

**Міністерство освіти і науки України**  
**Луцький національний технічний університет**  
**Факультет транспорту та механічної інженерії**  
**Кафедра прикладної механіки та мехатроніки**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ**  
**ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ**  
**ДЕТАЛЕЙ З РОЗРОБКОЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**  
**МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ КРИШКИ 00.006**

спеціальність      131 Прикладна механіка  
освітня програма      Прикладна механіка

Виконав: здобувач вищої освіти  
Групи ІМм-21  
**Трояк Микола Володимирович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник:  
к.т.н., доцент  
Гулієва Наталія Михайлівна

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
к.т.н., доцент  
Гарант освітньої програми:  
Четвержук Тарас Іванович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Луцьк – 2024 року

Луцький національний технічний університет

**Факультет:** транспорту та механічної інженерії

**Кафедра:** прикладної механіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: магістр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(Редько Р.Г.)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**  
Трояку Миколі Володимировичу

1. Тема кваліфікаційної роботи Проектування механічного цеху для виготовлення деталей з розробкою технологічного процесу механічної обробки кришки 00.006.

Керівник роботи Гулієва Наталія Михайлівна, к.т.н., доцент.

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 30 ” грудня 2023 р. № 461/01-02

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 12.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Креслення деталі кришка 00.006, річна програма випуску 70000шт/рік, нормативні дані.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):  
Анотація. Вступ. Розділ 1. Загальна частина. Розділ 2. Технологічна частина. Розділ 3. Конструкторська частина. Розділ 4. Науково-дослідна частина 5. Проектування механічного цеху. Загальні висновки. Список використаної літератури. Додатки.

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

Креслення деталі – 1 лист (ф. А2), КН – 1 лист (ф. А2), складальне креслення верстатного пристрою – 1 лист (ф.А1), складальне креслення контрольного пристрою – 1 лист (ф.А1), план цеху – 1 лист (ф.А1).

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

04.09.2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Загальна частина</i>	<i>17.09.2024р.</i>	
2.	<i>Технологічна частина</i>	<i>23.09.2024р.</i>	
3.	<i>Конструкторська частина</i>	<i>13.10.2024р.</i>	
4.	<i>Науково-дослідна частина</i>	<i>11.11.2024р.</i>	
5.	<i>Проектування механічної дільниці</i>	<i>18.11.2024р.</i>	
6.	<i>Висновки та пропозиції</i>	<i>25.11.2024р.</i>	
7.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	<i>25.11.2024р.</i>	
8.	<i>Формування додатків</i>	<i>25.11.2024р.</i>	
9.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	<i>01.12.2024р.</i>	
10.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>01.12.2024р.</i>	
11.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>01.12.2024р.</i>	
12.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи магістра до захисту</i>	<i>03.12.2024р.</i>	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_

Трояк М.В.

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_

Гулієва Н.М.

## АНОТАЦІЯ

Трояк М. В. Проектування механічного цеху для виготовлення деталей з розробкою технологічного процесу механічної обробки кришки 00.006. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаної літератури, додатків.

У роботі досліджено нові технології та обладнання для оптимізації процесу механічної обробки кришки. Цей процес є важливим етапом в виробничому процесі при виготовленні різної продукції із металу, пластику, скла тощо.

У дослідженні розглядаються різні методи та підходи для забезпечення якісного та ефективного процесу механічної обробки кришки, такі як: використання новітньої техніки, розробка нових інструментів і матеріалів для обробки, вдосконалення методів контролю за процесом обробки та інші.

Результатом даного дослідження буде розробка новітніх технологій та обладнання, що дозволять значно поліпшити якість та продуктивність процесу механічної обробки кришки.

Ключові слова: механічна обробка, технологічний процес, проектування, дільниця, інструмент, обладнання, кришка.

## ABSTRACT

Troyak M. V. Designing a mechanical workshop for the production of parts with the development of the technological process of mechanical processing of the cover 00.006. Manuscript.

Master's qualification work of OP "Applied Mechanics" specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2024.

The master's thesis consists of an introduction, 5 chapters, general conclusions, a list of references, and appendices.

In the work, new technologies and equipment for optimizing the process of mechanical processing of the lid are investigated. This process is an important stage in the production process in the manufacture of various products from metal, plastic, glass, etc.

The study considers various methods and approaches to ensure a high-quality and efficient process of mechanical processing of the cover, such as: use of the latest technology, development of new tools and materials for processing, improvement of methods of control of the processing process, and others.

The result of this research will be the development of the latest technologies and equipment, which will allow to significantly improve the quality and productivity of the lid machining process.

Key words: mechanical processing, technological process, design, site, tool, equipment, cover.

## ЗМІСТ

Вступ	7
Розділ 1. Загальна частина	9
1.1 Службове призначення і характеристика об'єкта виробництва	9
1.2 Вибір оптимального методу одержання заготовки	9
1.3 Вибір методу обробки поверхні	11
1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва	14
1.5 Висновок та постановка завдань на дослідження	21
Розділ 2. Технологічна частина	22
2.1 Аналіз технологічності конструкції	22
2.2 Вибір технологічних баз	24
2.3 Визначення допусків на технологічні розміри і розрахунок припусків	26
Розділ 3. Конструкторська частина	30
3.1 Проектування технологічного обладнання	30
3.2 Проектування контрольного пристрою	33
Розділ 4. Науково-дослідна частина	35
4.1 Створення керуючої програми в додатку FeatureCAM	35
4.2 Розробка програми для обробки деталі на верстаті з ЧПУ	36
Розділ 5. Проектування механічного цеху	43
5.1 Уточнення типу виробництва	43
5.2 Визначення кількості працівників	45
5.3 Визначення кількості обладнання для цеху	48
5.4 Розрахунок роботи транспортних засобів	55
Загальні висновки	56
Список використаної літератури	57
Додатки	62

## ВСТУП

Актуальність теми. Машинобудування є однією з важливих галузей економіки, яка забезпечує високу якість і точність виготовлення виробів, зокрема деталей машин. Його розвиток значною мірою визначає технічний прогрес і зростання всіх секторів господарства, а також підвищення технологічної культури.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка проекту механічного цеху для виготовлення деталей із забезпеченням ефективної організації виробництва, а також створення прогресивного технологічного процесу механічної обробки деталі кришка 00.006, що відповідає сучасним вимогам якості, продуктивності та економічності.

Завдання роботи:

- 1) провести аналіз конструкції та функціонального призначення деталі кришка 00.006;
- 2) обґрунтувати вибір матеріалу для виготовлення деталі та методів її обробки;
- 3) розробити маршрут технологічного процесу механічної обробки деталі із застосуванням сучасного обладнання та технологій;
- 4) розрахувати режими різання, вибрати інструменти та допоміжні пристрої для забезпечення точності та якості обробки;
- 5) розробити планувальне рішення механічного цеху з урахуванням раціонального розташування обладнання, зручності обслуговування та безпеки праці;
- 6) виконати техніко-економічні розрахунки для оцінки ефективності запропонованого проекту;
- 7) забезпечити дотримання норм безпеки під час проектування технологічного процесу та організації роботи цеху;
- 8) підготувати креслення, технічну документацію до проекту.

Предметом дослідження є проектування механічного цеху для виготовлення деталей, зокрема технологічного процесу механічної обробки деталі кришка 00.006.

Методи дослідження: аналіз технічної літератури та нормативної документації; методи інженерного розрахунку; техніко-економічний та порівняльний аналіз.

Наукова новизна одержаних результатів. Використано нові підходи до вибору обладнання та інструментів, які забезпечують підвищену продуктивність за рахунок впровадження інноваційних технологій обробки.

Практичне значення одержаних результатів. Запропонований технологічний процес обробки деталі кришка 00.006 може бути адаптований для виготовлення аналогічних деталей, що сприяє підвищенню гнучкості виробництва.

Особистий внесок магістранта. У роботі, опублікованій автором, автору належать модернізація ручного приводу для обертання стріли маніпулятора, що дозволяє покращити технічні характеристики, зокрема пропонується змінити ручний привід на електромеханічний привід, що забезпечить маневреність управління маніпулятором і раціональнішу ергономіку, а також позбавить оператора від виконання ручної праці.

Апробація результатів роботи виконана на IV Студентській науково-технічній конференції, Луцьк, 2024.

Публікації. За результатами роботи на IV Студентській науково-технічній конференції опублікована 1 теза.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 1.1 Службове призначення і характеристика об'єкта виробництва

Кришка такого типу використовується в редукторах для запобігання розбризкування мастила та потраплянню сторонніх предметів у робочу зону, яке допомагає зберігати чистоту робочої зони, захищає механізми від попадання бруду та сторонніх часток, що може негативно вплинути на їхню ефективність. Завдяки цьому компоненту забезпечується стабільна робота редуктора та продовжується термін його служби. Кришка також допомагає підтримувати оптимальний температурний режим, зменшуючи ризик перегріву.

Матеріал, з якого виготовлена кришка, є сірий чавун, що забезпечує високу міцність і стійкість до зношування. Сірий чавун СЧ15, відповідно до ДСТУ 8833:2019, має хороші механічні властивості та хорошу оброблюваність, що робить його ідеальним для виготовлення деталі [1]. Хімічний склад цього матеріалу представлений у таблиці 1.1, що забезпечує необхідні характеристики для витримування навантажень та термічних впливів.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад чавуну марки СЧ15, %

C	Si	Mn	S	P	Fe
3,5-3,7	2-2,4	0,5-0,8	до 0,15	до 0,2	залишок

#### 1.2 Вибір оптимального методу одержання заготовки

Вибір методу виготовлення заготовки залежить від кількох факторів: матеріалу деталі, її призначення, механічних вимог до виробництва, об'єму та серійності випуску, а також форми поверхні і розмірів деталі [2].

Оптимальний метод визначається на основі комплексного аналізу цих факторів та механіко-економічного розрахунку технологічної собівартості деталі. Найкращим вважається той метод, який забезпечує технологічність виготовлення деталі при найнижчій собівартості.

Для виготовлення кришки використовується сірий чавун СЧ15, що робить лиття найбільш вигідним методом. Вартість заготовки, отриманої литтям, визначаємо за формулою:

$$S_{заг.} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_g \cdot k_M \cdot k_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх.}}{1000}, \quad (1.1)$$

де  $C_i$  – вартість сировини для виготовлення 1 т заготовки,  $C_i \approx 30000$ грн;

$S_{відх.}$  – вартість відходів 1 т заготовки  $S_{відх.} \approx 10000$ грн;

$k_m, k_c, k_g, k_M, k_n$  – коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, марки матеріалу та об'єму виробництва заготовок [3],  $k_m = 1$ ;  $k_c = 0,62$ ;  $k_g = 0,05$ ;  $k_M = 1,07$ ;  $k_n = 1,16$ ;

$Q, q$  – вага заготовки й деталі;  $Q = 1,2$ кг,  $q = 1,01$ кг.

Розрахуємо вартість заготовок одержаних методом лиття в пісчано-глиняні форми становить:

$$S_{заг.} = \left( \frac{30000}{1000} 1,2 \cdot 1,00 \cdot 0,62 \cdot 0,50 \cdot 1,07 \cdot 1,16 \right) - (1,2 - 1,01) \frac{10000}{1000} = 11,95 \text{грн.}$$

Обчислюємо вартість заготовок одержаних методом лиття в кокіль за формулою (1.1), де для даного методу коефіцієнти будуть наступними:  $k_m = 1$ ;  $k_c = 0,62$ ;  $k_g = 0,05$ ;  $k_M = 1,07$ ;  $k_n = 1,16$ :

$$S_{заг.} = \left( \frac{30000}{1000} \cdot 1,2 \cdot 1,00 \cdot 0,85 \cdot 0,4 \cdot 1,23 \cdot 1,23 \right) - (1,2 - 1,01) \cdot \frac{10000}{1000} = 16,62 \text{грн.}$$

Визначаємо економічний ефект за формулою:

$$E_з. = (S_{заг.1} - S_{заг.2}) \cdot N, \quad (1.2)$$

де  $N$  – програма випуску.

$$E_3 = (16,62 - 11,95) \cdot 70000 = 326900 \text{ грн.}$$

Таким чином, дешевше виготовити заготовку методом лиття в пісчано-глиняні форми, де економічний ефект становить 326900 грн.

### 1.3 Вибір методу обробки поверхні

При виборі методу обробки поверхонь заготовки враховуються такі фактори: службове призначення деталі, функціональні вимоги до поверхонь, точність, шорсткість, геометрична форма тощо [4]. Обробка поверхонь виконується в кілька переходів, на кожному з яких застосовується свій вид обробки (від чорнової до чистової). Для деяких поверхонь, до яких не виносяться високі вимоги, достатньо лише чорнової обробки. Загальне уточнення:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_0}; \quad (1.2)$$

$$\varepsilon = \frac{720}{42} = 17,14.$$

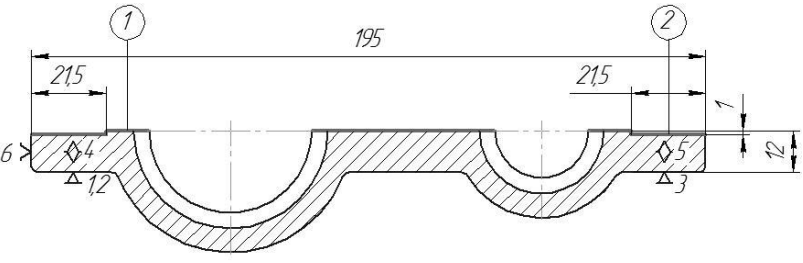
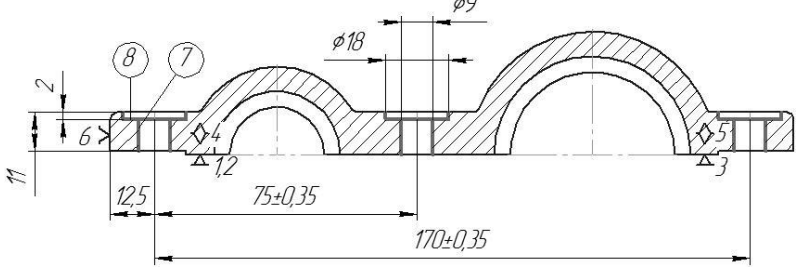
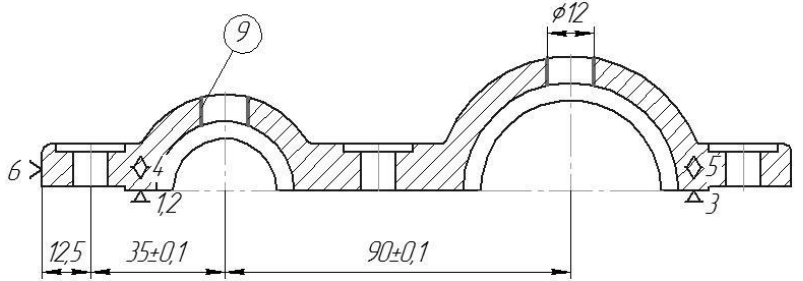
$$n = \frac{\lg 17,14}{0,46} = 3.$$

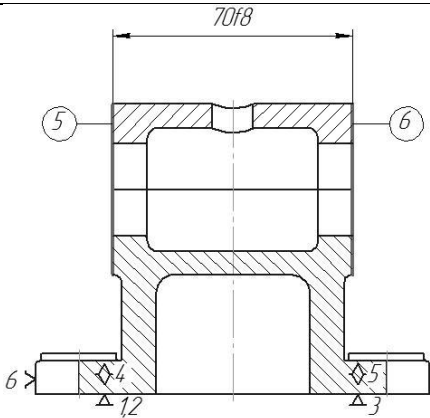
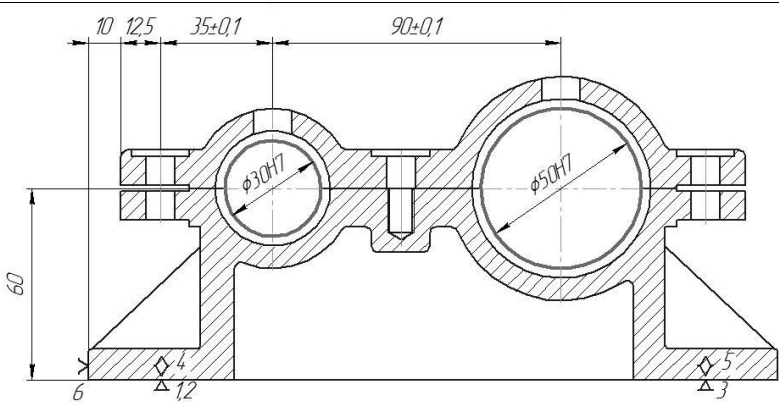
Наприклад, для деталі шириною 70 мм з допуском f8. Заготовка виготовляється методом лиття в кокіль і має точність h14.

Після чорнової обробки точність зростає з h14 до h11 (на 3 квалітети); після чистової обробки – з h11 до f8 (на 3 квалітети), що відповідає

рекомендаціям щодо вибору методу обробки з економічної точки зору. Технологічний процес обробки заготовки наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технологічний процес обробки заготовки

Ескіз	Назва
1	2
	<p>010 Вертикально-фрезерна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Фрезерувати поверхню кришки 1 начорно</li> <li>2) Фрезерувати поверхню кришки 1 начисто</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>3) Фрезерувати поверхню кришки 2 начорно</li> </ol>
	<p>015 Вертикально-свердлильна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Свердлити 6 отвір 7 та 8 послідовно</li> </ol>
	<p>020 Вертикально-свердлильна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Свердлити 2 отвір 9 послідовно</li> </ol>

1	2
	<p>030 Горизонтально-фрезерна</p> <p>1) Фрезерувати поверхні 5 та 6 начорно</p> <p>Фрезерувати поверхні 5 та 6 начисто</p>
	<p>035 Горизонтально-розточувальна</p> <p>1) Розточити поверхні 3 та 4 начорно</p> <p>Розточити поверхні 3 та 4 начисто</p>

#### 1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва

В умовах ринкової економіки [5] річна програма випуску виробу становить:

$$N_{\text{зан.}} = N_{\text{вип.}} \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{100} + \frac{\beta}{100} + \frac{\gamma}{100}\right), \quad (1.3)$$

де  $N_{\text{вип.}} = 70000$  шт;

$\alpha$  – дефекти від 3 до 5 %;

$\beta$  – незавершене виробництво від 2 до 10 %;

$\gamma$  – запасні частини від 2 до 10 %;

Таким чином:

$$N_{\text{зат}} = 70000 \cdot \left(1 + \frac{3}{100} + \frac{7}{100} + \frac{5}{100}\right) = 80500 \text{ шт.}$$

Для кожної технологічної операції визначаємо як суму основного часу за всіма переходами, що входять у дану операцію. Штучно-калькуляційний час визначається за формулою:

$$T_{\text{ш.-к.}} = T_o \cdot \varphi_k \quad (1.4)$$

де  $\varphi_k$  – коефіцієнт відносно типу виробництва та методу обробки поверхні [6].

Технологічний процес обробки

010 Вертикально-фрезерна

1) Фрезерувати поверхню 1 начорно

$$T_o = 6 \cdot L \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 196 \cdot 10^{-3} = 1,18;$$

2) Фрезерувати поверхню 1 начисто

$$T_o = 4 \cdot L \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 196 \cdot 10^{-3} = 0,78;$$

3) Фрезерувати поверхню 2 начорно

$$T_o = 6 \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 6 \cdot 22 \cdot 10^{-3} = 0,132;$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{ш.-к}} = T_o \cdot \varphi_k = 2,09 \cdot 1,51 = 3,156.$$

015 Вертикально-свердлильна

1) Свердлити отвір 7 начорно

$$T_o = 0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} \cdot 6 = 0,52 \cdot 9 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 6 = 0,337;$$

2) Зенкувати отвір 8 начорно

$$T_o = 0,21 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} \cdot 6 = 0,21 \cdot 19 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 6 = 0,048;$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{ш.-к}} = T_o \cdot \varphi_k = 0,385 \cdot 1,50 = 0,578.$$

020 Вертикально-свердлильна

1) Свердлити отвір 9 начорно

$$T_o = 0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 0,52 \cdot 12,5 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 0,01;$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{ш-к} = T_o \cdot \varphi_k = 0,01 \cdot 1,50 = 0,15.$$

030 Горизонтально-фрезерна

1) Фрезерувати площини 5 і 6 начорно

$$T_o = 7 \cdot l \cdot 10^{-3} = 7 \cdot 152 \cdot 10^{-3} = 1,064;$$

2) Фрезерувати площини 5 і 6 начисто:

$$T_o = 4 \cdot l \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 152 \cdot 10^{-3} = 0,608;$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{ш-к} = T_o \cdot \varphi_k = 1,672 \cdot 1,50 = 2,508.$$

035 Горизонтально-розточувальна:

1) Розточити отвори 3 і 4 начорно:

$$T_o = 0,3 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,3 \cdot 32 \cdot 70 \cdot 10^{-3} = 0,672;$$

2) Розточити отвори 3 і 4 начисто:

$$T_o = 0,43 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,43 \cdot 32 \cdot 70 \cdot 10^{-3} = 0,963;$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{ш-к} = T_o \cdot \varphi_k = 1,635 \cdot 1,5 = 2,453.$$

040 Контрольна

Нормативний коефіцієнт завантаження обладнання  $\eta_{з.н.}$ . Для обчислення масового й великосерійного виробництва він знаходиться в межах від 0,65 до 0,75. Обираємо  $\eta_{з.н.} = 0,65$ .

Обчислюємо розрахункову кількість обладнання, яка необхідна для виконання операції:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot F_{\partial} \cdot \eta_{з.н.}}, \quad (1.5)$$

де  $N$  – програма випуску за рік, шт.;

$T_{ш-к}$  – штучно-калькуляційний час;

$F_d$  – дійсний річний фонд роботи обладнання ( $F_d=4055 \text{ год}$ );

$\eta_{з.н.}$  – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання.

Заокруглюємо  $m_p$  у більшу сторону й отримуємо  $P$  кількість робочих місць:

010 Вертикально-фрезерна

$$m_p = \frac{70000 \cdot 3,156}{60 \cdot 4055 \cdot 0,65} = 1,4;$$

$$P = 2.$$

015 Вертикально-свердлильна

$$m_p = \frac{70000 \cdot 0,578}{60 \cdot 4055 \cdot 0,65} = 0,256;$$

$$P = 1.$$

020 Вертикально-свердлильна

$$m_p = \frac{70000 \cdot 0,15}{60 \cdot 4055 \cdot 0,65} = 0,066;$$

$$P = 1.$$

030 Горизонтально-фрезерна

$$m_p = \frac{70000 \cdot 2,508}{60 \cdot 4055 \cdot 0,65} = 1,11;$$

$$P = 2.$$

035 Горизонтально-розточувальна

$$m_p = \frac{70000 \cdot 2,453}{60 \cdot 4055 \cdot 0,65} = 1,086;$$

$$P = 2.$$

4. Обчислюємо коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{m_p}{P}. \quad (1.6)$$

Якщо  $\eta_{з.ф.} > \eta_{з.н.}$ , то P потрібно збільшувати доки не буде виконуватись умова  $\eta_{з.ф.} < \eta_{з.н.}$ .

010 Вертикально-фрезерна

$$\eta_{з.ф.} = \frac{1,4}{2} = 0,7.$$

015 Вертикально-свердлильна

$$\eta_{з.ф.} = \frac{0,256}{1} = 0,256.$$

020 Вертикально-свердлильна

$$\eta_{з.ф.} = \frac{0,066}{1} = 0,066.$$

030 Горизонтально-фрезерна

$$\eta_{з.ф.} = \frac{1,1}{2} = 0,55.$$

035 Горизонтально-розточувальна

$$\eta_{з.ф.} = \frac{1,086}{2} = 0,543.$$

5. Кількість операцій:

$$O = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.}} \quad (1.7)$$

010 Вертикально-фрезерна

$$O = \frac{0,65}{0,7} = 0,93.$$

015 Вертикально-свердлильна

$$O = \frac{0,65}{0,256} = 2,54.$$

020 Вертикально-свердлильна

$$O = \frac{0,65}{0,066} = 9,85.$$

030 Горизонтально-фрезерна

$$O = \frac{0,65}{0,55} = 1,18.$$

035 Горизонтально-розточувальна

$$O = \frac{0,65}{0,543} = 1,2.$$

Обчисленні дані вносимо в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Визначення кількості верстатів та операцій

Операції	$T_{ш-к}$	$m_p$	P	$\eta_{з.ф.}$	O
010	3,156	1,400	2	0,700	0,93
015	0,578	0,256	1	0,256	2,54
020	0,150	0,066	1	0,066	9,85
030	2,508	1,110	2	0,550	1,18
035	2,453	1,086	2	0,543	1,20

Обчислюємо суму  $O$  та  $P$ .

$$\sum O = 0,93 + 2,54 + 9,85 + 1,18 + 1,2 = 15,7;$$

$$\sum P = 2 + 1 + 1 + 2 + 2 = 8.$$

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операції:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{15,7}{8} = 1,96.$$

Оскільки  $1 < 1,96 < 10$ , то виробництво багатосерійне.

Організаційна форма виробництва.

Добовий випуск виробів:

$$N_c = \frac{N}{254}, \quad (1.8)$$

де  $N$  – річна програма випуску;

254 – кількість робочих днів у році.

$$N_c = \frac{70000}{254} = 276 \text{ шт}$$

Добова продуктивність поточної лінії:

$$Q_c = \frac{F_c}{T_{шк-ср}} \cdot \eta_{з.ф.ср.}, \quad (1.9)$$

де  $F_c$  – добовий фонд роботи обладнання (при 2-х змінній роботі  $F_c = 952$  хв);

$T_{шк-ср}$  – середній штучно-калькуляційний час всіх операцій.

$$T_{шк-ср} = \frac{\sum T_{ш-к}}{n}, \quad (1.10)$$

де  $n$  – кількість операцій.

$$\eta_{з.ф.ср.} = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_{з.ф.і.}}{n}. \quad (1.11)$$

$$\eta_{з.ф.ср.} = \frac{0,7+0,256+0,066+0,55+0,543}{5} = 0,423.$$

$$T_{шк-ср} = \frac{3,156 + 0,578 + 0,150 + 2,508 + 2,453}{5} = 1,769.$$

$$Q_c = \frac{952}{1,769} \cdot 0,423 = 228 \text{ шт}$$

Якщо  $Q_c < N_c = 228 < 296$ , то маємо потокову форму організації виробництва.

Такт випуску виробів:

$$t_6 = \frac{60 \cdot F_0}{N}, \quad (1.12)$$

де  $F_0 = 4055$  год;

$N$  – програма випуску.

$$t = \frac{60 \cdot 4055}{70000} = 3,48 \text{ хв}$$

### 1.5 Висновок та постановка завдань на дослідження

У даному розділі було визначено службове призначення і характеристика об'єкта виробництва, здійснено вибір оптимального методу одержання заготовки та методу обробки поверхні, визначення типу та організаційної форми виробництва маємо потокову форму організації виробництва.

Постановка завдань на дослідження:

1. Здійснити огляд та аналіз літератури.
2. Провести розрахунки припусків на механічну обробку.
3. Вибрати і розрахувати пристосування для фрезерної операції.
4. Вибрати контрольний пристрій та виконати розрахунки для контрольного пристрою.
5. Виконати уточнення технологічного процесу виробництва деталі «Кришка».
6. Виконати розрахунки роботи цеху.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 2.1 Аналіз технологічності конструкції

Технологічність деталі оцінюється за двома критеріями: якісним та кількісним [7].

##### Якісна оцінка технологічності

Деталь «Кришка» є пластинчастою і призначена для захисту від потрапляння сторонніх предметів у внутрішні елементи корпусу. Її розміри: довжина 195 мм, ширина 70 мм, висота 35 мм.

Установча поверхня деталі забезпечує з'єднання деталі Кришка 00.006 з корпусом. Поверхня оброблена до висоти 12 мм від базової площини, зі шорсткістю  $Ra=2,5$ . Дві додаткові площини розміром  $21,5 \times 65$  мають шорсткість  $Ra=10$ .

Торцеві поверхні шириною 70f8 мм обробляються на довжину 150 мм зі шорсткістю  $Ra=2,5$ . Внутрішні радіальні поверхні  $\varnothing 30H7$  та  $\varnothing 50H7$  оброблені на всю ширину заготовки зі шорсткістю  $Ra=1,25$ .

Шість отворів діаметром  $\varnothing 9$  мм висвердлюються на глибину 12 мм, разом із шістьма отворами  $\varnothing 18 \times 2$  мм, і мають шорсткість  $Ra=10$ . Ці отвори служать для кріплення деталі до корпусу. Два отвори  $\varnothing 12$  мм обробляються на глибину 10 мм із шорсткістю  $Ra=10$ .

##### Кількісна оцінка технологічності

Кількісна оцінка технологічності проводиться за коефіцієнтами уніфікації, стандартизації, точності обробки поверхні, якості обробки (шорсткості поверхонь) та коефіцієнтом використання матеріалу. Оскільки корпус підшипника містить як плоскі, так і циліндричні поверхні, визначаємо коефіцієнти уніфікації для цих елементів окремо.

Обчислимо коефіцієнт уніфікації елементів та зведемо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Квалітети точності

$A_i$	$n_i$	$A_i \times n_i$
f8	1	8
H7	2	14
H11	2	22
	$\sum = 5$	$\sum = 44$

$$A_{сер.} = \frac{44}{5} = 8,8.$$

$$K_{Т.О} = 1 - \frac{1}{8,8} = 0,88 > 0,8 \Rightarrow \text{отже, деталь технологічна.}$$

Коефіцієнт якості обробки (шорсткості поверхонь):

$$K_{ш.} = \frac{1}{B_{сер.}} < 0,32, \quad (2.1)$$

де  $B_{сер.}$  – середня шорсткість поверхонь по ряду  $R_a$ , мкм.

Шорсткості на поверхні вносимо у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Шорсткості на поверхні

$B_i$	$n_i$	$B_i \cdot n_i$
10	17	170
2,5	3	7,5
1,25	4	5
	$\sum = 24$	$\sum = 182,5$

$$B_{сер.} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (2.2)$$

де  $n_i$  – кількість оброблених поверхонь.

$$B_{сер.} = \frac{182,5}{24} = 7,6;$$

$$K_{ш.} = \frac{1}{7,6} = 0,13 \Rightarrow \text{отже, деталь технологічна.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{в.м.} = \frac{m_{д.}}{m_{заг.}}, \quad (2.3)$$

де  $m_{д.}$  – маса деталі;

$m_{заг.}$  – маса заготовки.

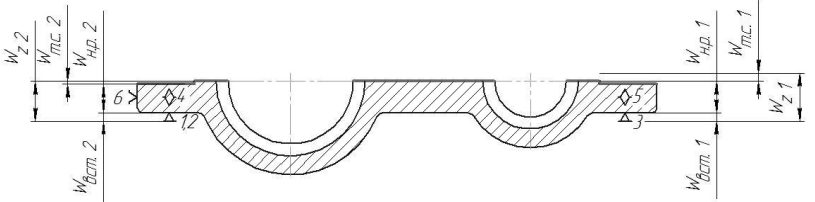
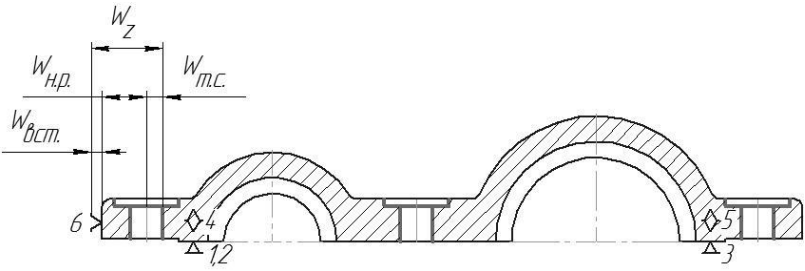
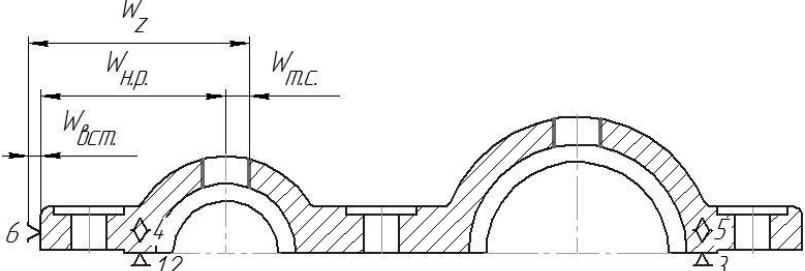
$$K_{в.м.} = \frac{1,01}{1,2} = 0,84.$$

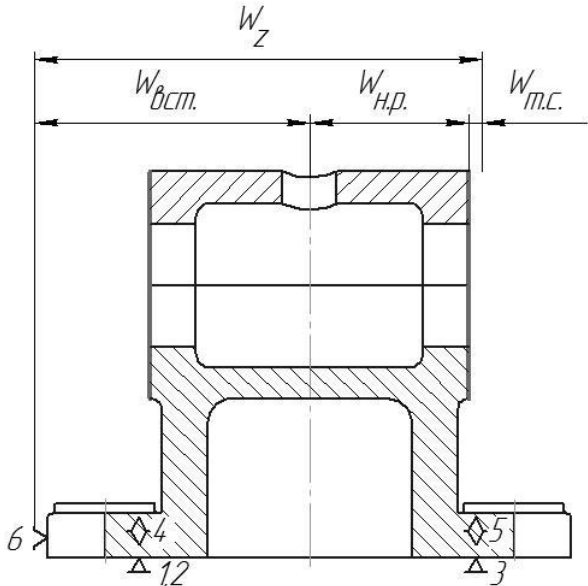
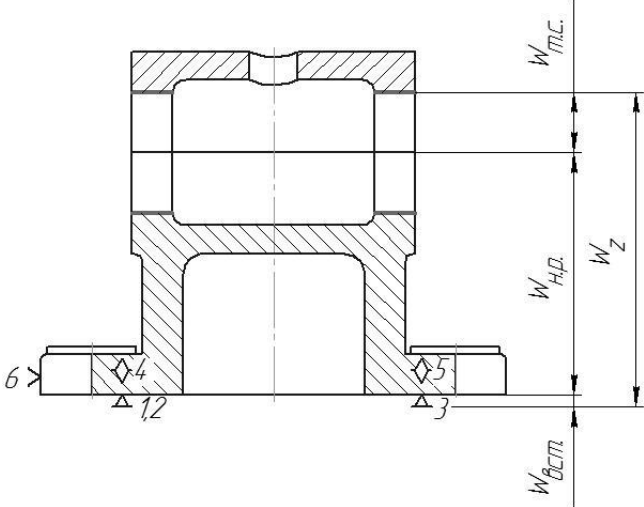
Деталь є технологічною, оскільки вона задовольняє всі умови пред'явлені до неї.

## 2.2 Вибір технологічних баз

Вибір і технічне обґрунтування технологічних баз є важливим етапом у проектуванні технологічного процесу [8]. Розробка маршруту та вибір баз мають здійснюватися одночасно. Розрахунки внесено в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок похибки обробки

Операція	Розрахунок похибки обробки
1	2
<p data-bbox="475 418 912 454">010 Вертикально-фрезерна</p> 	<p data-bbox="1072 418 1375 454">1) <math>A = 12_{-0,027} \text{ мм};</math></p> <p data-bbox="1072 486 1295 521"><math>T = 0,027 \text{ мм}.</math></p> <p data-bbox="1072 553 1367 589">2) <math>A = 11_{-0,11} \text{ мм};</math></p> <p data-bbox="1072 620 1272 656"><math>T = 0,11 \text{ мм}.</math></p>
<p data-bbox="450 833 938 869">015 Вертикально-свердлильна</p> 	<p data-bbox="1072 833 1391 869">1) <math>A = 4,5^{+0,075} \text{ мм};</math></p> <p data-bbox="1072 900 1295 936"><math>T = 0,075 \text{ мм}.</math></p>
<p data-bbox="450 1317 938 1352">020 Вертикально-свердлильна</p> 	<p data-bbox="1072 1317 1391 1352">1) <math>A = 4,5^{+0,075} \text{ мм};</math></p> <p data-bbox="1072 1384 1295 1420"><math>T = 0,075 \text{ мм}.</math></p>

1	2
<p style="text-align: center;">030 Горизонтально-фрезерна</p>  <p>The drawing shows a cross-section of a tool with a central cutting edge. Dimension lines indicate: <math>W_Z</math> (total width), <math>W_{вст.}</math> (width of the cutting edge), <math>W_{н.р.}</math> (width of the body), and <math>W_{т.с.}</math> (width of the base). On the left side, there are dimensions 6, 4, and 12. On the right side, there are dimensions 5 and 3.</p>	<p>1) <math>A = 35_{-0.064}^{-0.025} \text{мм};</math>  <math>T = 0,039 \text{мм}.</math></p>
<p style="text-align: center;">035 Горизонтально-фрезерна</p>  <p>The drawing shows a cross-section of a tool similar to the one above. Dimension lines indicate: <math>W_{т.с.}</math> (width of the base), <math>W_{н.р.}</math> (width of the body), <math>W_Z</math> (total width), and <math>W_{вст.}</math> (width of the cutting edge). On the left side, there are dimensions 6, 4, and 12. On the right side, there are dimensions 5 and 3.</p>	<p>1) <math>A = 15^{+0.027} \text{мм};</math>  <math>T = 0,027 \text{мм}.</math></p>

### 2.3 Визначення допусків на технологічні розміри і розрахунок припусків

Розрахунок припусків на механічну обробку здійснюється розрахунково-аналітичним методом та за допомогою таблиць [9].

Аналітичним методом виконують розрахунок і визначення проміжних припусків та проміжних розмірів для деталі 70f8.

У великосерійному виробництві вертикально-фрезерну обробку деталі «Кришка00.008» проводять на вертикально-фрезерному верстаті з використанням опор.

Результати розрахунків припусків і номінальних розмірів для операцій фрезерування поверхні 1 записуються у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Припуски і номінальні значення поверхні 1

Технологічні переходи	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск $Z_{\min}$	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	$R_z$	T	$\rho$				$l_{\min}^{gp}$	$l_{\max}^{gp}$	$Z_{\min}^{gp}$	$Z_{\max}^{gp}$
Заготовка	200	300	136	-	12,836	620	12,84	13,46	-	-
Фрезерування поверхні 1: Чорнове	50	50	100	636	12,2	160	12,2	12,36	640	1100
Фрезерування поверхні 1: Чистове	30	30	-	200	12	39	12	12,039	200	321

Визначаємо величину розрахункового припуску.

$$Z_{\min i} = R_{z i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}. \quad (2.4)$$

Мінімальний припуск:

- під чорнове фрезерування:

$$Z_{\min 1} = 200 + 300 + 136 = 636 \text{ мкм.}$$

- під чистове фрезерування:

$$Z_{\min 2} = 50 + 50 + 100 = 200\text{мкм.}$$

Розрахунковий розмір  $l_p$  :

$$l_{p2} = 12 + 0,2 = 12,2\text{мм}$$

$$l_{p1} = 12,2 + 0,636 = 12,836\text{мм}$$

Граничні розміри:

$$l_{\max 2}^{\text{гп}} = 12 + 0,039 = 12,039\text{мм}$$

$$l_{\max 1}^{\text{гп}} = 12,2 + 0,16 = 12,36\text{мм}$$

$$l_{\max 0}^{\text{гп}} = 12,84 + 0,62 = 13,46\text{мм}$$

Граничні значення припусків:

$$z_{\max 2}^{\text{гп}} = 12,36 - 12,039 = 0,321\text{мм} = 321\text{мкм}$$

$$z_{\max 1}^{\text{гп}} = 13,46 - 12,36 = 1,1\text{мм} = 1100\text{мкм}$$

$$z_{\min 2}^{\text{гп}} = 12,2 - 12 = 0,2\text{мм} = 200\text{мкм}$$

$$z_{\min 1}^{\text{гп}} = 12,84 - 12,2 = 0,64\text{мм} = 640\text{мкм}$$

Висновок до Розділу 2. Виконано аналіз технологічності конструкції щодо якості та кількості. Виконано вибір технологічних баз та визначенні похибки обробки. Визначено допуски та припуски на технологічні розміри, при якому припуски на чистове фрезерування становлять  $z_{\min}^{\text{rp}}$  200 мкм,  $z_{\max}^{\text{rp}}$  321 мкм, а допуск – 39 мкм.

## РОЗДІЛ 3

## Конструкторська частина

## 3.1 Проектування технологічного оснащення

Оскільки нашою метою є розробка технологічного оснащення для серійного виробництва, важливо забезпечити оснащення, яке мінімізує або повністю усуває важку, ручну та малокваліфіковану працю, особливо ту, що пов'язана з установкою та закріпленням деталей [10].

Розробляємо верстатні пристрої для двох операцій: Вертикально-фрезерної, операція 010 (рис. 3.1).

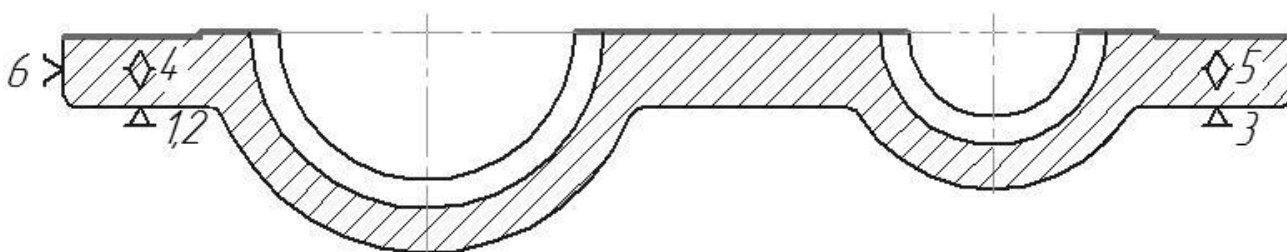


Рисунок 3.1. Схема базування деталі для операції 010

Пристрій використовується для фрезерування базової площини та прорізів під прокладки і встановлюється на вертикально-фрезерний верстат моделі 6P13.

Силовий розрахунок параметрів приводу [11]. При обробці в оснащенні на заготовку діють різні сили: сили різання, об'ємні сили, випадкові та інші зусилля, а також сили затиску та реакції елементів пристрою. Для забезпечення рівноваги всі ці сили, які мають свої напрямки та значення, враховуються у статичному розрахунку. Розрахунок сили затиску зводиться до аналізу рівноваги заготовки в умовах дії прикладених зусиль та моментів.

Розрахунок сили різання [12]:

Фрезерування площини, операція 010: при обробці заготовка перебуває під дією крутного моменту та осьової сили. Конструкція пристрою компенсує подачу, запобігаючи зсуву деталі у напрямку осі (рис. 3.3).

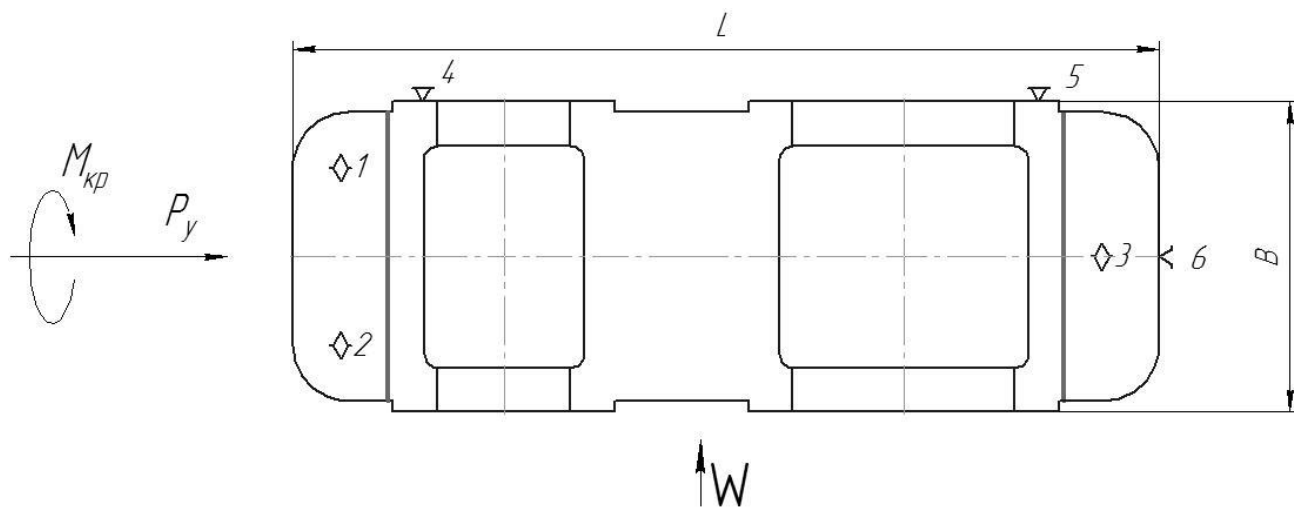


Рисунок 3.3 – Взаємодія сил різання і затиску на деталь

Розточування отворів, операція 035: при обробці заготовка піддається дії крутного моменту і осьової сили, які діють у різних напрямках, створюючи ризик відриву деталі від базової площини (рис. 3.4).

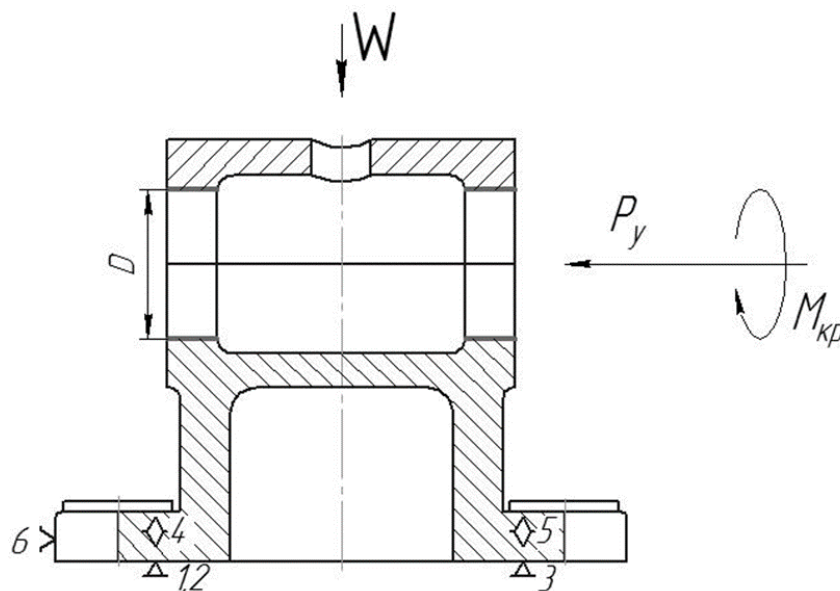


Рисунок 4.4 – Взаємодія сил різання і затиску на деталь.

Компонента  $P_y$  сили різання спрямована на зсув деталі в горизонтальному напрямку. Компонента  $P_z$  спрямована на її зміщення у вертикальному напрямку.

Розрахунок сили затиску здійснюється за формулою:

$$W = \frac{P_y f_1 + k P_z}{f_1 + f_2}; \quad (3.1)$$

де  $f_1 = 0,25$ ,  $f_2 = 0,25$  – коефіцієнти тертя [13];

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \quad (3.2)$$

де:  $k_0 = 1,5$  – коефіцієнт запасу;

$k_1 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує затуплення інструменту;

$k_2 = 1,2$  – коефіцієнт, що нерівномірність припуску;

$k_3 = 1$  – коефіцієнт, що враховує варіації сил обробки через нерівномірність процесу різання;

$k_4 = 1$  – коефіцієнт, що враховує нестабільність зусиль, які створює привід;

$k_5 = 1$  – коефіцієнт, що враховує змінність сили затискання;

$k_6 = 1$  – коефіцієнт, що враховує невизначеність у розташуванні точок контакту заготовки з базовими елементами.

$$k = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,2.$$

Затискне зусилля забезпечується двома пневмоциліндрами, що розподіляють зусилля рівномірно між контактними точками.

$$W = \frac{227 \times 0,25 + 2,2 \times 648}{2 \times (0,25 + 0,25)} = 1402,4 (H)$$

Для забезпечення точності пристрою необхідно виконати умову:

$$\Sigma E < T, \quad (3.3)$$

де  $\Sigma E$  – загальна похибка

$T=0,49$  мм – допуск на розмір по 8-му квалітету.

$$\Sigma E = 1,1 \sqrt{0,12^2 - 0,035^2 + 0,038^2 + 0^2 + 0,07^2 + 0,01^2 + 0,01^2 + 0,01^2 + 0^2 + 0,02^2 + 0,01^2 + 0^2} = 0,1$$

Умова  $\Sigma E=0,1 < T=0,49$  мм виконується

Пристрій для фрезерування монтується на столі вертикально-фрезерного верстата моделі 6P13 [14]. Деталь фіксується на пластинах 5, закріплених на корпусі 1 за допомогою гвинтів 12. Заготовка розміщується на горизонтальних пластинах і спирається на вертикальні. Закріплення здійснюється прихватом 3, до якого приєднана пластина 5. Прихват переміщується по напрямних 2, керуючись пневмоциліндром, розташованим усередині корпусу та закритим кришкою 4.

Для фіксації заготовки в штокову порожнину пневмоциліндру подається стиснуте повітря. Через шток 10 зусилля передається на прихват 3, який надійно затискає деталь. Після завершення фрезерування повітря подається в безштокову порожнину, деталь розтискається і знімається для подальшої обробки.

### 3.2 Проектування контрольного пристрою

Точність контрольного пристрою визначається точністю вимірювальних головок, штативу та опорних плит, на яких закріплюється деталь [15]. Завдяки низькій шорсткості поверхні плити похибку її використання можна вважати незначною. У такому випадку похибка вимірювання дорівнюватиме:

$$\varepsilon_g = \sqrt{\varepsilon_z + \varepsilon_{ш}}; \quad (4.4)$$

$$\varepsilon_g = \sqrt{0,001^2 + 0,004^2} = 0,005 \text{ мм};$$

де  $\varepsilon_z = 0,001 \text{ мм}$  – похибка вимірювальної головки;

$\varepsilon_{ш} = 0,004 \text{ мм}$  – похибка штативів.

$$\varepsilon_g = 0,005 < 0,03$$

Оскільки похибка вимірювання істотно менша за допустиме відхилення під час контролю поверхонь, її вплив на кінцевий результат процесу вимірювання можна вважати незначним.

Контрольний пристрій використовується для перевірки допуску паралельності отворів  $\varnothing 30\text{H}7$  і  $\varnothing 50\text{H}7$  щодо базової поверхні деталі корпусу.

Пристрій складається з корпусу 1, до якого за допомогою гвинтів 8 кріпиться корпус штативу 2. До корпусу штативу приєднані стійка штативу 3 та індикаторний затискач 4, у якому закріплений індикатор годинникового типу 10. Індикатор фіксується у затискачі гвинтами 7, які одночасно утримують затискач на стійці. Деталь встановлюється на базові пластини 3, закріплені на корпусі 1 гвинтами 8, а також на циліндричний палець 12 та зрізаний палець 11.

Ціна поділки індикатора становить 0,01 мм, а контрольований параметр не повинен перевищувати 0,03 мм.

Висновок до Розділу 3. В розділі розглядається конструкторська частина, а саме: технологічне оснащення та контрольний пристрій. Технологічне обладнання – вертикально-фрезерний верстат моделі 6P13 призначене для Вертикально-фрезерної операції 010. Контрольний пристрій застосовується для перевірки допуску паралельності отворів  $\varnothing 30\text{H}7$  і  $\varnothing 50\text{H}7$  щодо базової поверхні деталі корпусу.



## РОЗДІЛ 4

### НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

#### 4.1 Створення керуючої програми в додатку FeatureCAM

Процес створення керуючої програми передбачає імпорт деталі у програму FeatureCAM за допомогою функції *Exchange* [16]. Спочатку задаємо розміри заготовки та встановлюємо її базування в пристосуванні. У налаштуваннях обробки обираємо відповідні постпроцесори та набір інструментів (рис 4.1).

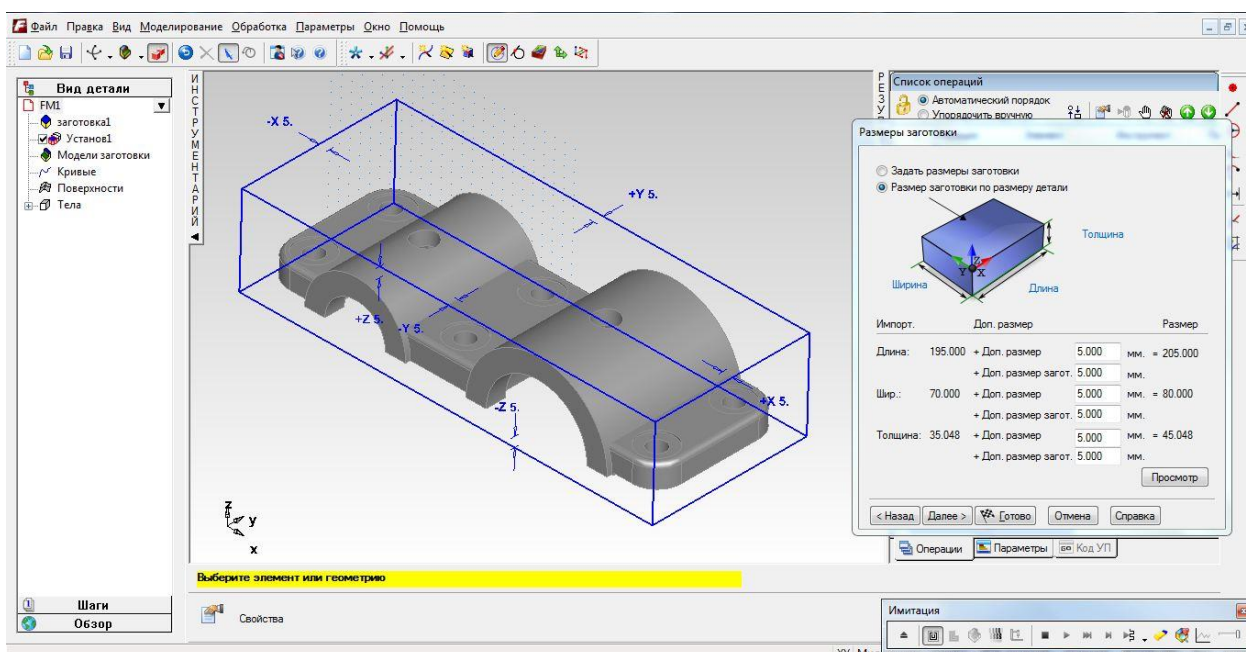


Рис. 4.1 – Процес імпорту деталі у програму FeatureCAM

Далі створюємо геометрію за контурами деталі. Для цього додаємо новий елемент, обираємо *Фрезерування* і переходимо далі. У меню вибираємо режим *За розмірами*, функцію *Торець*, вказуємо параметри обробки та припуск, після чого продовжуємо. У вікні *Стратегія обробки* задаємо послідовність шарів для зняття матеріалу. У наступному вікні вибираємо інструмент і режими обробки, які розраховували раніше.

Потім створюємо новий елемент *Фрезерування* у режимі *Від кривої – точіння*. У відповідному вікні обираємо контур для точіння, додаємо його, визначаємо чорновий і чистовий проходи, підбираємо інструмент із необхідними режимами різання і завершуємо створення.

Аналогічним чином додаємо елементи для створення отворів із нарізанням різьби. Після цього запускаємо симуляцію обробки та формуємо керуючу програму для першого установу.

Для обробки другої сторони деталі двічі натискаємо на *Установ 1* у лівій панелі, створюємо нову локальну систему координат (ЛСК) з віссю Z, протилежною до першої установки. Далі будуємо процес обробки для другої сторони заготовки.

На завершення отримуємо два файли: один із керуючою програмою, другий – із параметрами, що містять інформацію про інструменти та режими обробки.

#### 4.2 Розробка програми для обробки деталі на верстаті з ЧПУ

Розроблено програму для механічної обробки деталі «кришка» на верстаті з ЧПУ [17].

##### Етапи створення програми в FeatureCAM

###### 1. Створення заготовки

У FeatureCAM створюємо заготовку розміром:

- довжина: 205 мм;
- ширина: 80 мм;
- товщина: 55 мм.

Встановлюємо систему координат із нульовою точкою на верхній лівій кутовій площині [18].

###### 2. Операції обробки

В FeatureCAM визначаємо послідовні операції обробки відповідно до вашого технологічного процесу. Ось як це виглядає для кожної операції:

## Програма обробки G-кодів

### Опис основних налаштувань:

- всі операції виконуються у мм (*G21*);
- абсолютна система координат (*G90*);
- швидкість шпинделя та подачу налаштовуйте залежно від інструменту.

### 010. Фрезерування поверхонь

#### 1) Фрезерування поверхні 1 начорно

---

```
N10 T1 M6 (Встановлення інструменту: Фреза Ø10 мм)
G0 G90 G54 X0 Y0 Z5 (Перехід до початкової точки)
S1500 M3 (Швидкість обертання шпинделя 1500 об/хв)
G1 Z-5 F300 (Опускання інструменту на глибину 5 мм)
G1 X100 F500 (Фрезерування по X)
G1 Y50 (Рух по Y)
G1 X0 (Рух назад по X)
G1 Y0 (Повернення до початкової точки)
G0 Z5 (Підйом інструмента)
M30
```

---

#### *Лістинг 4.1*

#### 2) Фрезерування поверхні 1 начисто

---

```
N20 T1 M6
S2000 M3
G0 G90 G54 X0 Y0 Z5
G1 Z-5 F200
G1 X100 F300
G1 Y50
G1 X0
G1 Y0
G0 Z5
M30
```

---

*Лістинг 4.2*

015. Свердління

1) Свердління отвору 7

---

```
N30 T2 M6 (Свердло Ø7 мм)
G0 G90 G54 X25 Y25 Z5 (Перехід до отвору 7)
S1200 M3 (Швидкість шпинделя 1200 об/хв)
G81 R2 Z-10 F200 (Свердління отвору на глибину 10 мм)
G80 (Завершення циклу свердління)
M30
```

---

*Лістинг 4.3*

## 2) Зенкування отвору 8

---

```
N40 T3 M6 (Зенкер Ø10 мм)  
G0 G90 G54 X50 Y50 Z5  
S1000 M3  
G81 R2 Z-5 F150 (Зенкування на глибину 5 мм)  
G80  
M30
```

---

### *Лістинг 4.4*

## 020. Горизонтально-фрезерна

### 1) Фрезерування площин 5 і 6

---

```
N50 T4 M6 (Фреза Ø12 мм)  
G0 G90 G54 X0 Y100 Z5  
S1500 M3  
G1 Z-5 F300 (Опускання інструмента)  
G1 X100 F500  
G1 Y150  
G1 X0  
G1 Y100  
G0 Z10  
M30
```

---

### *Лістинг 4.5*

## 035. Горизонтально-розточувальна

1) Розточування отворів 3 і 4

---

```
N60 T5 M6 (Розточувальний різець)
G0 G90 G54 X50 Y200 Z5 (Перехід до отвору 3)
S1000 M3
G85 R2 Z-15 F150 (Розточування отвору на глибину 15 мм)
G80
G0 X150 Y200 Z5 (Перехід до отвору 4)
G85 R2 Z-15 F150
G80
M30
```

---

*Лістинг 4.6***Складання програми**

Кожен блок коду для окремої операції можна зібрати в одну програму. Для зручності всі операції розбиті за блоками (N10, N20 і т.д.). Програма виглядатиме так:

---

```
%  
G21 (Одиниці: мм)  
G17 G40 G49 G80 (Початкові команди)  
G90 (Абсолютна система координат)  
  
(010. Фрезерування поверхонь)  
N10... (Фрезерування поверхні 1 начорно)  
N20... (Фрезерування поверхні 1 начисто)  
  
(015. Свердління)  
N30... (Свердління отвору 7)  
N40... (Зенкування отвору 8)  
  
(020. Фрезерування площин)  
N50... (Фрезерування площин 5 і 6)  
  
(035. Розточування)  
N60... (Розточування отворів 3 і 4)  
  
M30 (Кінець програми)
```

---

*Лістинг 4.7*

Перед виконанням можна перевірити програму в симуляторі системи Sinumerik.

Висновок до Розділу 4. В науково-дослідній частині виконано створення керуючої програми, що передбачає імпорт деталі у програму FeatureCAM за допомогою функції Exchange та розроблено програму для механічної обробки деталі «кришка» на верстаті з ЧПУ.

## РОЗДІЛ 5

### ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ

#### 5.1 Уточнення типу виробництва

На основі фактичної трудомісткості відбувається уточнення типу виробництва [19]. Розраховується необхідна кількість обладнання для виконання кожної операції за формулою:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot F_{\delta} \cdot \eta_{з.н.}}, \quad (5.1)$$

де  $N$  – річна програма випуску, шт.;

$T_{ш-к}$  – штучно-калькуляційний час;

$F_{\delta} = 4059$  год – дійсний річний фонд роботи обладнання;

$\eta_{з.н.}$  – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання.

$$m_p = \frac{70000 \cdot 3,156}{60 \cdot 4059 \cdot 0,65} = 1,39; \quad P=2;$$

Дійсний річний фонд роботи обладнання становить 4059 годин. Отримане значення  $N$  округлюється в більшу сторону до цілого числа, що визначає кількість робочих місць  $P$ .

Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання обчислюється за формулою:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{1,39}{2} = 0,69.$$

Кількість операцій, які виконуються на одному робочому місці, розраховується за формулою:

$$O = \frac{0,70}{0,69} = 1,01.$$

Розрахунок виконується для операції 010, а результати для інших операцій зводяться в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Визначення кількості верстатів та операцій

Операції	Назва	$T_{ш-к}$	$m_p$	P	$\eta_{з.ф.}$	O
010	Вертикально-фрезерна	3,156	1,39	2	0,69	1,01
015	Вертикально-свердлильна	0,578	0,26	1	0,26	2,69
020	Вертикально-свердлильна	0,150	0,06	1	0,06	11,67
030	Горизонтально-фрезерна	2,508	1,109	2	0,55	1,27
035	Горизонтально-розточка	2,453	1,084	2	0,542	1,29

$$\sum O = 1,01 + 2,69 + 11,67 + 1,27 + 1,29 = 17,93;$$

$$\sum P = 2 + 1 + 1 + 2 + 2 = 8.$$

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операції:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} \quad (5.2)$$

$$K_{з.о.} = \frac{17,93}{8} = 2,24.$$

Якщо  $1 < 2,24 < 10$ , то буде багатосерійний тип виробництва.

## 5.2 Визначення кількості працівників

Кількість основних працівників за робочими місцями визначаємо [20] за формулою:

$$P_e = M_{p.v.} \cdot m \cdot K_n, \quad (5.3)$$

де  $M_{p.v.}$  – кількість місць працівників, яка обчислюється за формулою:

$$M_{p.v.} = \frac{m_n}{K_m}. \quad (5.4)$$

де  $m_n = 8$  – кількість верстатів на дільниці;

$K_m$  – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування. Для багатосерійного виробництва  $K_m = 1,5 \div 1,8$ . Приймаємо  $K_m = 1,5$ .

$$M_{p.v.} = \frac{8}{1,5} = 5,33 \approx 6.$$

$m = 2$  – число змін на добу.

$K_n$  – коефіцієнт додаткової кількості працівників для заміни, визначаємо за формулою:

$$K_n = \frac{\Phi_{н.р.}}{\Phi_{д.р.}}, \quad (5.5)$$

де  $\Phi_{н.р.} = 2070 \text{ год}$  – номінальний річний фонд часу для працівника;

$\Phi_{д.р.} = 1820 \text{ год}$  – дійсний річний фонд часу для працівника.

$$K_n = \frac{2070}{1820} = 1,14.$$

Тоді

$$P_g = 6 \cdot 2 \cdot 1,14 = 13,68 \approx 14.$$

Кількість основних працівників не верстатників важко нормуються і, як правило, не визначаються [21]. Тому кількість працівників не верстатників визначають у відсотках від числа верстатників для багатосерійного і масового виробництва становить від 1 до 3 %.

$$P_{нев} = 14 \cdot 0,02 = 0,28 \approx 1.$$

Кількість допоміжних працівників дільниці встановлюються за штатним розписом аналогічних виробничих дільниць. Дільниці з невеликою кількістю обладнання, як правило, обслуговуються загальним цеховим штатом допоміжних робітників.

Розрахунок верстатних працівників визначають із врахуванням кількості верстатів у цеху:

$$P_B = \frac{B_n \cdot \Phi_{д.о} \cdot K_3 \cdot K_B}{\Phi_{д.п} \cdot K_M}, \quad (5.6)$$

де  $B_n$  – кількість верстатів в цеху;

$\Phi_{д.о}$  – дійсний річний фонд часу для роботи обладнання;

$\Phi_{д.п}$  – дійсний річний фонд часу для роботи працівника;

$K_M$  – коефіцієнт для багатостатного обслуговування;

$K_3, K_B$  – коефіцієнт для завантаження й використання обладнання,

$$K_3 \cdot K_B = 0,7.$$

$$P_B = \frac{110 \cdot 4059 \cdot 0,7}{1820 \cdot 1,5} = 114,48 = 115 \text{прац.}$$

Кількість слюсарів необхідних при багатосерійному виробництві лежить в межах від 1 до 3 %.

$$P_C = 0,01 \cdot 115 = 1,15 = 2 \text{прац.}$$

Загальна кількість основних працівників цеху:

$$P_O = P_B + P_H + P_C, \quad (5.7)$$

$$P_O = 115 + 1 + 2 = 118 \text{ прац.}$$

Допоміжні працівники складають від 18 до 25 %:

$$P_O = 0,25 \cdot 115 \approx 29 \text{ прац.}$$

Молодший обслуговуючий персонал становить 2-3 %

$$P_M = 0,02 \cdot (115 + 29) \approx 3 \text{ прац.}$$

Інженерно-технічні працівники – від 11 до 13 %:

$$P_{IH} = 0,11 \cdot (115 + 29) \approx 16 \text{ прац.}$$

Лічильно-контрський персонал становить від 4 до 5 %:

$$P_{Л-К} = 0,04 \cdot (115 + 29) \approx 6 \text{ прац.}$$

Всього працюючих в цеху:

$$P_{\text{пр}} = P_o + P_d + P_m + P_{\text{ін}} + p_{\text{лк}}, \quad (5.8)$$

$$P_{\text{пр}} = 115 + 29 + 3 + 16 + 6 = 169 \text{ прац.}$$

Визначаємо працеемність річного випуску виробів:

$$T_{\text{шт.}} = \Phi_{\text{д.о.}} \cdot B \cdot K_{\text{з.о.}} \quad (5.9)$$

де  $\Phi_{\text{д.о.}}$  – дійсний річний фонд часу для роботи обладнання;

$B$  – кількість верстатів в цеху;

$K_{\text{з.о.}}$  – середній коефіцієнт завантаження обладнання для 2-х змінної роботи працівників при багатосерійному виробництві,  $K_{\text{з.о.}} = 0,85$ .

$$T_{\text{шт.}} = 4059 \cdot 110 \cdot 0,85 = 379516,5 \text{ год}$$

### 5.3 Визначення кількості обладнання для цеху

Визначення кількості основного металорізального обладнання цеху [22].

Знаходимо, наближене, кількість подібних виробів для виготовлення у цеху:

$$B = \frac{B_{\text{ц.}}}{B_{\text{д.}}} \quad (5.10)$$

де  $B_{\text{ц.}}$  – прийнята кількість верстатів у цеху,  $B_{\text{ц.}} = 110$ ;

$B_{\text{д.}}$  – прийнята кількість верстатів на ділянці для виготовлення деталі

$B_{\text{д.}} = 8$ .

$$B = \frac{110}{8} = 13,75 \text{ верст.}$$

Приймаємо  $V = 14$  верст.

Уточнюємо кількість верстатів у цеху за прийнятою кількістю виробів:

$$V_n = V \cdot V_d, \quad (5.11)$$

$$V_n = 14 \cdot 8 = 112 \text{ верст.}$$

Ручні місця слюсарів в механічних дільницях:

$$M_M = 2\% \cdot V_n, \quad (5.12)$$

$$M_M = 0,02 \cdot 112 = 2,24 \approx 3.$$

Допоміжне металорізальне обладнання [23]:

- для ремонту бази механіка:

$$V_{\text{рем}} = 4\% \cdot V_n, \quad (5.13)$$

$$V_{\text{рем}} = 0,04 \cdot 112 = 4,48 \approx 5;$$

- для групи ремонту пристроїв та інструменту:

$$V_{\text{р.п-і}} = (1,4 \dots 4) \% \cdot V_n, \quad (5.14)$$

$$V_{\text{р.п-і}} = 0,03 \cdot 112 = 3,36 \approx 4;$$

- для дільниці заточування:

$$V_{\text{д.з.}} = (4 \dots 6) \% \cdot V_n, \quad (5.15)$$

$$V_{\text{д.з.}} = 0,05 \cdot 108 = 5,4 = 6.$$

Виробничу площу механічного цеху розраховуємо за формулою:

$$F_{\text{вир}} = B_{\text{п}} \cdot F_{\text{вер}}, \quad (5.16)$$

де  $B_{\text{п}}$  – прийнята кількість основних верстатів цеху;

$F_{\text{вер}}$  – питома площа на 1 верстат,  $\text{м}^2$ .

$$F_{\text{вир}} = 14 \cdot 25 \cdot 3 + 14 \cdot 8 \cdot 1 + 14 \cdot 8 \cdot 1 + 14 \cdot 23 \cdot 2 + 14 \cdot 24 \cdot 2 = 2562 \text{ м}^2$$

Площа ділянки для виготовлення деталі:

$$F_{\text{вир.д}} = B_{\text{д}} \cdot F_{\text{вир.д}}, \quad (5.17)$$

$$F_{\text{вир.д}} = 25 \cdot 3 + 8 \cdot 1 + 8 \cdot 1 + 23 \cdot 2 + 24 \cdot 2 = 185 \text{ м}^2.$$

Виробнича площа складальної ділянки:

$$F_{\text{вир.ск}} = (30 \dots 40) \% \cdot F_{\text{вир}}, \quad (5.18)$$

$$F_{\text{вир.ск}} = 0,35 \cdot 2562 = 896,7 \text{ м}^2.$$

Площа слюсарної ділянки:

$$F_{\text{с.д}} = P_{\text{с}} \cdot F_{\text{с}}, \quad (5.19)$$

де  $P_{\text{с}}$  – кількість слюсарів;

$F_{\text{с}}$  – питома площа на 1 слюсаря,  $4 \dots 6 \text{ м}^2$ .

$$F_{с.д.} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ м}^2.$$

Розрахунок площ допоміжних ділянок. Площа контрольного відділення становить  $F_k$ :

$$F_k = (3 \dots 5 \%) \cdot F_{\text{вир.}}, \quad (5.20)$$

$$F_k = 0,04 \cdot 2562 = 102,48 \text{ м}^2$$

Площа ремонту пристроїв та інструменту,  $F_{р.п-і} = 17 \dots 22 \text{ м}^2$ , на 1 верстат відділення:

$$F_{р.п-і} = 20 \cdot 4 = 80 \text{ м}^2.$$

Площа ділянки заточування,  $F_{зат} = 10 \dots 12 \text{ м}^2$  на 1 верстат відділення:

$$F_{зат} = 10 \cdot 6 = 60 \text{ м}^2.$$

Площа складів:

$$F_{ск} = \frac{A \cdot Q}{q \cdot m \cdot k} \quad (5.21)$$

де  $A$  – час зберігання виробів на складі в днях;

$q$  – допустиме навантаження на  $1 \text{ м}^2$  площі підлоги складу, в межах від 0,7 до  $1,5 \text{ т/м}^2$ ;

$m$  – кількість робочих днів у році, 254 днів;

$k$  – коефіцієнт використання площі складу;

$Q$  – маса вантажу що зберігається на складі протягом року:

$$Q = (M + (M \cdot 0,20))N, \quad (5.22)$$

де  $M$  – маса деталі.

$$Q = (1,01 + (1,01 \cdot 0,20)) \cdot 70000 = 84840 \text{ кг} = 84,84 \text{ т} \quad (5.23)$$

$$F_{\text{ск}} = \frac{14 \cdot 84,84}{1,2 \cdot 254 \cdot 0,3} = 13 \text{ м}^2$$

Знаходимо загальну площу складських приміщень  $F_{\text{скл}}$ :

Площа відділення МОР і переробки стружки:

$$F_{\text{с.д}} = F_{\text{мор}} + F_{\text{стр}}, \quad (5.24)$$

де  $\text{м}^2$  визначають наближено від кількості основних верстатів, при 100 верстатів  $F_{\text{мор}} = 60 \text{ м}^2$ .

$$F_{\text{сл.д}} = 60 + 110 = 160 \text{ м}^2.$$

$F_{\text{стр}}$  встановлюється для переробки стружки встановлюється із умови  $1 \text{ м}^2$  на 1 верстат основного виробництва.

Площі цехових комор:

$$F_{\text{кл}} = B_{\text{п}} \cdot f_{\text{к}}, \quad (5.25)$$

де  $B_{\text{п}}$  – число верстатів цеху;

$f_{\text{к}}$  – норми площ комор на 1 верстат при роботі у 2-ї зміні,  $\text{м}^2$ :

- комора ІРК від 0,3 до 0,8  $\text{м}^2$ ;
- комора пристроїв від 0,25 до 0,6  $\text{м}^2$ ;

- комора абразивів від 0,4 до 0,6 м<sup>2</sup>
- комора допоміжних матеріалів в межах 0,1 м<sup>2</sup>

$$F_{\text{кл}} = 110 \cdot 0,4 + 110 \cdot 0,35 + 110 \cdot 0,45 + 110 \cdot 0,1 = 143\text{м}^2$$

Площа майстерні енергетики  $F_{\text{ен}}$  складає 0,3 м<sup>2</sup> на одиницю енергетичного обладнання [24]:

$$F_{\text{ен}} = 0,3 \cdot 110 = 33\text{м}^2.$$

Загальна площа допоміжних відділень:

$$F_{\text{заг.доп}} = F_{\text{к.}} + F_{\text{р.}} + F_{\text{р.п-і}} + F_{\text{з.}} + F_{\text{скл}} + F_{\text{мор.стр}} + F_{\text{кл}} + F_{\text{ен}} \quad (5.26)$$

$$F_{\text{заг.доп}} = 102,48 + 80 + 60 + 13 + 160 + 143 + 33 = 591,48 \text{ м}^2$$

Визначення службово-побутових та адміністративних площ:

$$F_{\text{с-п}} = (10 \dots 12 \%) \cdot F_{\text{вир}}, \quad (5.27)$$

$$F_{\text{с-п}} = 0,1 \cdot 2562 = 256 \text{ м}^2.$$

Площа магістральних проїздів  $F_{\text{пр.}}$ :

$$F_{\text{пр.}} = (10 \dots 14 \%) (F_{\text{вир}} + F_{\text{заг.доп}}) \quad (5.28)$$

$$F_{\text{пр.}} = 0,1 \cdot (2562 + 591,48) = 285,35 \text{ м}^2$$

Загальна площа механоскладального цеху:

$$F_{\text{зат.ц}} = F_{\text{вир}} + F_{\text{вир.скл}} + F_{\text{ск.д}} + F_{\text{заг.доп}} + F_{\text{с-п}} + F_{\text{пр.}} \quad (5.29)$$

$$F_{\text{зат.ц}} = 2562 + 896,7 + 160 + 591,48 + 256 + 285,35 = 4751,53 \text{ м}^2$$

#### 5.4 Розрахунок роботи транспортних засобів

Розрахунок необхідної кількості засобів для транспортування вантажів [25] розраховується за формулою:

$$\Gamma_{\text{в}} = \frac{Q \cdot i \cdot T \cdot k_{\text{H}}}{q \cdot k_{\text{д}} \cdot \Phi_{\text{р}} \cdot 60} \quad (5.30)$$

де  $Q$  – вага вантажу, що перевозиться за рік, т;

$i$  – середня кількість транспортних операцій,  $i$  становить 2 або 3;

$T$  – час одного рейсу,  $T = 10 \dots 15$  хв;

$k_{\text{H}}$  – коефіцієнт нерівномірності подачі засобу, т;

$\Phi_{\text{р}}$  – при двозмінній роботі, фонд часу в рік,  $\Phi_{\text{р}} = 4055$  год.

$$\Gamma_{\text{в}} = \frac{164,475 \cdot 3 \cdot 15 \cdot 0,9}{1 \cdot 0,5 \cdot 4055 \cdot 60} = 0,054.$$

Розрахунок кількості засобів, які транспортують вантаж поштучно:

$$\Gamma_{\text{к}} = \frac{N \cdot i \cdot T \cdot k_{\text{H}}}{\Phi_{\text{р}} \cdot 60}, \quad (5.31)$$

де  $i$  – кількість транспортних операцій на заготовку,  $i$  становить від 5 до 10;

$N$  – річна програма випуску, шт.;

$k_{\text{H}}$  – коефіцієнт нерівномірностей роботи,  $k_{\text{H}}$  від 1,1 до 1,2;

$T$  – час одного рейсу,  $T = 2,5 \dots 5$  хв

$\Phi_p$  – річний фонд часу при дозмінній роботі,  $\Phi_p = 4055$  год.

$$\Gamma_k = \frac{70000 \cdot 5 \cdot 2,5 \cdot 1,15}{4055 \cdot 60} = 4,13.$$

Приймаємо 3 кран-балок.

### 5.5 Компоновка механоскладального цеху

На аркуші викреслюємо схематичний план цеху в масштабі 1:200, відображаючи стіни, колони, ворота, магістральні проїзди та допоміжні приміщення [26].

Будівля механічного цеху одноповерхова. Згідно з розрахунками, обрано сітку колон із шириною  $L=24$  м і кроком  $t=12$  м. Загальна довжина цеху становить 72 м, а ширина – 60 м. Таким чином, загальна площа приміщення дорівнює  $72 \times 60 = 4320$  м<sup>2</sup>. Розміри основних колон у перерізі –  $1 \times 1$  м.

У цеху вздовж прогонів встановлено три кран-балки, які забезпечують транспортування заготовок до робочих місць, переміщення готових деталей на склади та перевезення частин верстатів.

Цех обладнано наскрізним магістральним проїздом шириною 4 м. В'їзд і виїзд транспортних засобів здійснюється через двостулкові ворота розміром  $3 \times 3,6$  м.

У приміщенні розміщено вісім пожежних кранів. Для доступу до допоміжних приміщень встановлено двері розмірами  $2 \times 2,5$  м та  $4 \times 2,5$  м.

Висновок до Розділу 5. У даному розділі було виконано уточнення типу виробництва, визначена кількість працівників та обладнання цеху. Виконаний розрахунок роботи транспортних засобів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено проект механічного цеху для виготовлення деталей із забезпеченням ефективної організації виробництва та створення прогресивного технологічного процесу механічної обробки деталі кришка 00.006.

На основі проведених досліджень виконанні наступні завдання:

1) Виконано аналіз конструкції та функціонального призначення деталі кришка 00.006, що дозволило визначити ключові вимоги до її виготовлення.

2) Обґрунтовано вибір матеріалу та методів обробки, що відповідають сучасним стандартам якості та економічності.

3) Розроблено маршрут технологічного процесу обробки деталі з використанням сучасного обладнання та технологій, що забезпечує високу точність і продуктивність.

4) Проведено розрахунки режимів різання, вибір інструментів та допоміжних пристроїв, що гарантують необхідну якість обробки.

5) Запропоновано раціональне планувальне рішення механічного цеху, яке враховує ефективне розташування обладнання, зручність обслуговування та дотримання норм безпеки праці.

6) Виконано техніко-економічні розрахунки, які підтвердили доцільність та ефективність запропонованих рішень.

Наукова новизна роботи полягає у впровадженні інноваційних технологій та нових підходів до вибору обладнання та інструментів, що дозволяє значно підвищити продуктивність. Практичне значення отриманих результатів виражається у можливості адаптації розробленого технологічного процесу для виготовлення аналогічних деталей, що підвищує гнучкість виробництва.

Результати роботи апробовані на науково-технічній конференції та отримали позитивні відгуки, а також опубліковані у вигляді тез, що підтверджує актуальність і практичну цінність проведених досліджень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 8833:2019. Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2019. (чинний від 2020.01.01). [https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id\\_doc=82147](https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=82147)
2. Захаркін О.У. Технологічні основи машинобудування: навчально-методичний посібник / О.У. Захаркін. Суми: Вид-во СумДУ, 2004. 98 с.
3. Боженко П.І. Технологія виробництва заготовок в машинобудуванні / П.І. Боженко. К.: УМКВО, 1990. 264 с.
4. Черевко О.І. Технологічні основи машинобудування: навч. посібник у 2-х ч. / [О.І. Черевко, В.М. Михайлов, І.В. Бабкіна, Б.В. Ляшенко]. Харків. Ч. 1. Теоретичні основи технології машинобудування. 83 с.
5. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Навч. посібник / П.О. Руденко. К.: Вища школа, 1993. 414 с.
6. Дерібо О.В. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навчальний посібник / [О.В. Дерібо, Ж.П. Дусанюк, В.П. Пурдик]. Вінниця, ВНТУ, 2013. 120 с.
7. Назаренко І.І. Основи технології машинобудування: навчальний посібник / [І.І. Назаренко, А.Т. Свідерський, Р.І. Рибалко, О.П. Дєдов]. К.: КДТУБА, 2010. 165 с.
8. Кодра Ю.В. Технологічні машини. Розрахунок і конструювання: навчальний посібник / Ю.В. Кодра, З.А. Стоцько – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2004. 468 с.
9. Бельмас І.В. Розрахунок та конструювання машин та агрегатів (ОПХВ) для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання: конспект лекцій з навчальної дисципліни / І.В. Бельмас-Кам'янське: ДДТУ, 2017. 110 с.

10. Кузнєцов Ю.М. Верстати з ЧПК та верстатні комплекси : навч. посіб. К.: ТОВ «Замок»; Тернопіль, 2001. Т.1 198 с., Т.2 298 с.
11. Зубовецька Н.Т. Проектування та технологія виготовлення металорізальних інструменти: конспект лекцій для студентів напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка / Н.Т. Зубовецька, Г.А. Герасимчук. Луцьк: Луцький НТУ, 2016. 152 с.
12. Гальчук Т.Н. Технологія машинобудування: методичні вказівки до виконання бакалаврської випускної роботи із спеціальності 131 – Прикладна механіка професійного спрямування «Технології машинобудування» денної та заочної форм навчання / Т.Н. Гальчук. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. 40 с.
13. Бурек Я. Верстатне обладнання: навчальний посібник / [Я. Бурек, З.А. Стоцько, І.В. Гурей]. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. 168 с.
14. Біланенко В.Г., Приходько В.П., Мельник О.О. Проектування технологічних процесів. Частина 1. Оброблення деталей-тіл обертання : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, спеціалізацій Технології машинобудування та Технології виготовлення літальних апаратів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 232 с.
15. Гевко Б.М. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої: навч. посібник / Б.М. Гевко та інші. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Тернопіль: ТНТУ, 2009. 220 с.
16. Autodesk FeatureCAM. <https://arcada.com.ua/product/autodesk-featurecam/>
17. Основи становлення сучасного інженера : навчальний посібник / В. О. Іванов, О. Г. Гусак, Д. В. Криворучко та ін.; за заг. ред. В. О. Іванова, О. Г. Гусака. Харків : НТМТ, 2015. 275 с.
18. Трояк М. Інтеграція новітніх технологій у промислове виробництво на прикладі Fanuc M-20iA. Тези IV студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії «Інноваційні технології в

транспорті та механічній інженерії». Луцьк: ЛНТУ 2024. / наук. керівник : Гулієва Н. 40–42.

19. Сологуб М.А. Технологія конструкційних матеріалів / [Сологуб М.А., Рожнецький І.О., Нікоз О.І. та ін.]. Київ: Вища школа, 2002. – 134 с.

20. Кукляк М.Л. Металорізальні інструменти. Проектування: навч. посібник / [М.Л. Кукляк, І.С. Афтаназів та ін.]. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. 556 с.

21. Джур. Є.О. Проектування машинобудівних заводів та цехів. Загальна частина: навч. посіб. /Є.О. Джур, О.В. Бондаренко. Д.: «Інновація», 2011. 109 с.

22. Гальчук Т.Н. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні: методичні вказівки для практичних занять для студентів напряму підготовки 6.050502 – «Інженерна механіка» денної та заочної форм навчання / Т.Н. Гальчук. Луцьк: ЛНТУ, 2011. 64 с.

23. Когут М.С. Механоскладальні цехи та дільниці у машинобудуванні: підручн. для студ. вищ. закл. освіти спец. «Технологія машинобудування» / М.С. Когут. Л.: Держ. ун-т «Львівська політехніка», 2000. 352 с.

24. Дусанюк Ж.П. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні / [Ж.П. Дусанюк, Н.С. Семичаснова, І.В. Гунько]. – Вінниця: ВДТУ, 1998. – 77 с.

25. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні: практикум / [Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Савуляк В. В., Сердюк О. В.] Вінниця : ВНТУ, 2016. 148 с.

26. Обладнання автоматизованого виробництва. навчальний посібник / [під ред. Р.І. Сіліна]. Львів: Виробництво державного університету «Львівська політехніка», 2000. 380 с.

# ДОДАТКИ