i m_i$ | $ x_i - \bar{x} $ | $(x_i - \bar{x})^2$ | $(x_i - \bar{x})^2 m_i$ |
|---------------------|--------------------------------|---------------|-----------|-------------------|---------------------|-------------------------|
| 1                   | 2                              | 9             | 18        | 13,8              | 190,44              | 1713,96                 |
| 2                   | 6                              | 12            | 72        | 9,8               | 96,04               | 1152,48                 |
| 3                   | 10                             | 13            | 130       | 5,8               | 33,64               | 437,32                  |
| 4                   | 18                             | 16            | 288       | 2,2               | 4,84                | 77,44                   |
| 5                   | 22                             | 14            | 308       | 6,2               | 38,44               | 538,16                  |
| 6                   | 26                             | 8             | 208       | 10,2              | 104,04              | 832,32                  |
| 7                   | 30                             | 8             | 240       | 14,2              | 201,64              | 1613,12                 |
| Сума                |                                | 80            | 1264      |                   |                     | 6364,8                  |



а)

Рисунок 1.1а - Графічне зображення емпіричного розподілення:  
гістограма розподілу

#### 1.4 Вирівнювання кривої розподілення по гіпотетичному теоретичному закону розподілення

Для вирівнювання кривої розподілення (рисунок.1.1б) будемо опиратись на нормальний закон розподілення (закон Гауса).

Закон Гауса – це двопараметричний закон (параметри:  $\bar{x}$  - середнє арифметичне значення досліджуваної вибірки вимірюваних розмірів  $x_i$ ;  $s^2$  - оцінка теоретичної дисперсії, або середнє квадратичне відхилення  $s$ ), що використовується для опису розсіювання випадкових величин під дією великої кількості незалежних або слабо залежних факторів, при технічних вимірюваннях розмірів, одержаних, у даному випадку, на налагоджених верстатах в умовах крупносерійного чи масового виробництва.

По експериментальним даним розраховуємо середнє арифметичне значення  $\bar{x}$  і середнє квадратичне відхилення  $s$  випадкової величини  $x$ , які і будемо вважати оцінками параметрів нормального закону розподілу ( $\bar{x} \approx a, s \approx \sigma$ ). Тоді функція густини, що характеризує закон нормального розподілення розмірів, попередньо прийнятий для описання розсіювання розмірів у вибірці деталей записується наступним чином:

$$\varphi(x_i) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-(x_i - \bar{x})^2 / 2s^2}, \quad (1.8)$$

Якщо у формулу (1.8) підставити значення виразу  $z_i = (x_i - \bar{x})/s$ , то

$$\varphi(x_i) = \varphi(z_i)/s \quad (1.9)$$

де  $\varphi(z_i)$  - таблична величина нормованої функції Лапласа для різних значень  $z_i$ , яку визначаємо по таблицях, приведених в літературі [1].

Теоретична частка  $p'_i$  та частота  $m'_i$   $i$ -го інтервалу випадкової величини розраховується по формулах:

$$p'_i = \Delta \varphi(z_i)/s \quad (1.10)$$

$$m'_i = p'_i N. \quad (1.11)$$

де  $\Delta$  - ширина прийнятого інтервалу;

$N$  - об'єм емпіричної вибірки.

Результати розрахунків занесені в таблицю 1.4, а, отримана на їх основі вирівняна крива розсіювання показана на рисунку 1.1 б.

Таблиця 1.4 -Результати розрахунків параметрів для вирівнювання кривої по закону Гауса

| Номер інтервала<br>$i$ | Середина інтервала<br>$x_i$ , мкм | $m_i$ | $ z_i $ | $\varphi(z_i)$ | $m'_i$ | $p_i$ | $p'_i$ |
|------------------------|-----------------------------------|-------|---------|----------------|--------|-------|--------|
| 1                      | 2                                 | 9     | 1,55    | 0,1394         | 6      | 0,11  | 0,07   |
| 2                      | 6                                 | 12    | 1,10    | 0,2179         | 10     | 0,15  | 0,12   |
| 3                      | 10                                | 13    | 0,65    | 0,3230         | 16     | 0,16  | 0,18   |
| 4                      | 18                                | 16    | 0,25    | 0,3867         | 18     | 0,2   | 0,20   |
| 5                      | 22                                | 14    | 0,70    | 0,3123         | 15     | 0,18  | 0,17   |
| 6                      | 26                                | 8     | 1,14    | 0,2083         | 9      | 0,1   | 0,11   |
| 7                      | 30                                | 8     | 1,59    | 0,1127         | 5      | 0,1   | 0,06   |
|                        |                                   | 80    |         |                | 79     | 1,0   | 0,91   |

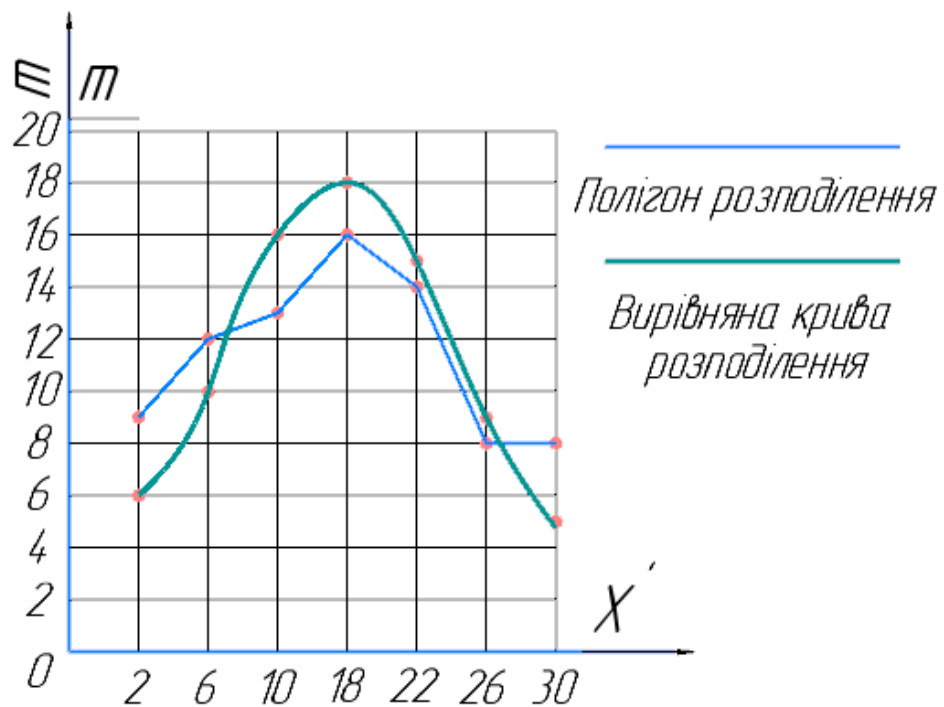


Рисунок 1.16 - Графічне зображення емпіричного розподілення: полігон розподілення та вирівняна крива розподілення

### 1.5 Порівняння емпіричних та теоретичних функцій розподілення по критерію Пірсона

Критерій  $X^2$  Пірсона використовується для оцінки прийнятності гіпотези, щодо закону розподілу при великій кількості розмірів у вибірці. Він може використовуватись при будь-якому теоретичному законі розподілення досліджуваних величин, оскільки забезпечує мінімальну помилку приймання невірної гіпотези у порівнянні з іншими критеріями. З урахуванням цього розраховуємо значення критерію  $X^2$  Пірсона для нашої вибірки розмірів.

Критерій  $X^2$  розраховується з використанням наступної формули:

$$X^2 = \sum_{i=1}^{k'} [(m_i - m'_i)^2 / m'_i]. \quad (1.12)$$

де  $m_i, m'_i$  - відповідно емпірична і теоретична частота попадання випадкових величин в  $i$ -й інтервал;

$k'$  - скориговане число інтервалів.

При розрахунку  $X^2$  теоретичні частоти всіх інтервалів повинні задовольняти умові:

$$m'_i \geq 5 \quad (1.13)$$

Якщо дана умова не виконується для деяких інтервалів, то вони мають об'єднатися із сусідніми, при цьому  $k' < k$ , де  $k$  - попередня кількість інтервалів.

Число степенів вільності розрахункового значення  $X^2$  критерію дорівнює:

$$f = k' - r - 1 \quad (1.14)$$

де  $r$  - число оцінюваних параметрів теоретичної функції розподілення, у даному випадку ( $r = 2$ ), оскільки всі параметри визначаються на основі результатів вимірювань.

Знаючи число степенів вільності  $f$  і задавши рівень значущості  $\alpha = 0,05$ , по таблиці [1] знаходимо значення  $X^2_{\text{табл}}$ . Якщо  $X^2 \leq X^2_{\text{табл}}$ , то немає причин відкидати гіпотезу про запропоноване теоретичне розподілення

генеральної сукупності і розбіжності теоретичних та практичних частот вважаються незначними. При невиконанні нерівності  $X^2 \geq X_{табл}^2$  початкова гіпотеза про закон розподілення відхиляється.

Послідовність та результати розрахунку  $X^2$  Пірсона представлена в таблиці 1.5.

**Таблиця 1.5** - Результати розрахунку  $X^2$  - критерію

| Номер інтервала<br>$i$                                     | $m_i$ | $m'_i$ | $ m_i - m'_i $ | $(m_i - m'_i)^2$ | $(m_i - m'_i)^2/m'_i$ |
|------------------------------------------------------------|-------|--------|----------------|------------------|-----------------------|
| 1                                                          | 9     | 6      | 3              | 9                | 1,5                   |
| 2                                                          | 12    | 10     | 2              | 4                | 0,4                   |
| 3                                                          | 13    | 16     | 3              | 9                | 0,6                   |
| 4                                                          | 16    | 18     | 2              | 4                | 0,22                  |
| 5                                                          | 14    | 15     | 1              | 1                | 0,07                  |
| 6                                                          | 8     | 9      | 1              | 1                | 0,11                  |
| 7                                                          | 8     | 5      | 3              | 9                | 1,8                   |
| $X_{табл}^2 = 7,81$ при $\alpha = 0,05, f = 6 - 2 - 1 = 3$ |       |        |                | Сума             | $X^2 = 4,66$          |

При  $\alpha = 0,025, f = 3, X_{розр}^2 = 4,66; X_{розр}^2 \leq X_{табл}^2 = 7,81$

Отже аналіз результатів розрахунків, наведених в таблиці 1.5, та одержане значення критерію Пірсона свідчать про те, що гіпотеза про нормальний закон розподілення розмірів у вибірці є прийнятною і наступний аналіз розмірів деталей, посадок можна виконувати керуючись нормальним законом розподілення.

Таким чином,  $\omega_{x_{2.2}} = 6S = 6 \cdot 8,92 = 53,52 \text{ мкм}$

## 1.6 Статистична оцінка забезпечення посадки

Результати дослідження і аналізу викладені нижче були представлені на науковій конференції і оприлюднені у збірнику тез [18].

Результати статистичного аналізу посадки з номінальним розміром  $\emptyset 35$ :

- Отвір: а) розрахункові значення параметрів:

$$\bar{X} = 35,04 \text{ мм}; S = 0,068 \text{ мм}; \omega_6 = 6S = 0,41 \text{ мм}; \omega_4 = 4S = 0,27 \text{ мм}$$

$$D_{max}^p = 35,24 \text{ мм}; D_{min}^p = 34,83 \text{ мм}$$

Розміри отвору з відхиленнями:  $D_6^p = 35_{-0,17}^{+0,24}$ ;  $D_4^p = 35_{-0,09}^{+0,18}$ .

б) фактичні значення розмірних параметрів (за результатами вимірювань) отвору:

$$D_{max}^{\phi} = 35,18 \text{ мм}; D_{min}^{\phi} = 34,94 \text{ мм};$$

$$\text{розсіювання фактичне } \Delta_0^{\phi} = 35,18 - 34,94 = 0,24 \text{ мм.}$$

$$D^{\phi} = 35_{-0,06}^{+0,18}; \Delta_0^{\phi} = 0,24 \text{ мм (Ближче до } \omega = 4S = 0,27 \text{ мм).}$$

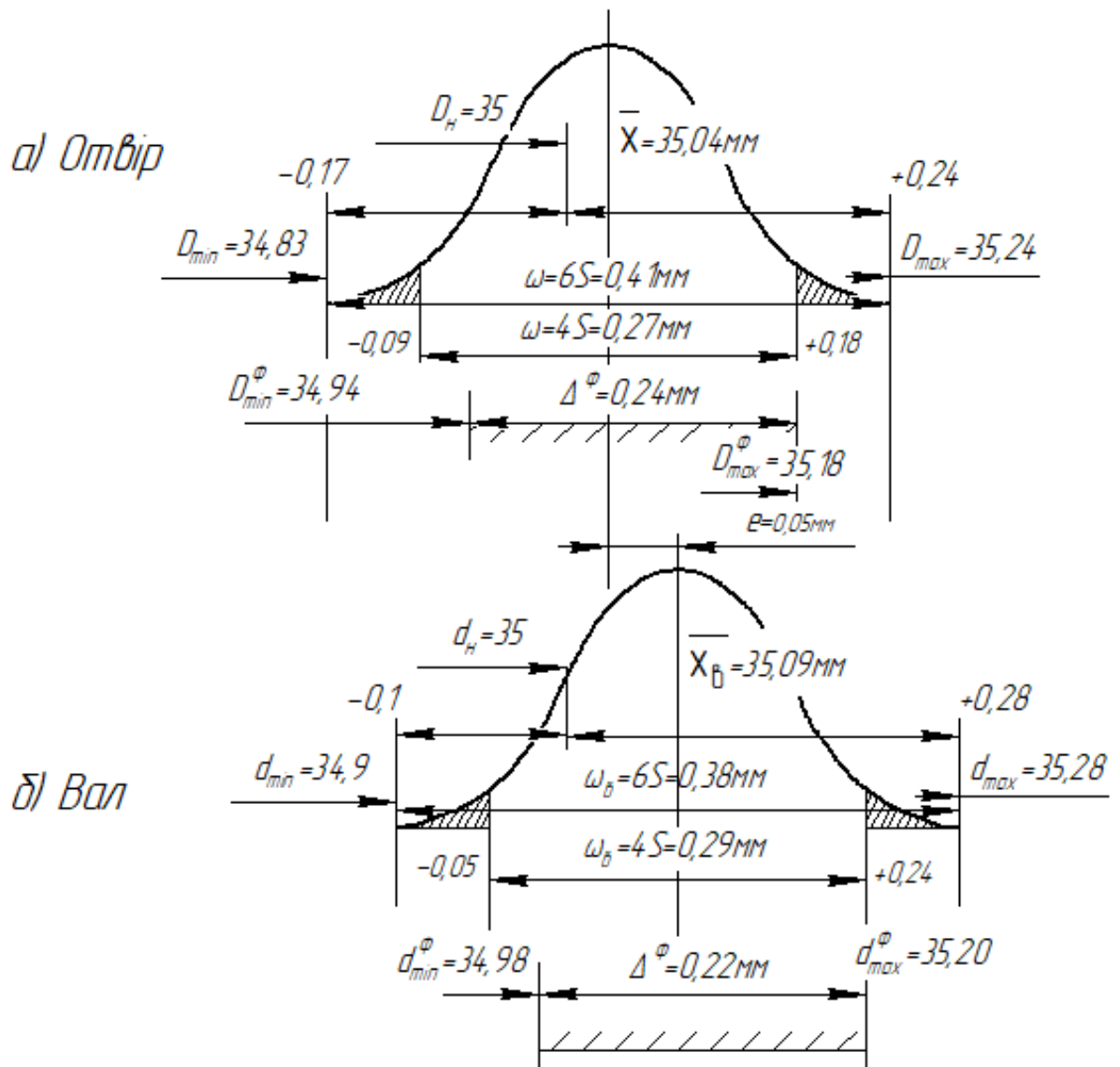


Рисунок 1.2 - Схема розмірів посадки (отвір і вал)

2.Вал: а) розрахункові значення параметрів:

$$\bar{X} = 35,09 \text{ мм}; S = 0,064 \text{ мм}; \omega_{66} = 6S = 0,38 \text{ мм}; \omega_{64} = 4S = 0,29 \text{ мм}$$

$$d_{max}^p = 35,28 \text{ мм}; d_{min}^p = 34,90 \text{ мм}$$

$$\text{Посадка } d_6^p = 35_{-0,1}^{+0,28}; d_4^p = 35_{-0,09}^{+0,18}.$$

б) фактичні значення розмірних параметрів (за результатами вимірювань) вала:

$$d_{max}^\phi = 35,20 \text{ мм}; d_{min}^\phi = 34,98 \text{ мм}; \text{розсіювання фактичне } \Delta_0^\phi = 35,20 - 34,98 = 0,22 \text{ мм}.$$

$$d^\phi = 35_{-0,02}^{+0,2}; \Delta_0^\phi = 0,22 \text{ мм}. \quad (\text{Ближче до } \omega = 4S = 0,29 \text{ мм}).$$

Посадка реалізується зміною розмірів як отвору, так і вала без основної системи, тобто це не система отвору і не система вала.

$$\text{Найбільший зазор: } \Delta_{\text{зазор}} = D_{o \text{ max}} - d_{\text{в min}}$$

$$\Delta_{6 \text{ зазор}} = 35,24 - 34,9 = 0,34 \text{ мм}; \Delta_{4 \text{ зазор}} = 35,18 - 34,95 = 0,23 \text{ мм}$$

$$\Delta_{\text{факт зазор}} = 35,18 - 34,98 = 0,20 \text{ мм}$$

$$\text{Найбільший натяг: } \Delta_{\text{натяг}} = D_{o \text{ min}} - d_{\text{в max}}$$

$$\Delta_{6 \text{ натяг}} = 34,83 - 35,28 = -0,45 \text{ мм}; \Delta_{4 \text{ натяг}} = 34,91 - 35,24 = -0,33 \text{ мм}$$

$$\Delta_{\text{факт натяг}} = 34,94 - 35,20 = -0,26 \text{ мм}$$

Результати аналізу точності свідчать про те, що 1) точність розмірів отвору відповідає IT14, вала - IT13; 2) характер посадки, внаслідок низької точності розмірів поверхонь, що утворюють посадку, змінюється в широкому діапазоні від максимального натягу 0,45 мм до зазору в 0,34 мм. Низька точність посадки, значні діапазони змін зазорів та натягів і є основною причиною нестабільності ТП складання.

З урахуванням особливостей формування з'єднаних деталей, введення їх додаткового оброблення для підвищення точності є недоцільним. У зв'язку

з цим для поліпшення якості посадки пропонується використання селективного методу складання вузла, шляхом відбору і поділу деталей, що з'єднуються на 3 розмірні групи.

Деталі з отворами поділяються на 3 групи з величиною поля розсіювання діаметрів отворів:  $\omega_0/3 = 0,41/3 = 0,14$  мм, що відповідає ІТ 11.

1 група – Ø34,83 - до Ø34,96 мм; 2 група – Ø34,97 - до Ø35,11 мм;

3 група – Ø35,12 - до Ø35,24 мм.

Деталі «труба» поділяють на 3 групи з величиною поля розсіювання діаметрів зовнішньої циліндричної поверхні:  $\omega_0/3 = 0,38/3 = 0,13$  мм, що відповідає ІТ 11.

1 група – Ø34,9 - до Ø35,02 мм; 2 група – Ø35,03 - до Ø35,15 мм;

3 група – Ø35,16 - до Ø35,28 мм

При такій технології складання величини максимальних зазорів та натягів будуть наступними:

$$1 \text{ група: } \Delta_{1 \text{ зазор}} = D_{1 \text{ max}} - d_{1 \text{ min}} = 34,96 - 34,9 = 0,06 \text{ мм}$$

$$\Delta_{1 \text{ нат}} = D_{1 \text{ min}} - d_{1 \text{ max}} = 34,83 - 35,02 = -0,19 \text{ мм.}$$

$$2 \text{ група: } \Delta_{2 \text{ зазор}} = D_{2 \text{ max}} - d_{2 \text{ min}} = 35,11 - 35,06 = 0,05 \text{ мм}$$

$$\Delta_{2 \text{ нат}} = D_{2 \text{ min}} - d_{2 \text{ max}} = 34,97 - 35,15 = -0,18 \text{ мм.}$$

$$3 \text{ група: } \Delta_{3 \text{ зазор}} = D_{3 \text{ max}} - d_{3 \text{ min}} = 35,24 - 35,16 = 0,08 \text{ мм}$$

$$\Delta_{3 \text{ нат}} = D_{3 \text{ min}} - d_{3 \text{ max}} = 35,12 - 35,28 = -0,16 \text{ мм.}$$

Отже запропонований варіант складання вузла забезпечить підвищення точності посадки до ІТ11, внаслідок чого максимальний натяг зменшиться із 0,45 мм до 0,18 тобто в 2,5 рази, а максимальний зазор зменшиться із 0,34 мм до 0,08 або в 4,25 рази, що забезпечить поліпшення якості посадки та стабільності процесу складання, усунення необхідності ручного підбору деталей для виконання складання.



## **2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ**

### **2.1 Аналіз службового призначення та умов роботи деталі в вузлі**

#### **2.1.1 Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація**

**Деталь** «Фланець» відноситься до корпусних деталей, яка входить до конструкції гідронасоса та служить опорою для валів, що встановлюються на підшипниках, які монтуються в отворах цієї деталі.

Основними поверхнями деталі є:

- фланець R55 – торець фланця слугує контактною поверхнею з корпусом гідронасоса, який за рахунок отворів M14 фіксує фланець з корпусом гідронасоса;
- фланець Ø130 – торець фланця слугує контактною поверхнею з корпусом гідронасоса, який за рахунок отворів Ø13 фіксує фланець з корпусом гідронасоса;
- зовнішня поверхня Ø82,5h7– контактна поверхня з корпусом гідронасоса;
- внутрішні поверхні Ø48H7 та Ø52H7 – поверхні під підшипники;

#### **2.1.2 Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі**

Деталь «Фланець» є складальною одиницею гідронасоса та повинна мати гарні фізичні властивості, так як в фланець буде заходити вал та підшипники, тому деталь повинна захищати ці елементи від наприклад ударів тому в подальшій роботі в якості матеріалу деталі буде використовуватись чавун.

### 2.1.3 Аналіз вибору конструкційного матеріалу

Деталь «Фланець» являється складальною одиницею гідронасоса , тому для виготовлення деталі обираємо матеріал СЧ21 [3], який має наступні хімічні та фізико-механічні властивості:

**Таблиця 2.1.3 - Хімічні та фізико-механічні властивості СЧ21[2]**

| Fe      | Si          | Mn      | Ni   | Cr   | P    | S     | C           |
|---------|-------------|---------|------|------|------|-------|-------------|
| Залишок | 1,3-<br>2,4 | 0,5-1,5 | ≤0,5 | ≤0,4 | ≤0,4 | ≤0,12 | 2,8-<br>3,4 |

Твердість = 230НВ;

## 2.2 Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготовки виробництва

Тип виробництва - це класифікаційна категорія виробництва, яка залежить від рівня спеціалізації, обсягу випуску продукції, стабільності, номенклатури виробів в умовах ринкової економіки тощо.[1]

Згідно ГОСТ 3.1108-74 (ЄСКД) та ГОСТ 14.004-74 (ЄСТПВ) для визначення типу виробництва використовується коефіцієнт закріплення,  $K_{30}$ . [1]

Даний коефіцієнт визначається відношенням усіх операцій що виконуються протягом місяця до кількості робочих місць та визначається за формулою 1.1:

$$K_{30} = \frac{\sum_{i=1}^n T_O}{\sum_{j=1}^m P_M}, \quad (1.1)$$

де  $\sum_{i=1}^n T_O$  - сума технологічних операцій виконаних протягом місяця,

$\sum_{j=1}^m P_M$  - сумарне число робочих місць виконаних різними операціями.

На початковому етапі виконання дипломного проекту тип виробництва визначається залежно від річного випуску деталі та маси, або за завданням до

дипломного проекту. Для визначення типу виробництва використаємо таблицю 2.2, яка допоможе орієнтовно визначити тип виробництва.

**Таблиця 2.2** - Допоміжна таблиця для орієнтовного визначення типу виробництва

| Тип виробництва | Річний обсяг випуску деталей одного найменування, шт. |                           |                           |
|-----------------|-------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                 | Легкі, масою до 20 кг                                 | Середні, масою 20...30 кг | Важкі, масою більше 30 кг |
| одиничне        | До 100                                                | До 10                     | 1...5                     |
| малосерійне     | 101...500                                             | 11...200                  | 6...10                    |
| середньосерійне | 501...5000                                            | 201...1000                | 101...300                 |
| великосерійне   | 5001...50000                                          | 1001...5000               | 201...1000                |
| масове          | більше 50000                                          | більше 5000               | більше 1000               |

Виходячи з рекомендацій таблиці 2.2 та маси деталі  $m = 4,4$  кг з обсягом випуску 1000, приймаємо середньо серійний тип виробництва. Середньосерійний тип виробництва обумовлений коефіцієнтом закріплення в межах  $K_{3,0} = 11...20$ . В нашому випадку приймаємо  $K_{3,0} = 15$ .

Середньосерійний тип виробництва характеризує велику номенклатуру виробів, однак значно меншу ніж в одиничному типі виробництва.

На підприємствах, які випускають продукцію серійно собівартість продукції знижується шляхом спеціалізації робочих місць, широкого залучення робітників середньої кваліфікації, зменшення, порівняно з одиничним виробництвом, витрат на заробітну плату.

Розмір партії деталей можна визначити по формулі:

$$n = \frac{N \cdot t}{F}, \text{ шт} \quad (2.1)$$

де:  $N$  - річна програма випуску деталей,  $N=1000$  шт.;

$t$  –кількість робочих днів на тиждень,  $t=5$  днів;

$F$  - кількість робочих днів у 2024 році,  $F=248$  днів.

отже,

$$n = \frac{N \cdot t}{F} = \frac{1000 \cdot 5}{248} = 20,16$$

### **Висновок:**

Тип виробництва - середньосерійний. У подальшому всі технологічні рішення будуть прийматись з урахуванням середньосерійного типу виробництва і коефіцієнту закріплення операцій ( $K_{30} = 20$ ).

## **2.3 Короткий аналіз технологічності конструкції деталі[1]**

Технологічність це сукупність властивостей виробу, які забезпечують можливості оптимальних витрат на виготовлення, матеріали, технологічні підготовки виробництва.

Розробка технологічності включає в себе ряд дій, які забезпечують досягнення потрібного рівня технічної готовності продукції відповідно до критеріїв, що ведуть до підвищення ефективності роботи, зменшення витрат та укорочення періоду виробництва деталі, не знижуючи при цьому його якості. Технологічність можна оцінювати за двома основними категоріями:

- якісна;
- кількісна.

Якісна оцінка визначає загальну придатність конструкції з точки зору технологічності, виходячи з наявного досвіду, і може застосовуватися на різних стадіях розробки як первинна оцінка.

Кількісна оцінка технологічності продукції представляється у вигляді числових значень і є важливим, коли такі показники мають значний вплив на технологічність виробу.

У рамках дипломної роботи ми частково використовуємо обидва методи оцінювання.

### **2.3.1 Якісна оцінка технологічності конструкції[1]**

Матеріал виробу СЧ21 має гарні властивості ливарні властивості.

Поверхні, що обробляються є простими. Під час обробки деталей необхідно застосовувати спеціалізований різальний інструмент, при цьому доступ до всіх поверхонь має бути вільним. Обробка забезпечується з високою точністю та надійністю фіксації. Оцінюючи технологічність конструкції корпусу, можна зробити такі висновки:

- Усі поверхні та отвори оброблюються допомогою стандартного набору інструментів[1].
- Конструкція володіє достатньою жорсткістю, підходить для різання на низьких швидкостях, дозволяє використання різноманітного інструменту [1];
- Конструкція корпусу дозволяє легкий доступ до оброблюваних поверхонь для різального та контрольного інструментів [1];

Слід відзначити, що нетехнологічними є поверхні фланця під головки болтів, які можливо обробити тільки спеціальним розбірним торцевим зенкером (цековкою) з використанням зворотної подачі. При обробленні кожної такої поверхні інструмент перед обробленням необхідно встановити на оправку, а після оброблення – зняти. Це збільшує витрати часу і знижує продуктивність оброблення, тому конструкторам необхідно вирішити цю проблему.

### **2.3.2 Кількісна оцінка технологічності деталі[1]**

Рівень технологічності конструкції по точності оброблення:  $K_{б.тч}$ ,  $K_{тч}$  - відповідно базовий і отриманий коефіцієнти точності оброблення.

Коефіцієнт точності оброблення  $K_{тч}$  визначається по формулі

$$K_{у.тч} = \frac{K_{б.тч}}{K_{тч}} \quad (2.2)$$

де  $T_c$  - середній квалітет точності оброблення виробу;

$n_i$  - кількість розмірів одного квалітету точності;

$T$  - квалітет точності оброблення.

**Таблиця 2.3** Кількісна характеристика

| Поверхня    | Квалітет |    |    |
|-------------|----------|----|----|
|             | 7        | 10 | 12 |
| Циліндрична | 1        | -  | -  |
| Лінійна     | -        | 3  | -  |
| Отвори      | 2        | -  | 2  |

$$T_c = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3}{n_1 + n_2 + n_3}; \quad (2.3)$$

$$T_c = \frac{7 \cdot 1 + 10 \cdot 3 + 7 \cdot 2 + 12 \cdot 2}{1 + 3 + 2 + 2} = 9,375$$

$$K_{\text{тч}} = 1 - \frac{1}{T_c} = 1 - \frac{\sum ni}{\sum Tni} = 1 - \frac{1}{9,375} = 0,893$$

$K_{\text{тч}} = 0,893 > 0,8$  – умова виконується.

Рівень технологічності конструкції по шорсткості поверхонь:

$$III_{\text{ср}} = \frac{\sum III_{n_i}}{\sum n_i} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3}{n_1 + n_2 + n_3} \quad (2.4)$$

де -  $K_{\text{б.ш}}$ ,  $K_{\text{ш}}$  – базовий та отриманий коефіцієнти шорсткості поверхні.

**Таблиця 2.4.** Якісна характеристика

| Поверхня    | Шорсткість |      |
|-------------|------------|------|
|             | 1,25       | 12,5 |
| Лінійна     | 3          | -    |
| Отвори      | 2          | 2    |
| Циліндрична | 1          | -    |

$$\text{Ш}_{\text{ср}} = \frac{1,25 \cdot 1 + 1,25 \cdot 3 + 1,25 \cdot 2 + 12,5 \cdot 2}{1 + 3 + 2 + 2} = 5,42$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{\text{Ш}_{\text{ср}}} = \frac{1}{5,42} = 0,185$$

$$K_{\text{ш}} = 0,185 < 0,32$$

**Коефіцієнт використання матеріалу:**

$$K_{\text{в.м}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{з}}} \quad (2.5)$$

$$K_{\text{в.м}} = \frac{4,4}{5,7} = 0,772$$

де  $M_{\text{д}}$ ,  $M_{\text{з}}$  – відповідно маса деталі і маса заготовки;

Рівень технологічності конструкції використання матеріалу:

$$K_{\text{у.и.}} = \frac{K_{\text{б.в.м.}}}{K_{\text{в.м.}}} \quad (2.6)$$

де:  $K_{\text{б.в.м.}}$ ,  $K_{\text{в.м.}}$  – відповідно базовий та отриманий коефіцієнти використання матеріалу.

Аналіз деталі на предмет технологічності, заснований на кількісних параметрах, виявив, що виріб відповідає технологічним вимогам у плані точності геометричних розмірів, ефективного використання матеріалу заготівлі та показників шорсткості поверхонь.

**Висновок:** Після виконаного аналізу можна зробити висновок, що задана деталь є в основному технологічною, за виключенням однієї поверхні, описаної вище.

## 2.4 Проектування конструкції заготовки

### 2.4.1 Визначення виду та способу виготовлення заготовки[4]

В дипломному проєкті використовується метод лиття для створення заготовки, оскільки чавун відомий своїми відмінними ливарними

характеристиками. Існує багато технік лиття, включаючи піщано-глинисте лиття, використання оболонкових форм, кокіль, лиття під тиском, відцентрове лиття, а також модельне лиття. Основна мета вибору способу лиття полягає у знаходженні найбільш коштовно-ефективного методу. Враховуючи габарити та матеріал деталі, а також менші витрати на лиття в піщано-глинистих формах, ми вирішили використовувати цей метод з машинним формуванням за допомогою металевих моделей.[4]

У сучасному виробництві ключовим напрямком удосконалення технологій механічної обробки є застосування заготовок з економічно оптимізованими конструкціями, які дозволяють використовувати найбільш продуктивні методи обробки з мінімальними відходами. Вибір методу лиття залежить від таких факторів, як матеріал деталі, її призначення, технічні вимоги, обсяг виробництва, серійність, а також форма і розміри деталі. З урахуванням цих параметрів, використовуємо лиття в піщано-глинистих формах як найбільш підходящий метод для серійного виробництва. Основні параметри визначаються згідно[5]:

Визначаємо вартість заготовки по формулі:

$$S_z = \left( \frac{C_i}{1000} M \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{\Pi} \right) - (M - m) \frac{S_{\text{відх}}}{1000}; \quad (2.7)$$

де:  $C_i$  - базова вартість однієї тонни заготовок,  $C_i = 60000$  грн.

$K_T, K_C, K_B, K_M, K_{\Pi} = 1$  - коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу й обсягу виробництва заготовок.

$M$  - маса заготовки, кг;  $Q = 5,7$  кг;

$m$  - маса готової деталі,  $q = 4,4$  кг;

$S_{\text{відх}}$  - ціна 1 т відходів,  $S_{\text{відх}} = 40000$  грн.

Підставивши дані у формулу (2.7), одержимо:

$$S_z = \left( \frac{60000}{1000} \cdot 5,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \right) - (5,7 - 4,4) \frac{40000}{1000} = 289,6 \text{ грн}$$

Вартість заготовки уважатимемо раціональною, а отже прийняти спосіб виготовлення заготовки – пісчано-глиняних формах.

#### 2.4.2 Проектування конструкції заготовки у відповідності до стандартів[4]

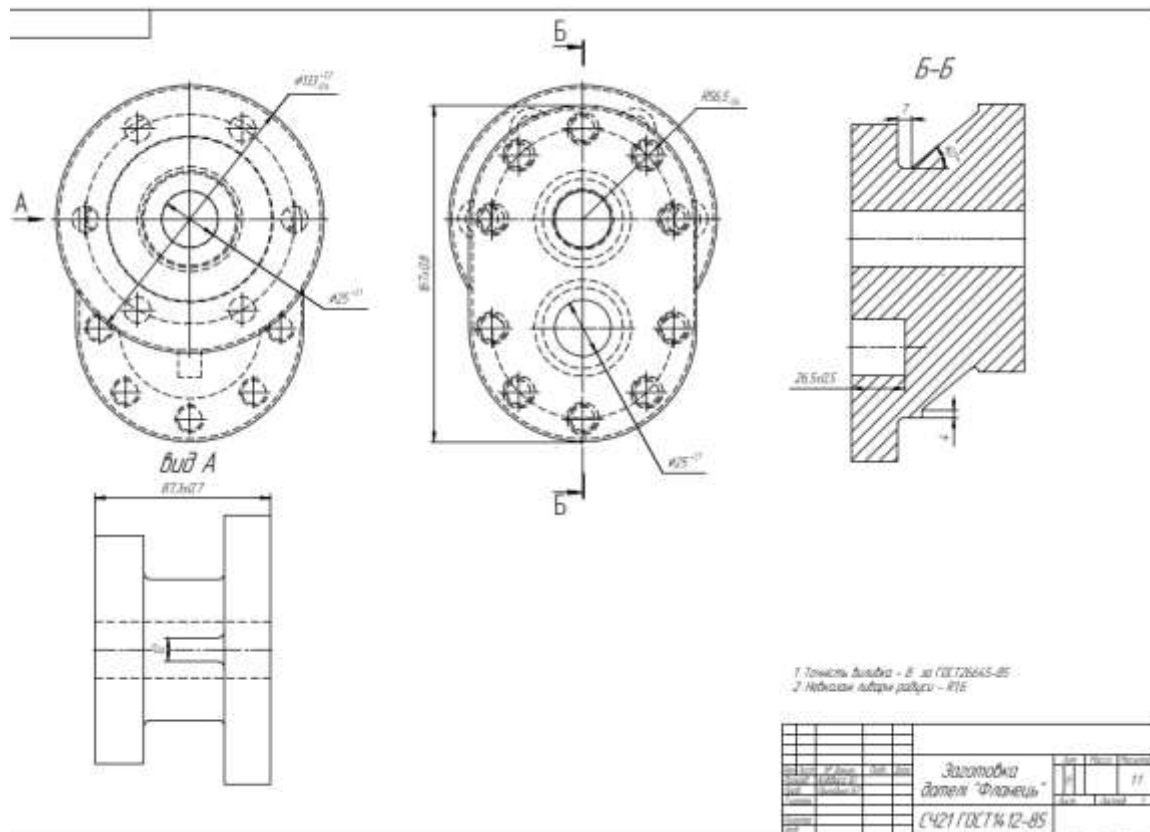


Рисунок 2.4.1 – Ескіз заготовки деталі «Фланець»

### 2.5. Обґрунтування вибору баз для технологічного процесу виготовлення деталі

#### 2.5.1 Обґрунтування вибору загальних технологічних баз

Якість виробництва деталей значною мірою зумовлена коректним визначенням технологічних баз, адже помилковий вибір може спотворити викривлення заготовки щодо інструменту, викликати похибки на оброблюваній поверхні, призвести до нерівномірності припусків та стати причиною браку

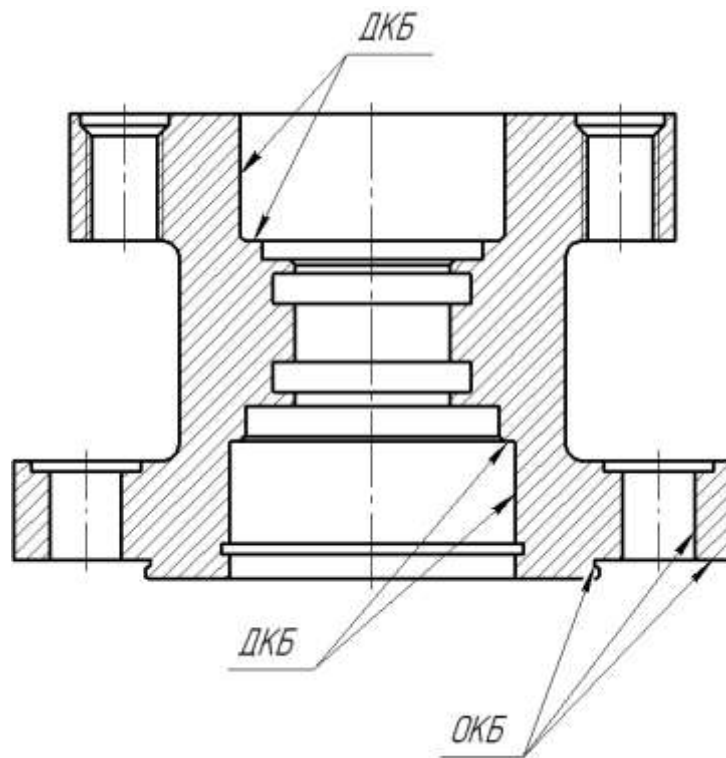
При визначенні технологічних баз слід керуватися двома ключовими принципами: єдності та постійності баз. Принцип єдності баз полягає у виборі

такої поверхні (або її вісі, або площини симетрії), яка слугуватиме одночасно і технологічною, і вимірювальною базою. Якщо це неможливо, то технологічну базу пов'язують хоча б з однією з них. Принцип єдності баз застосовується для мінімізації помилок обробки та оптимізації технологічного процесу.

Загальний процес вибору технологічних баз починається з визначення загальних технологічних баз (ЗТБ). На першому етапі обробки (або протягом декількох етапів, якщо необхідно) створюється ЗТБ — набір поверхонь заготовки, який дозволяє виконувати обробку на більшості етапів технологічного процесу без зміни положення заготовки. ЗТБ визначається на основі аналізу конструктивних особливостей заготовки, для чого проводиться класифікація поверхонь за їх функціональним призначенням. Поверхні компонентів зазвичай поділяють на чотири категорії:

- Основні конструкторські бази (ОКБ) — використовуються для позиціонування деталі у складальному вузлі;
- Допоміжні конструкторські бази (ДКБ) — визначають розташування приєднаних компонентів;
- Кріпильні поверхні (КП) — застосовуються для встановлення положення приєднаних компонентів та елементів;
- Вільні поверхні (ВП) — інші поверхні деталі.

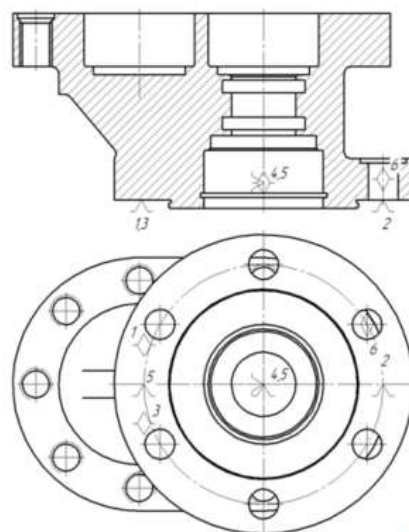
Класифікація виконується на підставі аналізу складального вузла, до якого належить деталь. (див. рис. 2.5.1).



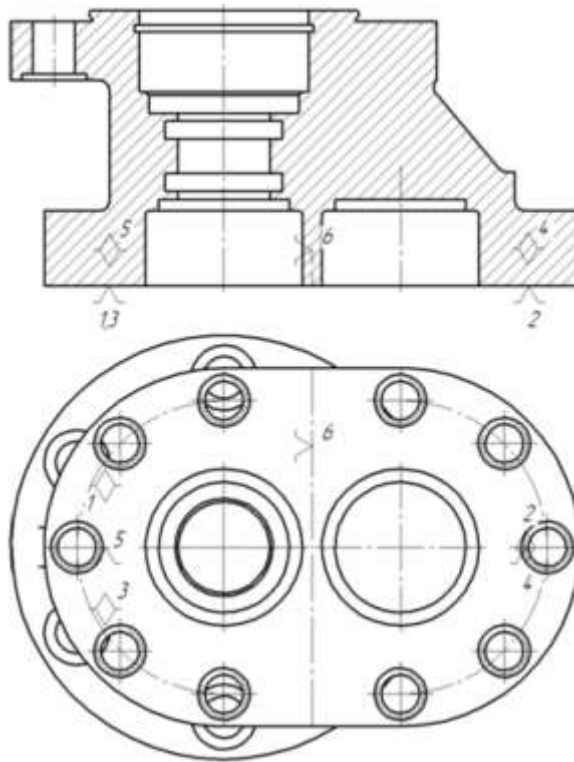
**Рисунок 2.5.1 - Класифікація баз за призначенням**

## **2.5.2 Обґрунтування вибору технологічних баз для перших технологічних операцій**

На першій 005 операції буде виконуватися формування базової площини з установкою на пальці та упором в торець.;



**Рисунок 2.5.2 – Схема базування на 005 операцію**



**Рисунок 2.5.3** – Схема базування на 010 операцію

## **2.6 Проектування типових послідовностей оброблення поверхонь для перших технологічних операцій**

Конструкцію деталі можна представити як набір стандартних геометричних форм, для поверхонь яких, відповідно до технічного креслення, існують конкретні вимоги до точності розмірів та якості. В машинобудуванні існує багато досвіду у створенні технологічних процесів для економічної обробки стандартних поверхонь, щоб досягти необхідної точності та шорсткості робочих поверхонь. Технологічні посібники зазвичай містять такі процеси. Стандартні технологічні процедури обробки поверхонь служать як рекомендації, які потрібно детально розглянути та адаптувати під час проектування технологічних процесів. Маршрут оброблення поверхні процесу обробки, економічну точність та шорсткість поверхонь, яку можна досягти, наведена у таблиці 2.6.

**Таблиця 2.6** –Маршрут оброблення елементарних поверхонь

| №                                | Характеристики якості поверхонь за креслеником |                                          | Технологічний маршрут оброблення ЕП (можливі варіанти)                    | Характеристики якості поверхні після оброблення |                                          |
|----------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|
|                                  | Точність розмірів ІТ                           | Параметр шорсткості R <sub>a</sub> , мкм |                                                                           | Точність розмірів ІТ                            | Параметр шорсткості R <sub>a</sub> , мкм |
| 1                                | 2                                              | 3                                        | 4                                                                         | 5                                               | 6                                        |
| Отвір Ø48H7;<br>Ra 1,25          | 7                                              | 1,25                                     | Фрезерування чорнове<br>Розточування чистове<br>Розточування тонке        | 12<br>9<br>7                                    | 6,3<br>2,5<br>1,25                       |
| Отвір Ø52H7;<br>Ra 1,25          | 7                                              | 1,25                                     | Фрезерування чорнове<br>Розточування чистове<br>Розточування тонке        | 12<br>9<br>7                                    | 6,3<br>2,5<br>1,25                       |
| Торцева поверхня Ø130<br>Ra 1,25 | 10                                             | 1,25                                     | Фрезерування чорнове<br>Фрезерування напівчистове<br>Фрезерування чистове | 12<br>8<br>9                                    | 6,3<br>2,5<br>1,25                       |
| Торцева поверхня Ø82,5 Ra 1,25   | 10                                             | 1,25                                     | Фрезерування чорнове<br>Фрезерування напівчистове<br>Фрезерування чистове | 12<br>10<br>8                                   | 6,3<br>2,5<br>1,25                       |
| Торцева R55<br>Ra 1,25           | 10                                             | 1,25                                     | Фрезерування чорнове<br>Фрезерування напівчистове<br>Фрезерування чистове | 12<br>10<br>9                                   | 6,3<br>2,5<br>1,25                       |
| 10 отворів M14                   | 14                                             | 12,5                                     | Центрування<br>Свердління<br>Нарізання різьби                             | -<br>12<br>-                                    | -<br>10<br>-                             |
| 6 отворів Ø13                    | 14                                             | 12,5                                     | Центрування<br>Свердління                                                 | -<br>12                                         | -<br>10                                  |

## 2.7 Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі

На поточному етапі розробки важливо створити послідовний технологічний процес для обробки деталі “Фланець”. Під час чорнових операцій слід зосередитися на поверхнях з найбільшими припусками та на тих, що мають критичне значення[1]. Кожен подальший етап або операція має сприяти покращенню якісних характеристик оброблюваних поверхонь. Останні етапи технологічного процесу мають бути присвячені фінішній обробці ключових поверхонь, що дозволить виправити будь-які попередні помилки та запобігти їх випадковому пошкодженню. Також у технологічному процесі потрібно включити контрольні операції, які найкраще розташовувати

між основними етапами обробки, перед виконанням важливих та високовартісних операцій, а також на завершальному етапі[1].

### 005 Багатоцільова з ЧПК (HAAS UMC-750)

А Встановити, закріпити;

1. Фрезерувати начорно торцеву поверхню витримуючи розмір F8h14
2. розточити напівчисто отворів D6H8; на глибину F5;
3. Розточити напівчисто центральний отвір Ø28H7 на прохід;

Б Перевстановити

2. Фрезерувати начорно торцеву поверхню витримуючи розмір F1h14

В. Зняти;

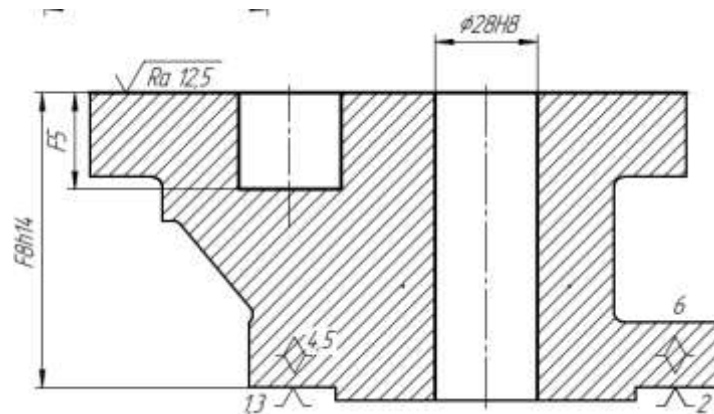


Рисунок 2.7.1 – Операційний ескіз на 005 операцію (Установ А)

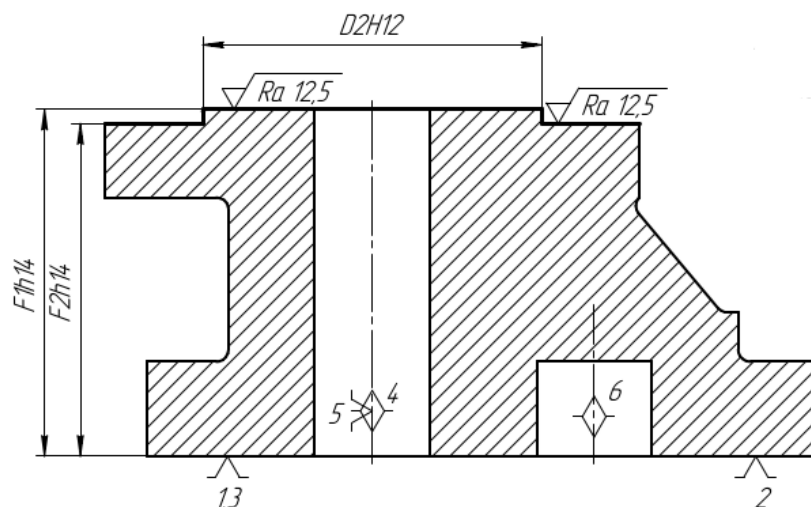


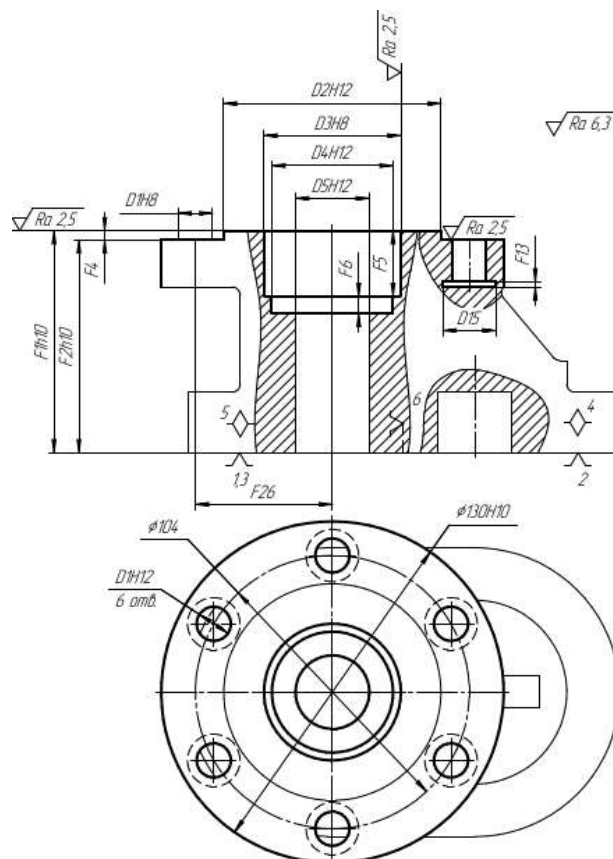
Рисунок 2.7.2 – Операційний ескіз на 005 операцію (Установ Б)

### 010 Багатоцільова з ЧПК (HAAS UMC-750)

А Встановити, закріпити;

1. Фрезерувати напівчисто торцеву поверхню витримуючи розмір  $F1h10$ ,  $F2h10$ ,  $F4$ ,  $D2H12$
2. Фрезерувати начорно контур під напівчистове та чистове фрезерування розміру  $\varnothing 130h8$ ;
3. Фрезерувати напівчисто контур під чистове фрезерування розміру  $\varnothing 130h8$ ;
4. Фрезерувати начорно отвір витримуючи розмір  $F6$ ,  $F5$   $D4H12$
5. Фрезерувати начорно отвір витримуючи розмір  $F6$ ,  $D4H12$
6. Розточувати начисто отвір витримуючи розмір  $F5$ ,  $D3H8$
7. Свердлити начорно отвір  $D1H12$  на прохід;
8. Фрезерувати отвір витримуючи  $F13$ ,  $D15$

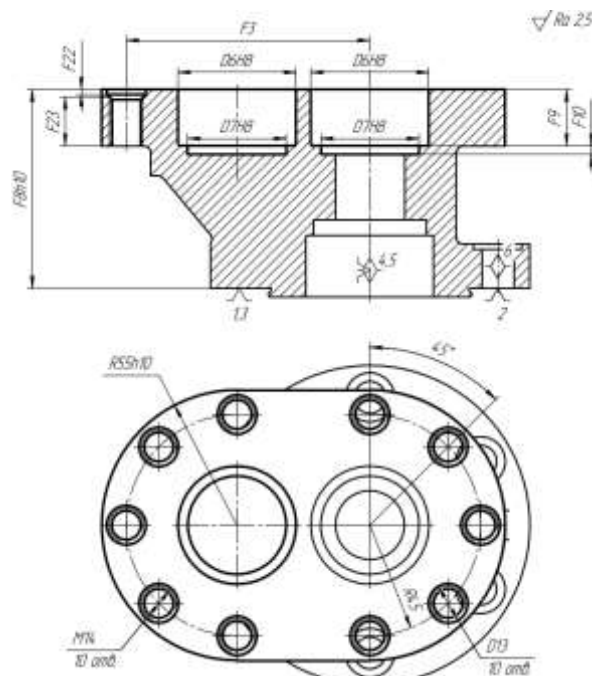
Б. Зняти;



**Рисунок 2.7.3 – Операційний ескіз на 010 операцію  
015 Багатоцільова з ЧПК (HAAS UMC-750)**

А Встановити, закріпити;

1. Фрезерувати напівчисто торцеву поверхню витримуючи розмір F8h10
  2. Фрезерувати начорно контур під напівчистове та чистове фрезерування розміру R55h9;
  3. Фрезерувати напівчисто контур під чистове фрезерування розміру R55h9;
  4. Фрезерувати начорно отвори витримуючи розмір F10,F9, D7H12, F3
  5. Розточувати начисто отвори витримуючи розмір F9, D6H8, F3
  6. Центрувати 10 отворів під свердлення;
  7. Свердлити начорно 10 отворів витримуючи розмір D14H12, R45
  8. Зенкувати 10 отворів Ø16 витримуючи розмір D13H12, R45
  9. Нарізати різьбу 10 отворів витримуючи розміри F23, F22, D13, F27, M14, R45,
- Б Зняти ;



**Рисунок 2.7.4 – Операційний ескіз на 015 операцію**

## **020 Контрольна**

1. Перевірити припуску на обробку перед чистовими обробками;

## 025 Багатоцільова з ЧПК (HAAS UMC-750)

А Встановити, закріпити;

1. Фрезерувати начисто торцеву поверхню витримуючи розмір F12, F11h9 з утворенням фасок  $1,5 \times 30^\circ$  та  $0,5 \times 45^\circ$
2. Фрезерувати начисто контур витримуючи розмір  $\varnothing 130h8$ ;
3. Розточувати тонко отвір витримуючи розмір D11H7, F14, F15, F16
4. Фрезерувати канавки витримуючи розмір D12H10, F15, F16
5. Фрезерувати канавки витримуючи розмір D9H10, F19, F18 з утворенням фаски  $1 \times 45^\circ$  та округлення R0,5;
6. Фрезерувати канавки витримуючи розмір D9H10, F20, F7

Б Зняти;

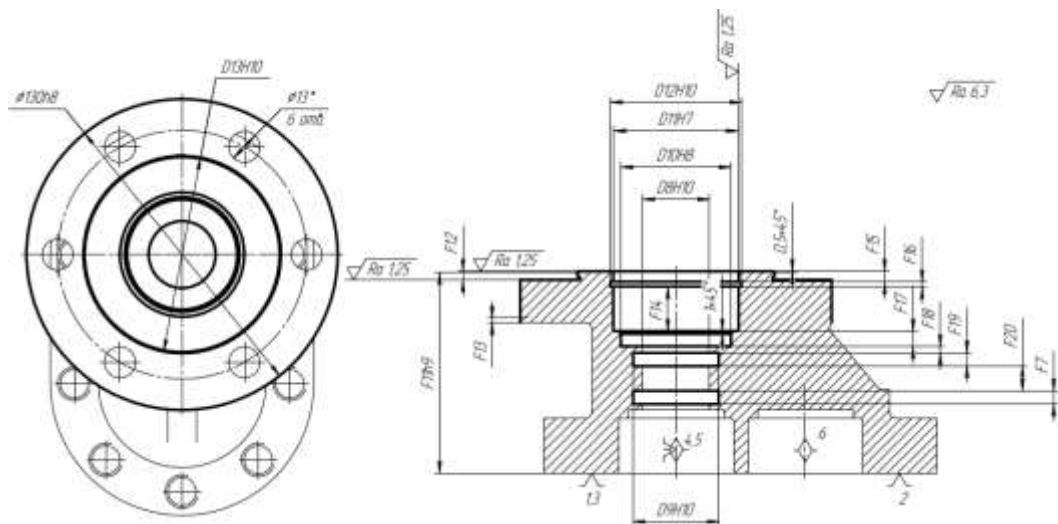


Рисунок 2.7.5 – Операційний ескіз на 030 операцію

## 030 Багатоцільова з ЧПК (HAAS UMC-750)

А Встановити, закріпити;

- 1 Фрезерувати начисто торцеву поверхню витримуючи розмір F21h9
2. Фрезерувати начисто контур витримуючи розмір R55h9;
3. Розточувати отвори витримуючи розмір D14H7, F24, F28 з утворенням фаски  $1 \times 45^\circ$  та скруглення R0,5

Б Зняти;

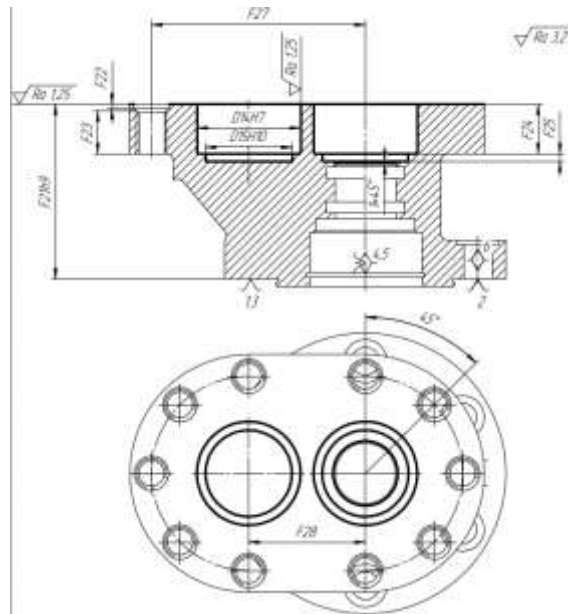


Рисунок 2.7.6 – Операційний ескіз на 030 операцію

### 035 Контрольна(Стіл контрольний)

1. Контролювати розміри згідно креслення;

### 040 Мийочна

### 045 Контрольна

## 2.8 Короткий опис вибору верстатного обладнання



Рисунок 2.8.1 Обробляючий центр HAAS UMC-750 [6]

Максимальні габарити оброблюваної деталі, мм 630x500

Переміщення по вісям, мм:

|                                                          |                |
|----------------------------------------------------------|----------------|
| X                                                        | 762            |
| Y                                                        | 508            |
| Z                                                        | 558            |
| Максимальна частота обертання шпинделя, хв <sup>-1</sup> | 8100           |
| Максимальна робоча подача по вісям, мм/хв.               | 16500          |
| Інструментальний магазин, шт                             | 40+1           |
| Потужність головного двигуна, кВт                        | 22,4           |
| Габаритні розміри верстата, мм                           | 4115x2870x3048 |
| Маса верстат, кг                                         | 7850           |

## 2.9 Визначення припусків для технологічних переходів оброблення поверхонь заготовки

### 2.9.1 Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом

#### Розрахунок міжопераційних припусків для оброблення отвору Ø48H7

Таблиця 2.9.1 - Технологічний процес обробки містить у собі 3 переходи:

|                      |     |
|----------------------|-----|
| Розточування тонке   | H7  |
| Розточування чистове | H9  |
| Фрезерування чорнове | H12 |

Розрахунок припусків ведемо у вигляді таблиці (2.9.1), в яку послідовно записується технологічний маршрут оброблення деталі й всі значення елементів припусків.

Точність й якість вилівка([7], том 1, стор.180):

$$R_z+h= 500 \text{ мкм} \quad (2.9.1)$$

Відхилення отвору відносно технологічних баз  $\Delta_{p.t.6}$ , мм – 0,8 у пісчано-глиняних формах ([7], том 1, стор.183);

Перекіс отвору  $\Delta_{\pi}$ , мкм на 1 мм для діаметра отвору 30-50 мм;  $\Delta_{\pi} = 2,5$ ; ([7], том 1, стор.183);

Короблення  $\Delta_k$ , мкм на 1 мм = 1,0 ([7], том 1, стор.183);

- якість поверхонь після механічної обробки
- для чорнового розточування :  $R_z=100$  мкм,  $h=100$  мкм([7], том 1, стор.185)
- якість поверхонь після механічної обробки
- для попереднього фрезерування :  $R_z=100$  мкм,  $h=100$  мкм([7], том 1, стор.185)

- для чистового розточування :  $R_z=25$  мкм,  $h=25$  мкм ([7], том 1, стор.185)

- для тонкого розточування :  $R_z=5$  мкм,  $h=5$  мкм ([7], том 1, стор.185)

Мінімальний припуск на оброблення розрахуємо за формулою:

$$2Z_i^{min} = 2(Rz_{i-1} + \square_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \quad (2.9.2)$$

Сумарне просторове відхилення розташування поверхонь із закріпленням заготовки в спеціальному пристрої розрахуємо за формулою:

$$\Delta = \Delta_{кор} + \Delta_{р.т.б} + \Delta_{п} \quad (2.9.2)$$

де  $\Delta_{кор}$  – кривизна профілю, мкм ([7], том 1, стор.180),

$$\Delta_{кор} = \Delta_{к} \cdot L = 1,0 \cdot 25 = 25,0 \text{ мкм},$$

$$\Delta = 25,0 + 800 + 62,5 = 887,5 \text{ мкм}.$$

Розраховуємо похибку установки за формулою:

$$E_i = \sqrt{E_6^2 + E_3^2 + E_n^2}, \quad (2.9.3)$$

де  $E_6$  - похибка базування, що виникає,  $E_6=0$ ;

$E_3$  - похибка закріплення при установці заготовки в УЗП,  $E_3 = 100$ мкм;

$E_n$  - похибка положення, при обробці за один установ,  $E_n=0$ .

$$E_i = \sqrt{100^2} = 100 \text{ мкм};$$

Припуск на чорнове фрезерування:

$$2Z_1^{min} = 2 \cdot \left( 100 + 100 + \sqrt{887,5^2 + 100^2} \right) = 2186,2 \text{ мкм};$$

Припуск на чистове розточування:

$$2Z_1^{min} = 2 \cdot \left( 25 + 25 + \sqrt{800^2 + 100^2} \right) = 1712,45 \text{ мкм};$$

Припуск на тонке розточування:

$$2Z_1^{min} = 2 \cdot (5 + 5 + \sqrt{0^2 + 100^2}) = 220,0 \text{ мкм};$$

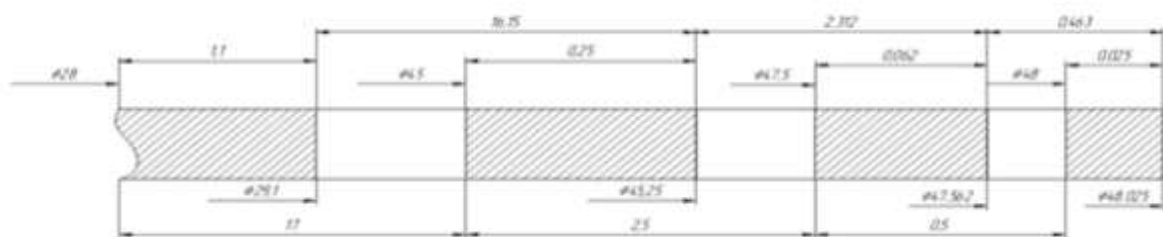
Результати розрахунку наведені в табл. 2.9.2.

**Таблиця 2.9.2** Розрахунок припусків на внутрішню фасонну поверхню Ø48H7

| Технологічні операції та переходи оброблення елементних поверхонь | Елементи припуску |     |       |     | Розрахунковий припуск, $2Z_{\text{пін}}$ , мкм | Розрахунковий міні розмір, мм | Допуск, TD, мкм | Прийняті розміри по переходах, мм |        | Граничні значення припусків, мм |       |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|-----|-------|-----|------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------|--------|---------------------------------|-------|
|                                                                   | Rz                | h   | Δ     | Σ   |                                                |                               |                 | Rmin                              | Rmax   | Zmax                            | Zmin  |
| Розміри заготовки                                                 | 500               |     | 887,5 | —   | -                                              | -                             | 1100            | 28                                | 29,1   | -                               | -     |
| Чорнове фрезерування (H12)                                        | 100               | 100 | 887,5 | 100 | 2186,2                                         | 30,186                        | 250             | 45                                | 45,25  | 17                              | 16,15 |
| чистове розточування (H9)                                         | 25                | 25  | 800   | 100 | 1712,45                                        | 46,72                         | 62              | 47,5                              | 47,562 | 2,5                             | 2,312 |
| Тонке розточування (H7)                                           | 5                 | 5   | 0     | 100 | 220                                            | 47,72                         | 25              | 48                                | 48,025 | 0,5                             | 0,463 |

Перевірка правильності розрахунків:

$$T_1 - T_{\text{тд}} = \Sigma_2 Z_{\text{max}} - \Sigma_2 Z_{\text{min}} = 1100 - 25 = 1075 \text{ мкм} = 20 - 18,925 = 1,075 \text{ мм}$$



**Рисунок 2.9.1** Схема полів допусків і припусків на обробку Ø48H7.

## 2.9.2 Визначення припусків аналоговим методом

Таблиця 2.9.2 – Припуски на обробку за аналоговим методом

| Поверхня деталі | Допск деталі | Допуск Заготовки | Співвідношення допусків | Вид Кінцевої обробки | Припуск | Розмір                  |
|-----------------|--------------|------------------|-------------------------|----------------------|---------|-------------------------|
| Ø28             | 0,062        | 1,1              | -                       | Чист                 | 12х2    | Ø52 <sup>+0,062</sup>   |
| 0               | 0,015        | -                | -                       | Чорн                 | 6,5х2   | Ø13 <sup>+0,015</sup>   |
| Ø133            | 0,063        | 1,6              | -                       | Чист                 | 1,5х2   | Ø130 <sub>-0.063</sub>  |
| Ø85             | 0,035        | 1,6              | -                       | Чист                 | 1,25    | Ø82,5 <sub>-0,035</sub> |

## 2.10 Визначення режимів різання[8,9]

### 2.10.1 Визначення режимів різання розрахунково - аналітичним методом для операції 010 Багатоцільова з ЧПК розміру Ø45<sup>+0,25</sup>

1. Перехід 5: Фрезерувати начорно отвір витримуючи розмір F6, D3H12

$$h = \frac{(D - d)}{2} = \frac{(45 - 28)}{2} = 8,5$$

Глибина різання  $t$ , мм розраховується за формулою:

$$t = \frac{h}{i}, \quad (2.10.1)$$

де  $h$  – припуск на обробку, мм;

$i$  – кількість проходів інструменту.

$$i=4$$

$$t = \frac{8,5}{4} = 2,125$$

Подача  $S_z$ , мм/зуб призначається для обробки деталі кінцевими фрезами Ø16 мм, глибини різання, до 3 мм [8, с. 284 табл. 12]

$$S_z = 0,06,$$

Швидкість різання  $V_i$ , м/хв визначається за формулою:

$$V_s = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_u, \quad (2.10.2)$$

де  $C_v$ ,  $K_v$ ,  $m$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $u$ ,  $p$  – коефіцієнти та показники степені, що враховують дійсні умови різання;

$T$  – стійкість різця, хв.

Приймається від: [8, с.288, табл.17]

$C_v = 72$ ;  $m = 0,25$ ;  $p = 0,3$ ;  $q = 0,7$ ;  $u = 0,3$ ;  $x = 0,5$ ;  $y = 0,2$ ;  $T = 30$

$K_v$  поправочний коефіцієнт розраховується за формулою:

$$K_v = K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{mv}, \quad (2.10.3)$$

де  $K_{nv}$  - коефіцієнт, що залежить від стану заготовки;

$K_{uv}$  - коефіцієнт, що залежить від матеріалу ріжучого інструмента;

$K_{mv}$  - коефіцієнт, що залежить від матеріалу ріжучого інструменту та матеріалу оброблюємої поверхні за формулою 2.10.4.

$K_{nv} = 0,8$  – для заготовки відливки [8, с.263, табл.5];

$K_{uv} = 1,0$  - для обробки чавунів фрезою з Р6М5 [7, с.263, табл.6];

$K_{mv}$  розраховується за формулою: [8, с.261,]:

$$K_{vm} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{n_v} \quad (2.10.4)$$

$$K_{vm} = \left(\frac{190}{230}\right)^{1,25} = 0,79$$

$$K_v = 0,79 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,63$$

$$V_s = \frac{72}{30^{0,25} \cdot 2,125^{0,5} \cdot 0,06^{0,3} \cdot 23^{0,3} \cdot 4^{0,3}} \cdot 0,63 = 7,96$$

Частота обертання шпинделя  $n$ , хв<sup>-1</sup> визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V_u}{\pi \cdot D}, \quad (2.10.5)$$

де D - діаметр інструменту, мм;

$$D=16$$

$$n = \frac{1000 \cdot 7,96}{3,14 \cdot 16} = 158,44$$

Дійсна частота обертання  $n_d$ ,  $\text{хв}^{-1}$  приймається з паспорту верстата

$$n_d = 160$$

Дійсна швидкість різання  $V_d$ , м/хв розраховується за формулою :

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_d}{1000} \quad (2.10.6)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 16 \cdot 160}{1000} = 8,03$$

Хвилинна подача  $S_{\text{хв}}$ , мм/хв розраховується за формулою:

$$S_{\text{хв}} = S_z \cdot n_d \quad (2.10.7)$$

$$S_{\text{хв}} = 0,06 \cdot 160 = 9,6$$

Приймається дійсне значення хвилинної подачі  $S_{\text{хв.д}}$ , мм/хв:

$$S_{\text{хв}} = 9,6$$

Потужність різання  $N_{\text{різ}}$ , кВт розраховується за формулою 6

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V_d}{1020 \cdot 60}, \quad (2.10.8)$$

де  $P_z$  – тангенціальна сила різання, Н розраховується за формулою:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_{pz} \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^{u \cdot z}}{D^q \cdot n^w} K_{\text{mp}}, \quad (2.10.9)$$

де  $C_{pz}$ ,  $K_{pz}$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $u, q, w$  - коефіцієнти та показники степенів, що враховують дійсні умови різання;

де  $K_{mpz}$  – коефіцієнт враховуючий вплив якості чавунів на силові залежності;  $K_{mpz}=1,11$

Приймаються для розточування чавунів різцями з твердого сплаву: [8, с.274, табл.22]

$$C_{pz}=30; x=0,83; y=0,72; u=1,0; q=0,83; w=0$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 30 \cdot 2,125^{0,83} \cdot 0,06^{0,72} \cdot 23^{1,0} \cdot 4}{16^{0,83} \cdot 200^0} \cdot 1,11 = 756,5 \text{ Н}$$

$$N_{різ} = \frac{756,5 \cdot 8,03}{1020 \cdot 60} = 0,1$$

Перевірка двигуна верстата на достатність потужності виконується із умови за формулою:

$$N_{різ} \leq N_{дв} \cdot \eta \quad , (2.10.11)$$

де  $N_{дв}$  – потужність двигуна верстата;

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії двигуна;

$$\eta = 0,85; N_{дв} = 22,4$$

$$0,1 \leq 22,4 \cdot 0,85$$

$$0,1 \leq 19,0$$

Умова виконується, тож потужність двигуна верстата дозволяє працювати на розрахованих режимах різання.

Основний машинний час  $T_o$ , хв розраховується по формулі:

$$T_o = \frac{L_{PX}}{S_{XB}} \cdot i, \quad (2.10.12)$$

де  $L_{p.x}$  – довжина робочого ходу, мм.

Довжина робочого ходу  $L_{p.x}$ , мм розраховується за формулою:

$$L_{p.x} = l + y + \Delta, \quad (2.10.13)$$

де  $l$  - довжина різання, мм;

$\Delta$  - величина перебігу інструменту, мм;

$y$  - величина врізання інструменту, мм.

$$l = 23; \Delta + y = 23$$

$$L_{p.x} = 23 + 23 = 46$$

$$T_o = \frac{46}{9.6} \cdot 4 = 16.2$$

1. Перехід 6: Розточувати начисто отвір витримуючи розмір F6, D3H8;

$$h = 1,25$$

Глибина різання  $t$ , мм розраховується за формулою (2.10.1):

$i$  – кількість проходів інструменту.

$$i = 2$$

$$t = \frac{1,25}{2} = 0,625$$

Подача  $S_o$ , мм/об призначається для чистового точіння та розточування, шорсткості  $R_a - 2,5$  [8, с. 268 табл. 15]

$$S_o = 0,246$$

Швидкість різання  $V_i$ , м/хв призначається за формулою (2.10.4)

$$V_i = 153,84$$

Частота обертання шпинделя  $n$ ,  $\text{хв}^{-1}$  визначається за формулою (2.10.5):

$$n = \frac{1000 \cdot 153,84}{3,14 \cdot 47,5} = 1031,4$$

Дійсна частота обертання  $n_d$ ,  $\text{хв}^{-1}$  приймається з паспорту верстата

$$n_d = 1000$$

Дійсна швидкість різання  $V_d$ , м/хв розраховується за формулою (2.10.6)

$$V_o = \frac{3,14 \cdot 47,5 \cdot 1000}{1000} = 149,15$$

Хвилинна подача  $S_{хв}$ , мм/хв розраховується за формулою (2.10.7):

$$S_{хв} = 0,246 \cdot 1000 = 246$$

Приймається дійсне значення хвилинної подачі  $S_{хв.д}$ , мм/хв:

$$S_{хв} = 246$$

Потужність різання  $N_{різ}$ , кВт розраховується за формулою (2.10.8)

де  $P_z$  – тангенціальна сила різання, Н розраховується за формулою (2.10.9):

- Приймаються для розточування чавунів різцями з швидкорізальної сталі: [8, с.274, табл.22]

$$C_{pz} = 92; x = 1,0; y = 0,75; n = 0$$

$$P_z = 10 \cdot 92 \cdot 0,625^{1,0} \cdot 0,246^{0,75} \cdot 149,15^0 \cdot 1,11 = 222,94$$

$$N_{різ} = \frac{222,94 \cdot 149,15}{1020 \cdot 60} = 0,54$$

За формулою (2.10.10) перевірка двигуна верстата на достатність потужності виконується:

$$\eta = 0,85; N_{дв} = 22,4$$

$$0,54 \leq 22,4 \cdot 0,85$$

$$0,54 \leq 22,4$$

Умова виконується, тож потужність двигуна верстата дозволяє працювати на розрахованих режимах різання.

Основний машинний час  $T_o$ , хв розраховується за формулою (2.10.11):

$$L_{p.x} = 23 + 5 = 28$$

$$T_o = \frac{28}{246} \cdot 2 = 0,23$$

## 2.10.2 Визначення режимів різання аналоговими методами[10,11]

Для розрахунку режимів різання для інших переходів буде використовуватись сайт Sandvik coromant

| №<br>опер.                                   | Перехід | Обробка      | Інструмент                                                                          | V,<br>м/хв                                                                                                                                                                                                                                                                                     | h,<br>мм | S,<br>мм/об     | n,<br>об/х<br>в | T <sub>o</sub> , хв |
|----------------------------------------------|---------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 005                                          | 1       | Фрезерування |    | 310                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1,0      | 0.209<br>мм/зуб | 2350            | 20,8                |
|                                              | 2       | Фрезерування |                                                                                     | <div><div>CoroMill 300</div><div> R300-160Q40-20H<br/>Tool</div><div> R300-2060M-PH 4330<br/>Insert Face (11x)</div></div> | 277      | 1,0             | 0.285<br>мм/зуб | 2350                |
| $\sum T_o = 20,8 + 20,04 = 40,84 \text{ мм}$ |         |              |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |          |                 |                 |                     |
| 010                                          | 1       | Фрезерування |  | 322                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0,3      | 0,167           | 1980            | 5,06                |
|                                              | 2       | Фрезерування |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |          |                 |                 |                     |

|  |   |              |                                                                                                                                                                                           |     |          |       |            |                 |
|--|---|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------|-------|------------|-----------------|
|  | 3 | Фрезерування |  <div> CoroMill Plura HD<br/> 2P342-2500-PB P2BM<br/> Tool </div>                                        | 400 | 0,4      | 0,254 | 5095<br>,5 | 32,0            |
|  | 4 | Фрезерування |  <div> CoroBore BR20<br/> BR20-45CC09F-C3<br/> Tool<br/> CCMT 09 T3 12-PR 4425<br/> Insert (2x) </div>   | 216 | 8,5      | 0,3   | 1530       | 35,01           |
|  | 5 | Фрезерування |  <div> CoroBore BR30<br/> BR30-51CC06F-C4<br/> Tool<br/> CCMT 06 02 09-UM 4425<br/> Insert (3x) </div> | 216 | 1,2<br>5 | 0,75  | 1270       | 14,94           |
|  | 6 | Розточування |  <div> CoroBore 825<br/> 825-36TC09-C4<br/> Tool<br/> TCGX 09 03 04LWK 1125<br/> Insert </div>         | 220 | 0,2<br>5 | 0,185 | 1460       | 5,1             |
|  | 7 | Свердлення   |  <div> CoroDrill 860<br/> 860.1-1300-040A1-PM<br/> P1BM<br/> Tool </div>                               | 171 | 6,5      | 0,3   | 4180       | 0,98x6<br>=5,88 |

|                                                                                        |   |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |     |       |            |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-------|------------|---------------|
|                                                                                        | 8 | Фрезерування | <div> <div>Cutting speed<br/>VC</div> <div>180<br/>m/min</div> </div> <div> <div>Feed per revolution<br/>FN</div> <div>1,5<br/>mm</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                               | 180 | 3,5 | 1,5   | 2860       | 0,2x6=<br>1,2 |
| $\sum T_o = 5,06 + 19,8 + 32,0 + 35,01 + 14,94 + 5,1 + 5,88 + 1,2 = 118,99 \text{ мм}$ |   |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |     |       |            |               |
| 015                                                                                    | 1 | Фрезерування |  <div> <div>CoroMill 300</div> <div>  <div>R300-160Q40-20H<br/>Tool</div> </div> <div>  <div>R300-2060M-PH 4330<br/>Insert Face (11x)</div> </div> </div> | 255 | 0,3 | 0,8   | 561,<br>0  | 2,8           |
|                                                                                        | 2 | Фрезерування |  <div> <div>CoroMill Plura HD</div> <div>  <div>2F342-1905-076-PD<br/>P2BM<br/>Tool</div> </div> </div>                                                                                                                                | 385 | 1,0 | 0,3   | 6453<br>,2 | 11,88         |
|                                                                                        | 3 | Фрезерування |  <div> <div>CoroMill Plura HD</div> <div>  <div>2S342-1600-200-PB<br/>P2BM<br/>Tool</div> </div> </div>                                                                                                                                | 330 | 0,4 | 0,203 | 6562       | 14,5          |

|  |   |              |                                                                                                                                                                                                  |      |          |       |      |                       |
|--|---|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------|-------|------|-----------------------|
|  | 4 | Фрезерування |  <div> <p>CoroBore BR20</p> <p>BR20-45CC09F-C3<br/>Tool</p> <p>CCMT 09 T3 12-PR 4425<br/>Insert (2x)</p> </div> | 216  | 8,5      | 0,3   | 1530 | 35,01                 |
|  | 5 | Розточування |  <div> <p>CoroBore 825</p> <p>825-38TC09-C4<br/>Tool</p> <p>TCGX 09 03 04LWK 1105<br/>Insert</p> </div>         | 220  | 0,2<br>5 | 0,185 | 1460 | 5,1                   |
|  | 6 | Центрування  |  <div> <p>CoroMill Dura</p> <p>1K334-0200-020-XC 1730<br/>Tool</p> </div>                                     | 50,3 | 1,5      | 0,007 | 8000 | 0,016x<br>10=<br>0,16 |
|  | 7 | Свердлення   |  <div> <p>CoroDrill 860</p> <p>860.1-1150-037A1-PM<br/>P18M<br/>Tool</p> </div>                               | 171  | 5,7<br>5 | 0,3   | 4720 | 1,0x10<br>=10,0       |
|  | 8 | Зенкування   |                                                                                                                                                                                                  | 201  | 2,2<br>5 | 0,14  | 4000 | 0,25x1<br>0=2,5       |

|                                                                                            |   |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |     |       |      |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-------|------|--------------|
|                                                                                            | 9 | Нарізання різі |  <div> <div>CoroTap 200</div> <div>  <div> T200-PM109DA-M14<br/>P1PM<br/>Tool </div> </div> </div>                                                                                                                                                     | 45  |     | 2     | 1020 | 2,98x10=29,8 |
| $\sum T_o = 2,8 + 11,88 + 14,5 + 35,01 + 5,1 + 0,16 + 10 + 2,5 + 29,8 = 111,75 \text{ мм}$ |   |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |     |       |      |              |
| 025                                                                                        | 1 | Фрезерування   |  <div> <div>CoroMill 745</div> <div>  <div> 745-063Q22-21H<br/>Tool </div> </div> <div>  <div> 745R-2109E-M31 4230<br/>Insert Face (7x) </div> </div> </div>      | 337 | 0,1 | 0,217 | 1680 | 14,16        |
|                                                                                            | 2 | Фрезерування   |  <div> <div>CoroMill 200</div> <div>  <div> R200-030A32-20M<br/>Tool </div> </div> <div>  <div> RCHT 20 06 M0-PL 1130<br/>Insert Face (3x) </div> </div> </div> | 307 | 0,1 | 0,303 | 2980 | 7,74         |
|                                                                                            | 3 | Розточування   |  <div> <div>CoroBore 825</div> <div>  <div> 825-56TC09-C4<br/>Tool </div> </div> <div>  <div> TCMT 09 02 04-PF 4425<br/>Insert </div> </div> </div>             | 260 | 0,1 | 0,117 | 1720 | 7,5          |

|                                                                     |   |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |     |       |      |       |
|---------------------------------------------------------------------|---|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-------|------|-------|
|                                                                     | 4 | Фрезерування |                                                                                                                                                                                                      | 188 | 4   | 0,75  | 1670 | 2,5   |
|                                                                     | 5 | Фрезерування | <br> <div> <p>CoroBore BR30</p> <p>BR30-41CC06F-C3<br/>Tool</p> <p>CCMT 06 02 08-UM 4425<br/>Insert (3x)</p> </div> | 188 | 4   | 0,75  | 1670 | 2,5   |
|                                                                     | 6 | Фрезерування |  <div> <p>CoroBore BR30</p> <p>BR30-63CC09F-C5<br/>Tool</p> <p>CCMT 09 T3 12-PR 4425<br/>Insert (3x)</p> </div>                                                                                      | 190 | 3,5 | 0,9   | 1100 | 1,89  |
| $\sum T_o = 14,16 + 7,74 + 7,5 + 2,5 + 2,5 + 1,89 = 36,29\text{мм}$ |   |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |     |       |      |       |
| 30                                                                  | 1 | Фрезерування |  <div> <p>CoroMill 245</p> <p>RA245-076R25-12H<br/>Tool</p> <p>R245-12 T3 E-PL 4330<br/>Insert Face (8x)</p> </div>                                                                                | 340 | 0,1 | 0,21  | 1400 | 3,34  |
|                                                                     | 2 | Фрезерування |  <div> <p>CoroMill Plura HD</p> <p>2P342-2500-PB P2BM<br/>Tool</p> </div>                                                                                                                          | 400 | 0,1 | 0,254 | 6562 | 18,66 |

|                                                    |   |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |     |       |      |                           |
|----------------------------------------------------|---|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-------|------|---------------------------|
|                                                    | 3 | Розточування |  <div>  825-56TC09-C4<br/>Tool          TCMT 09 02 04-PF 4425<br/>Insert       </div> | 260 | 0,1 | 0,117 | 1720 | $\frac{7,5 \times 2}{15}$ |
| $\sum T_o = 3,34 + 18,66 + 15,0 = 37,0 \text{ мм}$ |   |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |     |       |      |                           |

$$\sum T_{\text{озаг}} = 40,84 + 118,99 + 111,75 + 36,29 + 37,0 = 344,87 \text{ мм}$$

## 2.11 Нормування технологічних операцій

### 2.11.1 Розрахунок штучного часу для операції

Нормування токарної операції з ЧПК 005 виконується по [12] що виконуються на верстатах з ЧПК в послідовності.

Призначається час  $T_{\text{вст.зн}}$ , хв для встановлення деталі вагою, кг до 8 в спеціальному пристрої. [12, с.56, карта 2].

$$T_{\text{вст.зн}} = 0,15$$

Розраховується машинно-допоміжний час  $t_{\text{м.в}}$ , хв, зв'язаний з виконанням допоміжних переходів і переміщень. Цей час складається з суми часів одночасного переміщення робочих органів верстата по осям Z та X: [12, с.605, табл. 12];

- прискореного – 0,03: ураховується 2 рази;
- установочного – 0,1: ураховується 1 раз;
- установочного в зоні різання – 0,04: ураховується 1 раз;
- повороту револьверної головки на одну позицію – 0,02: враховується 1 раз.

$$t_{\text{м.в.}} = 0,06 + 0,1 + 0,04 + 0,02 = 0,22$$

Допоміжний час  $T_{\text{доп}}$ , хв визначається за формулою

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{вст.зн}} + t_{\text{м.в.}} \quad (2.11.1)$$

$$T_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 2 + 0,22 = 0,52$$

Оперативний час  $T_{\text{оп}}$ , хв розраховується за формулою

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_{\text{вст.зн.}} + t_{\text{м.в.}} \quad (2.11.2)$$

$$T_{\text{оп}} = 40,48 + 0,3 + 0,22 = 41,0$$

Додатковий час  $T_{\text{дод}}$ , хв. становить 10% від оперативного часу по [12, с.605, табл. 12]

$$T_{\text{дод}} = 41 \cdot 0,1 = 4,1$$

Розраховується штучний час  $T_{\text{шт}}$ , хв за формулою

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}}, \quad (2.11.3)$$

$$T_{\text{шт}} = 41,0 + 4,1 = 45,1$$

Розраховується підготовчо-заклучний час,  $T_{\text{пз}}$ , хв за формулою

$$T_{\text{пз}} = T_{\text{пз1}} + T_{\text{пз2}} + T_{\text{пз3}}, \quad (2.11.4)$$

де  $T_{\text{пз1}}$  - затрати часу на прийоми підготовки до роботи, хв;

$T_{\text{пз2}}$  - затрати часу, що враховує додаткові прийоми, хв;

$T_{\text{пз3}}$  - час на пробну обробку деталі, хв.

Час  $T_{\text{пз1}}$ , хв складається з [12, с.605]:

- ознайомлення з документами та огляд заготовки = 4,0

- інструктаж майстра = 2,0

- встановлення робочих органів верстата в нульове положення = 4,0

- введення програми = 2,0

$$T_{\text{пз1}} = 4,0 + 2,0 + 4,0 + 2,0 = 12,0$$

Час, який враховує додаткові прийоми  $T_{пз2}$ , хв складається з [12 , с.605]:

- часу на складання інструмента = 2,0 хв;

- часу на отримання інструменту = 7,0 хв;

$$T_{пз2} = 2,0 + 7,0 = 9,0$$

Час на пробну обробку  $T_{пз3}$  , хв. приймається для обробки неточної деталі одним інструментом [12 ]:

$$T_{пз3} = 5,1$$

$$T_{пз} = 12 + 9 + 5,1 = 26,1$$

Штучно калькуляційний час  $T_{ш.к.}$ , хв розраховується за формулою

$$T_{ш.к.} = T_{шт} + \frac{T_n}{n} \quad (2.11.5)$$

$$T_{ш.к.} = 45,1 + \frac{26,1}{20} = 46,4$$

## 2.11.2 Нормування аналоговими методами

Далі розрахунки заносяться в таблиця 2.11.2

**Таблиця 2.11.2** – Зведена таблиця нормування часу [12]

| №   | $T_o$<br>хв | $T_{вст.зн}$<br>хв | $t_{м.в.}$<br>хв | $T_{пз}$<br>хв | $T_{шт}$ хв | $T_{доп}$<br>хв | $T_{дод}$<br>хв | $T_{оп}$ хв | $T_{шт.к}$<br>хв |
|-----|-------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------|------------------|
| 005 | 40,48       | 0,3                | 0,22             | 26,1           | 45,1        | 0,52            | 4,1             | 41,0        | 46,4             |
| 010 | 47,33       | 0,15               | 2,52             | 31,1           | 55,0        | 2,67            | 5               | 50,0        | 56,66            |
| 015 | 107,57      | 0,15               | 5,34             | 31,1           | 124,4       | 5,49            | 11,3            | 113,1       | 126,0            |
| 025 | 51,9        | 0,15               | 1,26             | 31,1           | 58,64       | 1,41            | 5,33            | 53,31       | 60,3             |
| 030 | 11,14       | 0,15               | 0,84             | 31,1           | 13,33       | 0,99            | 1,2             | 12,13       | 15,0             |

### 3 ПРОЄКТУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ

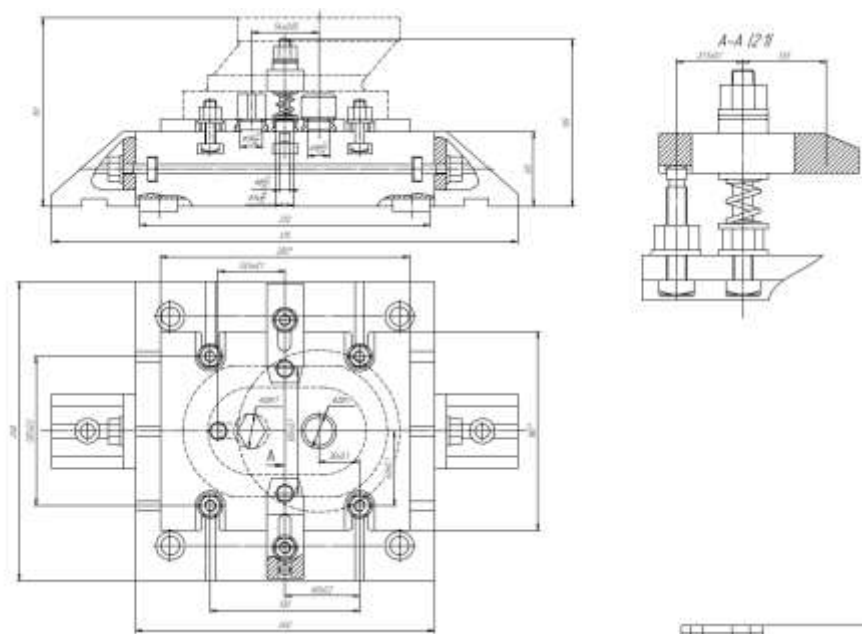
#### 3.1 Розроблення і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв

##### 3.1.1 Вихідні дані для розроблення конструкцій верстатних пристроїв[13]

Основним вихідними даними є:

- конструкторський документ на деталь і відповідну їй заготовку;
- розроблені технологічні документи на операцію на яку проектуємо пристрій та попередню операцію для враховування оброблених поверхонь;
- річна програма випуску деталей;
- альбом типових конструкцій верстатних пристроїв;
- паспортні дані металорізальних верстатів;
- визначити можливість обробки деталі в однісному пристрої.

Для виготовлення деталі «Фланець» використовуються 2 верстатних пристрої. Конструкція першого пристрою складається з плити, двох прихватів та пальців. Друга - включає плиту з циліндричним і зрізаним пальцями та 2 прихвати.



**Рисунок 3.1.1** –Креслення верстатного пристрою на 005 операцію

### **3.1.2 Послідовність розроблення конструкції пристрою**

Проектування пристроїв виконувалось у відповідності із алгоритмами, що передбачають таку послідовність дій [13,14,15]:

На даній стадії проектування потрібно створити послідовність технологічних операцій для обробки деталі “Фланець”. Ось кроки, які слід виконати:

1. Встановити параметри робочого ходу верстата, виміряти розміри столу та шпинделя, а також визначити відстані між ними та висоту центрів. Ці дані допоможуть визначити розміри пристроїв, які залежать від характеристик верстата.
2. Обрати метод базування деталі, виходячи з обраних базових поверхонь.
3. Якщо є заготовки, необхідно ознайомитися з їх конструкцією та станом базових поверхонь, а також виміряти фактичні розміри та відхилення для правильного вибору баз.
4. Визначити напрямок сил різання, точку їх прикладання та напрямок затиску.
5. Вирішити, де і в якій кількості розташувати установчі деталі пристрою, забезпечуючи, щоб сили різання сприймалися опорами, а не затискними пристроями.
6. Вибрати тип затискного пристрою, виходячи з типу пристрою та ритму випуску деталей.
7. Підібрати допоміжні деталі та механізми, до мінімізації ваги та габаритів пристрою, при цьому зберігаючи необхідну жорсткість та міцність.
8. Скласти специфікацію пристроїв, вказуючи використані стандарти ГОСТ.

#### ***Опис роботи пристрою для операції 010***

Пристрій на 005 операції працює, затискаючи заготовку двома пересувними підпружиненими прихватами, які встановлені на квадратну

плиту за допомогою пазових болтів та шпильок. Сама плита кріпиться до стола верстата за допомогою 2 кутників, це забезпечує швидкий демонтаж пристрою в зборі, що в свою чергу дає змогу швидко змінювати пристрої на верстаті. Базування деталі здійснюється за допомогою використання двох пальців, а саме циліндричного та зрізаного, такий спосіб базування забезпечує необхідне базування для отримання співвісності отворів та отримання якісної поверхні.

### **3.2 Теоретичні та методологічні основи проектування верстатних пристроїв**

#### **3.2.1 Розрахунок похибок базування [16]**

Під час визначення похибки базування  $\varepsilon_6$  для деталей, які обробляються на настроєних верстатах в умовах серійного та масового виробництва, доцільно використовувати лише частку від розрахованого значення  $\varepsilon_6$ . Це пов'язано з тим, що при розрахунку похибки базування розрахунки базуються на максимальних та мінімальних крайніх розмірах  $D$ . Ймовірність зустрічі компонентів з такими розмірами в умовах масового та серійного виробництва є мала, оскільки розподіл розмірів оброблюваних деталей зазвичай є нормальним. Тому для розрахунку похибки базування можна застосувати коефіцієнт  $k = 0,8 - 0,85$ . При цьому відсоток ризику буде дорівнювати 1-1,3%. Отже, похибка базування розраховуватиметься за формулою:  $(0,8 - 0,85)\varepsilon_6$ ; Максимальна сумарна похибка на спеціальній плиті щодо співвісності пальців складатиме приблизно 0,05-0,15 мм. Після множення на коефіцієнт отримаємо значення від 0,08 до 0,1 мм.

#### **3.2.2 Визначення похибок закріплення верстатного пристрою**

Похибка закріплення при закріпленні на палець та прихват:

Похибка закріплення на пальці= 0,01 мм;

### **3.3 Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв[13,14,15]**

#### **3.3.1 Розрахунок необхідної сили затиску заготовки Q**

Після аналізу технологічного процесу обробки деталі для операції 005, можна зробити висновок, що найбільші сили різання будуть при торцевому фрезеруванні. Тому розрахунок будемо проводити з умови рівноваги заготовки під час виконання саме цієї обробки.

Вихідні дані:

Оправка: QS-SDJCR 2020 11C

Ріжуча пластина : DCGX 11 T3 08-AL H10

Подача:  $S_z = 0,285 \text{ мм}$ ;

Швидкість різання:  $V = 277 \text{ м/хв}$ ;

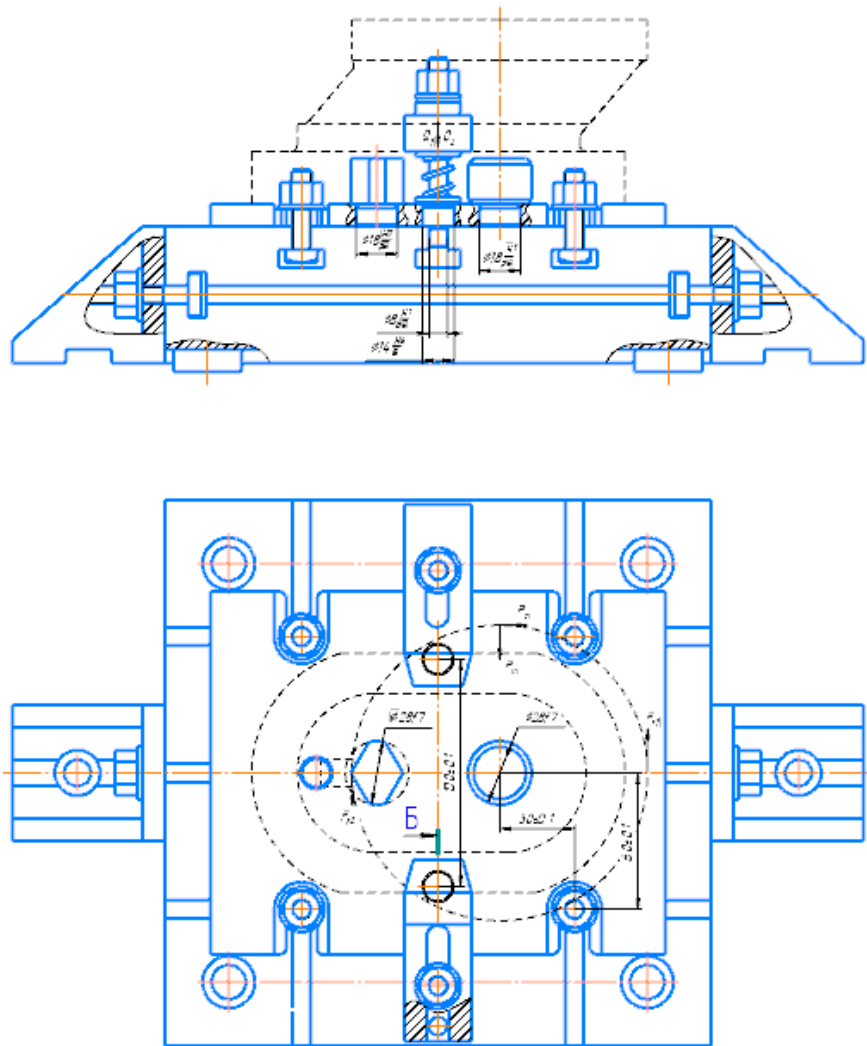
Частота обертання шпинделя:  $n = 2350 \text{ об/хв}$ ;

Тангенціальна складова сили різання:  $P_z = 1420 \text{ Н}$ ;

$$P_x = 1420 \cdot 0,55 = 781 \text{ Н}$$

#### **Зміщення заготовки в напрямку дії сили різання**

Конструкцію можна вважати жорскою, бо опорні елементи важільних механізмів короткі.



**Рисунок 3.3.1** - Схема сил, що діють на заготовку

Сила затиску, що створюється прихватом:  $Q = Q_1 = Q_2$

Рівняння рівноваги заготовки матиме вигляд:

$$K \cdot P_z = F_{t1} + F_{t2} = 2F_t = 2Q \cdot f_{оп}$$

Визначаємо необхідну силу затиску для двох схем та обираємо найбільшу:

$$Q_1 = \frac{P_z \cdot k}{2 \cdot f_{оп}} \quad (3.1)$$

де,  $k$  - коефіцієнт запасу

де  $K_0$  – гарантований коефіцієнт запасу, приймаємо 1.5.

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання через нерівномірність припуску на оброблюваних поверхнях, приймаємо 1,2. [13]

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання через затуплення різального інструмента ([13] таблиця 2), оскільки торцеве фрезерування приймаємо 1,2.

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання через переривчасте різання ([13] таблиця 3), приймаємо 1,2.

$K_4$  – коефіцієнт, що враховує вид приводу пристосування ([9] таблиця 3), оскільки ручний затиск приймаємо 1,3.

$K_5$  – коефіцієнт, що характеризує зручність розташування руків'я у ручних затискачах ([13] таблиця 3), приймаємо 1,0.

$K_6$  – коефіцієнт, що враховує наявність моментів, які прагнуть повернути заготовку на опорах ([13] таблиця 3), приймаємо 1,0.

$$k = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 3,4$$

$f_1 = 0,2$  – коефіцієнт тертя між пластною та заготовкою;

$$Q_1 = \frac{1420 \cdot 3,4}{0,4} = 12070 \text{ Н}$$

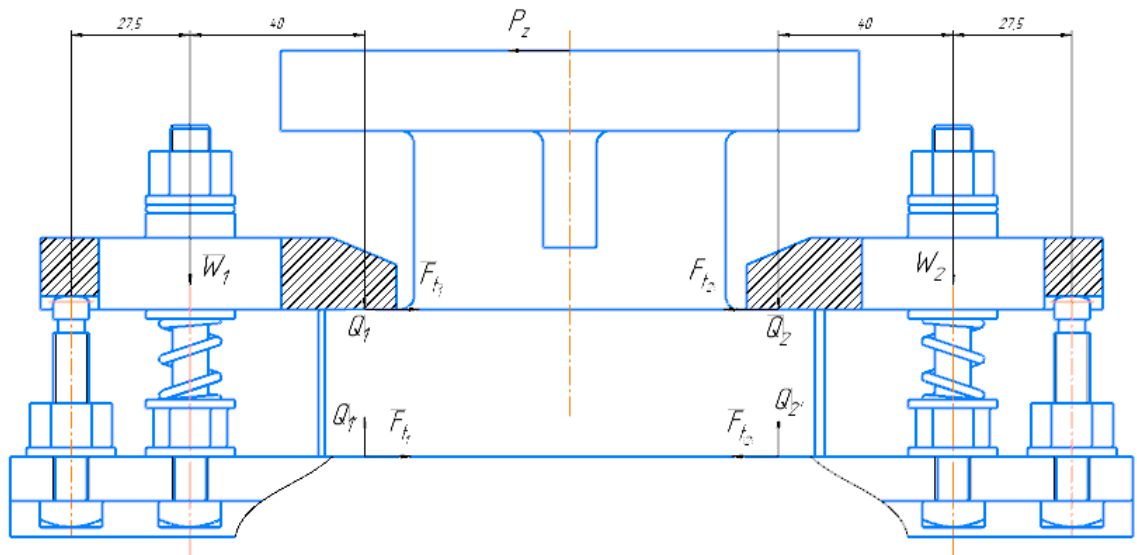
Зсув у напрямку сили  $P_x$ :

$$Q_2 = \frac{781 \cdot 3,4}{0,4} = 6638,5 \text{ Н}$$

Для подальших розрахунків обираємо найбільше значення сили закріплення  $Q_1 = 12070,0$ ;

Розраховуємо силу затиску  $Q$ , яка розвивається гвинтовим механізмом

Оскільки сила закріплення створюється двома затискачами однаково, то сила затиску  $Q = Q_1 = Q_2$



**Рисунок 3.3.2** - Схема сил в затискній системі пристрою та гвинтовий прихват

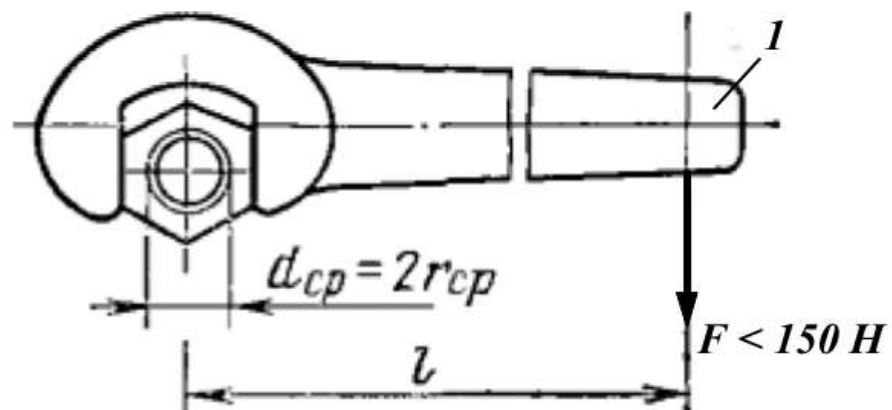
Розрахуємо силу  $W$ , яку з якою необхідно подіяти на затискач, для створення сили затиску  $Q$  з умови рівноваги:

$$W \cdot l \cdot \eta = Q \cdot (l_2)$$

$$W = \frac{Q \cdot (l_2)}{l_1 \cdot \eta} \quad (3.2)$$

$$W = \frac{12070 \cdot (40)}{27,5 \cdot 0,95} = 18480,4 \text{ H}$$

**Розрахунок сили, яку треба прикласти до ключа для затиску заготовки**



**Рисунок 3.3.3** - Схема для розрахунку сили  $F$ , яку необхідно прикласти до рукоятки ключа

Зусилля  $F_p$ , яке необхідно прислати за формулою :

$$F_p = \frac{W(r_{cp} \cdot tg(\alpha + \varphi) + 0,33 \cdot f \cdot \frac{D_H^3 - D_B^3}{D_H^2 - D_B^2})}{l} \quad (3.3)$$

де  $d$  – номінальний зовнішній діаметр різьби, приймаємо  $d = 12$  мм

$r_{cp}$  – середній радіус різьби  $r_{cp} = 0,45d = 5,4$  мм;

$\alpha$  – кут підйому гвинта різьби,  $\alpha \approx 2^\circ 30'$ ;

$\varphi_{пр}$  – приведений кут тертя,  $\varphi_{пр} \approx 6^\circ 30'$ ;

$f$  – коефіцієнт тертя,  $f = 0,16$ ;

$D_H$  – зовнішній діаметр опорного торця гайки,  $D_H = 18$  мм;

$D_B$  – внутрішній діаметр опорного торця гайки,  $D_B = d = 12$  мм

$l$  – довжина ключа,  $l = 300$  мм.

$$F_p = \frac{18480,4(5,4 \cdot tg(9^\circ) + 0,33 \cdot 0,16 \cdot 22,8)}{300} = 126,85 \text{ Н}$$

Працівник повинен уникати прикладання сили до ключа, яка перевищує 150 Н, аби не перевищити максимально дозволене навантаження. Таким чином, розрахунки підтверджують, що зусилля, яке працівник застосовує для надійного кріплення заготовки, відповідає встановленим стандартам.

### ***Опис роботи пристрою для операції 010***

Пристрій на 010 операції працює затискаючи заготовку двома пересувними підпружиненими прихватами з пружинами більшої довжини порівняно з 005, які встановлені на прямокутну плиту за допомогою пазових болтів та шпильок. Плита кріпиться до стола верстата за допомогою 2 кутників, це забезпечує швидкий демонтаж пристосування в зібраному вигляді, що в свою чергу дає змогу швидко змінювати пристрої на верстаті. Базування деталі здійснюється за допомогою використання двох пальців, а саме циліндричного та зрізаного, такий спосіб базування забезпечує необхідне базування для отримання співвісності отворів та отримання якісної поверхні.

Розрахунок затискної системи верстатного пристрою для операції 010 виконуємо аналогічно, з урахуванням певних особливостей.

Детально проаналізувавши технологічний процес оброблення деталі для операції 010, можна зробити висновок, що найбільші сили різання будуть утворюватися при фрезеруванні. Виходячи з цього розрахунок будемо проводити за умови рівноваги заготовки при цій обробці аналогічно до операції 005.

Вихідні дані:

Оправка: BR20-90CN12F-C6

Ріжуча пластина : CNMU 12 04 16-PR 4425

Подача:  $S_z = 0,06 \text{ мм}$ ;

Швидкість різання:  $V = 8,03 \text{ м/хв}$ ;

Частота обертання шпинделя:  $n = 160 \text{ об/хв}$ ;

Тангенціальна складова сили різання:  $P_z = 756,5 \text{ Н}$ ;

$$Q_1 = \frac{756,5 \cdot 3,4}{0,4} = 6430,25 \text{ Н}$$
$$W = \frac{6430,25 \cdot (37,5 + 26,5)}{26,5 \cdot 0,95} = 16347,1 \text{ Н}$$

Розрахунок сили, яку необхідно прикласти до ключа для затиску заготовки за формулою 3.3

$$F_p = \frac{16347,1(5,4 \cdot \text{tg}(9^\circ) + 0,33 \cdot 0,16 \cdot 22,8)}{300} = 127,4 \text{ Н}$$

Працівник повинен уникати прикладання сили до ключа, яка перевищує 150 Н, аби не перевищити максимально дозволене навантаження. Таким чином, розрахунки підтверджують, що зусилля, яке працівник застосовує для надійного кріплення заготовки, відповідає встановленим стандартам.

## **ВИСНОВКИ**

Виходячи з технічного завдання до дипломного проекту було розроблено технологічний процес оброблення деталі «Фланець», при цьому виконані усі розрахунки та обґрунтування, передбачені завданням. У конструкторському розділі проекту було виконано проектування та розрахунок пристроїв для двох операцій, а також створено їх складальні креслення. Розроблені технічні креслення заготовки, деталі, оснащення, технологічні карти. В дослідницькій частині виконаний аналіз та оцінка якості посадки, що утворюється при складанні вузла, на основі якого були виявлені проблеми, для усунення яких запропоновано використання методу селективного складання.

Були також створені “Маршрутна Карта”, “Операційна Карта” для всіх операцій та “Карта ескізів”. Вся робота була виконана з дотриманням стандартів, з використанням CAD/CAM-систем.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Біланенко, В. Г. Проектування технологічних процесів. Частина 1. Оброблення деталей-тіл обертання. [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій «Технології машинобудування» та «Технології виготовлення літальних апаратів» / В. Г. Біланенко, В. П. Приходько, О. О. Мельник ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 232 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27740>
2. Приходько В.П. РОЗМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» – Електронні текстові дані (1 файл: pdf.- 15.2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38826>
3. ГОСТ1412-85. Чавун с пластинчастим графітом для виливок. Url: <https://symvol.ua/poleznoe/otlivki-iz-chugunov/otlivki-iz-serogo-chuguna-sch/>
4. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Проектування та виробництво заготовок» для студентів спеціальності 131. «Прикладна механіка». Проектування та виробництво литих заготовок. (Частина I). Укладачі: Добрянський С.С., к.т.н., доц., Малафєєв Ю.М., к.т.н., доц. / НТУУ «КПІ», 2017. - 42ст.
5. ДСТУ 8833.2019. Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови.
6. HAAS UMC-750. URL:<https://www.haascnc.com/fr/machines/vertical-mills/universal-machine/models/umc-750.html/>
7. Справочник технолога-машиностроителя в 2-х томах Т1. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова – 4-е изд. переработанное и дополненное – М.: Машиностроение. 1986г. – 656 с.

8. Справочник технолога-машиностроителя В 2-х томах Т2. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова – 4-е изд. переработанное и дополненное – М.: Машиностроение. 1986г. – 496 с.

9. Теорія різання [Електронний ресурс] : Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с  
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48280>

10. Калькулятор інструменту та режимів різання Sandvik Coromant.  
URL: <http://surl.li/hdldg/>

11. Різальний інструмент. [Електронний ресурс] : Навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Технологія машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л. М. Данилова, С. В. Лапковський, В. П. Приходько. – Електронні текстові дані (1 файл 12,92 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 147 с. – Назва з екрана.  
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/55701>

12. "Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. Часть 2. Нормативы режимов резания" - М.: Экономика, 1990 г.

13. Приходько В.П. РОЗРОБЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЙ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ. Методичні матеріали до виконання курсового і дипломного проєктів [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» – Електронні текстові дані (1 файл: pdf.- 4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 89 с. Доступ: [\https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47783\](https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47783)

14. Приходько В.П. Проектування оснащення верстатів, роботів і машин [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізацією «Комп'ютерне проектування верстатів, роботів і машин» / НТУУ «КПІ ім.

Ігоря Сікорського» ; уклад. В. П. Приходько, О. В. Литвин. – Електронні текстові дані (1 файл: 22,0 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 211 с. . – Доступ : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/22775> Каф.КВМ і ТМ

15. "Технологічна оснастка. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт"- Медведєв В.В., Павліченко П.О. - Київ: НТУУ "КПІ", 2020.

16. Конспект лекцій з дисципліни «Технологічна Оснастка - 1» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій «Технології машинобудування» / В.В. Медведєв ; КПІ ім.І.Сікорського. Київ, 2020 – 68 с.

17. "ГОСТ 2.316-68. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц"

18. В.І.Ковбаса., В.П Приходько. Статичний аналіз та оцінка забезпечення посадки. *Іновації молоді в машинобудуванні*. Київ. Національний Університет України “Київський Політехнічний Інститут ім. Ігоря Сікорського” 2024.