

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## **МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

**«Удосконалення технології механічної обробки заготовки  
деталі типу “Корпус підшипника 04.15.008В”»**

08-26.МКР.004.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, гр. 1ПМ-20м  
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

\_\_\_\_\_ Лукаш В. Н.

Керівник: к.т.н., професор каф. ТАМ

\_\_\_\_\_ Буренніков Ю. А.

« 13 » \_\_\_\_\_ грудня \_\_\_\_\_ 2021 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. АТМ

\_\_\_\_\_ Кужель В. П.

« 21 » \_\_\_\_\_ грудня \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Допущено до захисту**

**Завідувач кафедри ТАМ**

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Козлов Л. Г.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Вінниця ВНТУ – 2021 рік

Вінницький національний технічний університет  
Факультет Машинобудування та транспорту  
Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань – 13 Механічна інженерія  
Спеціальність – 131 Прикладна механіка  
Освітньо-професійна програма – Технології машинобудування

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
завідувач кафедри ТАМ  
д.т.н., професор Козлов Л. Г.

« 18 » жовтня 2021 р.

### **ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Лукашу Владиславу Назаровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технології механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В»

керівник роботи Буренніков Юрій Анатолійович, к.т.н., професор,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від « 24 » вересня 2021 року № 277.

2. Строк подання студентом роботи: 20 грудня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі «Корпус підшипника 04.15.008В»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 2000 шт.; довідкова література

4. Зміст текстової частини: анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус»; удосконалення технології механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В»; проектування технологічного оснащення для фрезерної операції; розрахунок дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В»; економічна доцільність удосконалення технології механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В»; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): деталь «Корпус підшипника 04.15.008В» (A1); корпус підшипника (заготовка) (A2); маршрут механічної обробки (2A1); розмірний аналіз технологічного процесу (A1); карта налагоджень (операція 015) (A1); застосування математичного планування експерименту для мінімізації шорсткості при розточуванні (3A1); план дільниці механічного цеху (A1); техніко-економічні показники (A1)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Буренніков Ю. А., професор кафедри ТАМ		
Економічна частина	Лесько О. Й., завідувач кафедри ЕПВМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Дембіцька С. В., професор кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання « 19 » жовтня 2021 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	02.11.21 р.	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	12.11.21 р.	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	15.11.21 р.	
4	Розв'язання поставлених задач	26.11.21 р.	
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	29.11.21 р.	
6	Виконання розділу «Економічна частина»	05.12.21 р.	
7	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	10.12.21 р.	
8	Попередній захист МКР	13.12.21 р.	
9	Перевірка роботи на плагіат	10.12.21 р.	
10	Нормоконтроль МКР	20.12.21 р.	
11	Рецензування МКР	21.12.21 р.	
12	Захист МКР	22.12.21 р.	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Лукаш В. Н.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Буренніков Ю. А.

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.9

Лукаш В. Н. Удосконалення технології механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – прикладна механіка, освітня програма – технології машинобудування. Вінниця : ВНТУ, 2021. 131 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 31 назв; рис.: 21; табл. 55.

В магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологію механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В». У загальній частині роботи проведено огляд технологій виготовлення деталі типу «Корпус», обґрунтована доцільність удосконалення існуючої технології механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В».

В технологічній частині виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В» з використанням верстатів з ЧПК та вибрано кращий з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки; визначено режими різання та норми часу; застосовано математичне планування експерименту для мінімізації шорсткості при розточуванні центрального отвору деталі «Корпус підшипника 04.15.008В»; спроектовано технологічне оснащення для фрезерної операції; розраховано приведену програму, кількість обладнання та працівників; удосконалено діляницю механічної обробки.

В економічній частині роботи розраховані капітальні вкладення, собівартість механічної обробки заготовки деталі, термін окупності та економічний ефект, одержаний в результаті удосконалення технології та діляниці механічної обробки. В роботі також розроблено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Графічна частина ілюстративно доповнює матеріали, які представлені в пояснювальній записці.

Ключові слова: технологічний процес, механічна обробка, заготовка, деталь, математичне планування експерименту, пристосування, діляниця механічної обробки.

## ABSTRACT

Lukash V. N. Improvement of the technology of machining the workpiece of a part of the type «Bearing housing 04.15.008V». Master's qualification work in specialty 131 – applied mechanics, educational program – mechanical engineering technology. Vinnytsia : VNTU, 2021. 131 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 31 titles; fig.: 21; tabl. 55.

In the master's qualification work the technology of machining of the workpiece part type «Bearing housing 04.15.008V» is improved. In the general part of the work the review of technologies of production of a detail like «Housing» is carried out, the expediency of improvement of the existing technology of machining of preparation of a detail like «Bearing housing 04.15.008V» is proved.

In the technological part the variant choice and technical and economic substantiation of a way of manufacturing of preparation is executed; variants of a route of machining of a detail like «Bearing housing 04.15.008V» with use of CNC machines are developed and the best of them on a minimum of the resulted expenses is chosen; dimensional and accurate modeling of the advanced technological process of machining was carried out; cutting modes and time norms are defined; mathematical planning of the experiment was applied to minimize the roughness when boring the central hole of the part «Bearing housing 04.15.008V»; technological equipment for milling operation is designed; the given program, quantity of the equipment and workers is calculated; the machining section has been improved.

In the economic part of the work, capital investments, the cost of machining the workpiece, payback period and the economic effect obtained as a result of improving the technology and machining area are calculated. The work also develops measures for labor protection and life safety.

The graphic part illustratively complements the materials presented in the explanatory note.

Keywords: technological process, machining, workpiece, part, mathematical planning of the experiment, device, machining section.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	7
<b>1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»</b>	10
1.1 Характеристика об'єкта виробництва, його призначення та технічні умови на виготовлення	10
1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Корпус»	11
1.3 Критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус підшипника 04.15.008В»	12
1.4 Характеристика удосконалених технологічних процесів	14
<b>2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ПІДШИПНИКА 04.15.008В»</b>	17
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі	17
2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт	20
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки	23
2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь	30
2.5 Вибір чорнових та чистових технологічних баз	32
2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу	33
2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат	40
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу	45
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів	52
2.10 Призначення режимів різання	57
2.11 Застосування математичного планування експерименту для мінімізації шорсткості при розточуванні центрального отвору деталі «Корпус підшипника 04.15.008В»	60
2.12 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання	67
2.13 Визначення технічних норм часу	67

<b>3 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ФРЕЗЕРНОЇ ОПЕРАЦІЇ</b>	71
3.1 Аналіз початкових даних	71
3.2 Розробка та вибір схем базування та установки заготовки	71
3.3 Розрахунок зусилля закріплення	72
3.4 Аналіз похибки установки заготовки в пристосуванні	76
3.5 Силовий розрахунок пристосування	80
3.6 Розмірне моделювання та аналіз конструкції пристосування на точність	81
<b>4 РОЗРАХУНОК ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ПІДШИПНИКА 04.15.008В»</b>	84
4.1 Розрахунок приведеної програми	84
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження	86
4.3 Побудова графіків завантаження обладнання	88
4.4 Розрахунок кількості працівників на ділянці	89
<b>5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ПІДШИПНИКА 04.15.008В»</b>	92
5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки	92
5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технології механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В»	99
5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції	105
5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу	108
5.5 Розрахунок величини чистого прибутку	109
5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення	110
<b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	114
6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	114
6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	116
6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	120
<b>ВИСНОВКИ</b>	126
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	128
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної роботи	132
Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина	133

## ВСТУП

**Актуальність.** У металообробній промисловості обробка металів різанням займає одне з провідних місць, тому правильний вибір заготовки, режиму різання, інструменту, висока ступінь механізації та автоматизації виробництва забезпечують зниження собівартості і високу якість продукції, що випускається.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи – удосконалення технології механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В».

**Завдання, що вирішуються в роботі:**

- проведення огляду технології виготовлення деталі типу «Корпус»;
- техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки;
- удосконалення технології механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В» на основі варіантного підходу;
- розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу;
- визначення режимів різання та норм часу удосконаленого технологічного процесу механічної обробки;
- застосування математичного планування експерименту для мінімізації шорсткості при розточуванні центрального отвору деталі «Корпус підшипника 04.15.008В»;
- проектування верстатного пристрою для операції;
- розрахунок приведеної програми, кількості обладнання та працівників на проектуемій ділянці;
- проведення економічних розрахунків по впровадженню запропонованих у роботі рішень;
- виконання розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

**Об'єкт дослідження** – технологія виготовлення деталей типу «Корпус».

**Предмет дослідження** – удосконалена технологія механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В».

**Методи дослідження.** Метод теорії розмірних ланцюгів при виконанні розмірно-точнісного моделювання ТП механічної обробки заготовки деталі типу



«Корпус підшипника 04.15.008В»; математичне планування експерименту та статистична обробка експериментальних даних; метод лінійного програмування (симплекс-метод) при визначенні оптимальних режимів різання.

**Наукова новизна одержаних результатів.** За допомогою повного трифакторного експерименту отримала подальший розвиток математична модель залежності шорсткості обробленого центрального отвору заготовки деталі «Корпус підшипника 04.15.008В» при розточуванні на токарно-револьверному верстаті з ЧПК від факторів процесу різання, а саме швидкості, подачі та глибини різання.

**Практичне значення одержаних результатів.** Удосконалено технологію механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В». Запропоновані рішення:

- для виготовлення заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В» запропоновано два способи лиття – в піщано-глинисті форми та оболонкові форми. Встановлено, що економічно доцільніше виготовляти заготовку литтям в піщано-глинисті форми, оскільки вартість заготовки складає 237,87 грн., що менше у порівнянні з литтям в оболонкові форми – 317,32 грн.

- удосконалено технологію механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В» з використанням верстатів з ЧПК;

- за допомогою математичного планування експерименту встановлено вплив режимів процесу різання (швидкості, подачі та глибини різання) на шорсткість центрального отвору заготовки деталі «Корпус підшипника 04.15.008В» при розточуванні на токарно-револьверному верстаті з ЧПК;

- спроектовано верстатний пристрій для обробки паза шириною 35 мм та виконання отвору M10×1-7H на 020 операції на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК моделі 6550Ф3;

- спроектовано дільницю механічної обробки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В».

**Апробація результатів роботи.** Доповідь на конференції:

1) Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)».

У співавторстві опубліковано тезу доповіді:

1) Застосування математичного планування експерименту для мінімізації шорсткості при розточуванні центрального отвору заготовки деталі «Корпус підшипника» / Ю. А. Буренніков, С. В. Репінський, В. Н. Лукаш // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)», м. Вінниця, 11-13 травня 2022 р. – 2022. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2022/paper/view/14194>.

## 1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»

1.1 Характеристика об'єкта виробництва, його призначення та технічні умови на виготовлення

Деталь «Корпус підшипника 04.15.008В» є складовою підшипникового вузла механізму повороту. Підшипниковий вузол – досить відповідальний механізм. Він є опорою вала, який передає крутний момент. В корпусі підшипника в головному отворі  $\varnothing 110H7^{(+0,035)}$  монтується підшипник з валом. Для запобігання попадання бруду та пилу підшипниковий вузол закривається кришками, для чого в корпусній деталі передбачені різьбові отвори. Для змащування пари тертя «Корпус – підшипник» передбачений різьбовий отвір для подачі мастила.

Деталь «Корпус підшипника 04.15.008В» відноситься до класу корпусних деталей. Характерною є наявність базових поверхонь, основних отворів і отворів для кріплення.

Поверхня 16 (рис. 1.1) є основною конструкторською базою, яка визначає розташування деталі, встановлення корпуса на інших вузлах. Отвори 17, 18  $\varnothing 18$  мм призначені для кріплення корпуса. Поверхні 1, 2, 7 є допоміжними конструкторськими базами, які визначають розташування інших деталей відносно даної деталі.

Поверхня 2  $\varnothing 110H7^{(+0,035)}$  з'єднується з іншою деталлю по посадці з зазором і є допоміжною конструкторською базою, тому така її точність є доцільною. Вимоги точності до інших поверхонь також являються доцільними, оскільки поверхня 10 є установною поверхнею під масльонку. Вимоги до торцевого биття поверхонь 1 і 7 до осі поверхні 2 є доцільним через базування по цих поверхнях кришок, а також при базуванні по цим поверхням при обробці. Вимоги до паралельності твірної поверхні 2 до поверхні 16 забезпечує правильність установки підшипника та запобігає його перекосу.

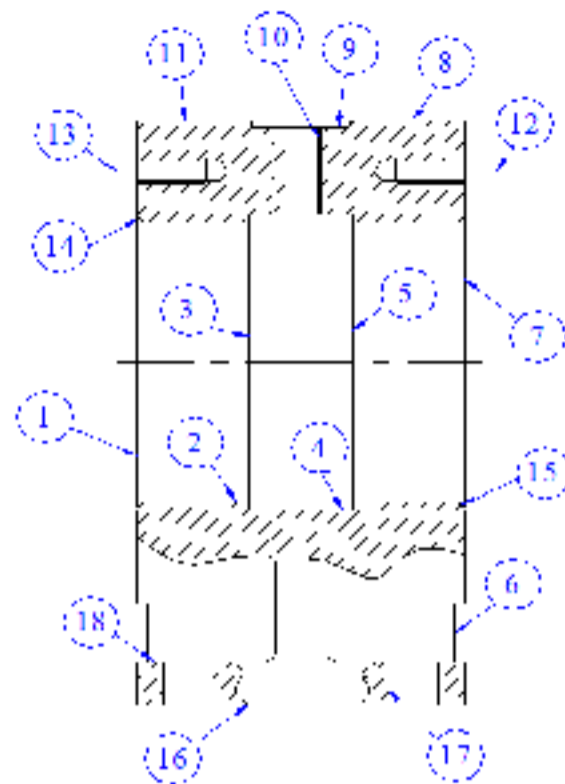
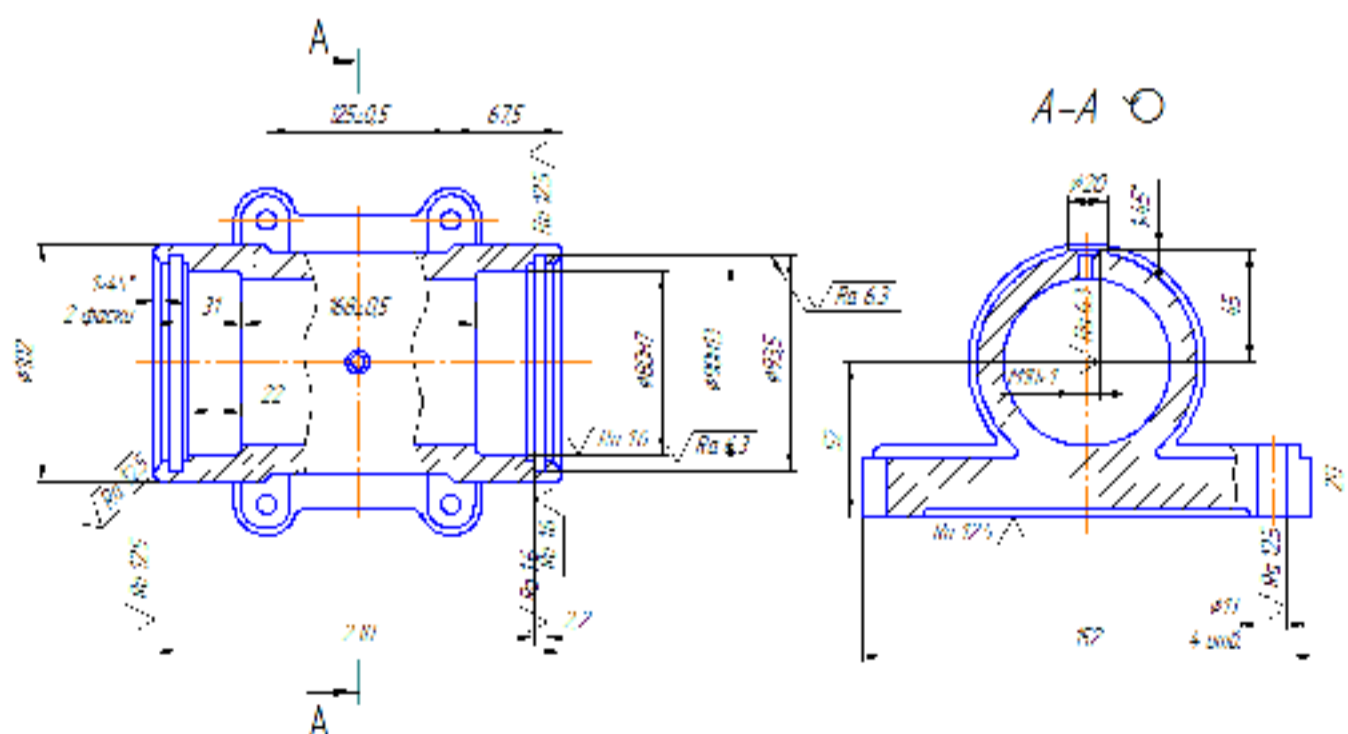


Рисунок 1.1 – Поверхні деталі «Корпус підшипника 04.15.008В»

## 1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Корпус»

Задана деталь «Корпус підшипника 04.15.008В» відноситься до класу корпусних [1, 2]. Тип виробництва дрібносерійний.

Для виконання проектування маршруту механічної обробки заданої деталі розглянуто типові технологічні процеси (ТП). Наприклад типовий ТП згідно [2] приведений в таблиці 1.1.



Заготовка – виливок.  
Матеріал – чавун СЧ 18.  
Кількість деталей із заготовки – 1.

Рисунок 1.2 – Ескіз деталі типу «Корпус»

Таблиця 1.1 – Типовий процес механічної обробки

№ операції	Зміст операції	Верстат	Оснащення
005	Ливарна операція		
010	Фрезерування поверхню основи, свердління 4 отв. $\varnothing 13$ , фрезерування бобишки $\varnothing 20$ , свердління, нарізання різі M10 $\times$ 1, фрезерування торця $\varnothing 102$ в розмір 230, розточування $\varnothing 80H7$ , $\varnothing 90H13$ , фаски 1 $\times$ 45°, фрезерування канавки b=2,2 $\pm$ 0,5. Поворот заготовки на 180°. Розточування $\varnothing 80H7$ , $\varnothing 90H13$ , канавки b=2,2 $\pm$ 0,5 остаточно.	Багатоцільовий з ЧПУ і інструментальним магазином IP500MФ4	Наладка УСПО

В типовому ТП багатоцільовий верстат з ЧПК має в своєму магазині інструментів 72 інструменти. Такий верстат достатньо дорогий, особливої необхідності при обробці деталі «Корпус підшипника 04.15.008В» в ньому немає, тому застосовувати його недоцільно. При обробці деталі «Корпус підшипника 04.15.008В» можна використати більш простіші та дешеві верстати з ЧПК.

### 1.3 Критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус підшипника 04.15.008В»

Річна програма випуску  $N_p = 2000$  шт./рік, маса деталі  $m = 11,9$  кг, виробництво деталей дрібносерійне.

Базовий ТП представлений в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Базовий процес механічної обробки

№ операції	Назва і короткий зміст операції, технологічні бази	Верстат
1	2	3
005	Фрезерна Фрезерувати поверхню основи. Технологічні бази – вісь отвору під підшипник, торцева поверхня.	Вертикально-фрезерний 6P13

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
010	Свердлильна Центрувати, свердлити, зенкерувати 4 отвори. Технологічні бази – вісь отвору під підшипник, торцева поверхня.	Вертикально-свердлильний 2Н118
015	Фрезерна Фрезерувати поверхню під штуцер. Технологічні бази – вісь отвору під підшипник, торцева поверхня.	Вертикально-фрезерний 6Р13
020	Свердлильна Центрувати, свердлити отвір, нарізати різьбу під штуцер. Технологічні бази – вісь отвору під підшипник, торцева поверхня.	Вертикально-свердлильний 2Н118
025	Свердлильна Центрувати, свердлити кріпильні отвори. Технологічні бази – площина основи, бокова поверхня.	Вертикально-свердлильний 2Н118
030	Свердлильна Цекувати 4 поверхні бобишок. Технологічні бази – площина основи, бокова поверхня.	Вертикально-свердлильний 2Н118
035	Фрезерна Фрезерувати торцеві поверхні. Технологічні бази – площина основи, два отвори.	Вертикально-фрезерний 6Р13
040	Свердлильна Центрувати, свердлити, нарізати різьбу в 6-и отворах. Технологічні бази – площина основи, два отвори.	Вертикально-свердлильний 2Н118
045	Токарна Розточити отвір під підшипник. Технологічні бази – площина основи, два отвори.	Токарний універсальний 16К20
050	Внутрішньо-шліфувальна Шліфувати отвір під підшипник. Технологічні бази – площина основи, два отвори.	Внутрішньо-шліфувальний верстат 3К228А

В базовому варіанті застосовані такі універсальні верстати як вертикально-фрезерний 6P13 (3 шт.), вертикально-свердильний 2H118 (5 шт.), токарний універсальний 16K20 (1 шт.) і внутрішньо-шліфувальний верстат 3K228A (1 шт.).

В якості пристосувань використовується 3-х кулачковий патрон, кондукторні пристосування та планшайба зі спеціальним затискним пристроєм.

Такий ТП вимагає великої кількості переустановки деталі з одного верстата на інший. Це призводить до зниження точності обробки, збільшення штучно-калькуляційного часу, а значить і зниження продуктивності праці. В загальному це збільшує собівартість механічної обробки, а значить і виробу «Корпус підшипника 04.15.008В».

Аналіз базового технологічного процесу механічної обробки деталі «Корпус підшипника 04.15.008В» дозволяє зробити висновок, що на базовому підприємстві для обробки деталі «Корпус підшипника 04.15.008В» використовуються лише універсальні верстати. Це призводить до використання великої кількості верстатів, знижується точність обробки по причині значної кількості переустановок деталі, збільшуються витрати часу із-за постійної необхідності і переналадки верстатів та зміни інструмента, зростає кількість робітників, що зайняті у виконанні механічної обробки деталі. Тому собівартість обробки деталі «Корпус підшипника 04.15.008В» є високою.

#### 1.4 Характеристика удосконалених технологічних процесів

Виробництво деталі «Корпус підшипника 04.15.008В» є дрібносерійним. Тому доцільно застосувати для механічної обробки принцип концентрації операцій і використати для його реалізації верстати з ЧПК. Це дасть змогу зменшити кількість переустановок деталі в процесі обробки, кількість верстатів, працюючих, підвищити точність обробки та продуктивність праці і знизити собівартість продукції.

До розгляду пропонується 2 варіанти удосконалених ТП механічної обробки деталі «Корпус підшипника 04.15.008В».

Таблиця 1.3 – ТП механічної обробки (1 варіант)

№ операції	Найменування і короткий зміст операції, технологічні бази	Верстат
005	Багатоцільова з ЧПК Фрезерувати поверхню основи. Центрувати, свердлити, зенкерувати 4 отвори. Фрезерувати поверхню під штуцер. Центрувати, свердлити отвір, нарізати різьбу під штуцер. Технологічні бази – вісь отвору під підшипник, торцева поверхня.	Свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПК 6902ПМФ2
010	Свердлильна з ЧПК Цекувати 4 поверхні бобишок. Технологічні бази – площина основи, бокова поверхня.	Вертикально-свердлильний з ЧПК 2Р135Ф2
015	Багатоцільова з ЧПК Фрезерувати торцеві поверхні. Центрувати, свердлити, нарізати різьбу в 6-и отворах. Розточити отвір під підшипник. Технологічні бази – площина основи, два отвори.	Свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПК 6902ПМФ2
020	Внутрішньошліфувальна Шліфувати отвір під підшипник. Технологічні бази – площина основи, два отвори.	Внутрішньошліфувальний верстат 3К228А

Таблиця 1.4 – ТП механічної обробки (2 варіант)

№ операції	Найменування і короткий зміст операції, технологічні бази	Верстат
1	2	3
005	Багатоцільова з ЧПК Фрезерувати поверхню основи. Центрувати, свердлити, зенкерувати 4 отвори. Технологічні бази – площина бобишок, вісь симетрії деталі.	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК 6550Ф3
010	Свердлильна з ЧПК Цекувати поверхні бобишок. Технологічні бази – площина основи, два отвори.	Вертикально-свердлильний верстат з ЧПК 2Р135Ф2
015	Багатоцільова з ЧПК Точити торці, розточити отвір під підшипник, центрувати, свердлити, нарізати різьбу в 6 отворах. Технологічні бази – площина основи, два отвори.	Токарний верстат з ЧПК 1П420ПФ40



Продовження таблиці 1.4

1	2	3
020	Фрезерна з ЧПК Фрезерувати поверхню під штуцер. Центрувати, свердлити, нарізати різьбу під штуцер. Технологічні бази – площина основи, два отвори.	Вертикально-фрезерний з ЧПК 6550Ф3

Запропонований ТП побудований по принципу концентрації операцій. Це дозволяє ліквідувати недоліки базового ТП, а саме підвищити точність обробки за рахунок зменшення кількості переустановок, а значить ліквідувати похибку установлення при виконанні значної кількості переходів механічної обробки. Зменшення кількості переустановок дає скорочення допоміжного часу, а отже і штучно-калькуляційного, що підвищить продуктивність процесу обробки. Таким чином, собівартість механічної обробки також знизиться.

Базова дільниця має низький рівень механізації, автоматизації технологічних процесів. Тому одне із завдань роботи створення сучасної дільниці механічної обробки на базі верстатів з ЧПК.

Таблиця 1.5 – Показники базової та дільниці, що проектується

Показник	Одиниця виміру	Базовий варіант (I)	Дільниця, що проектується (II)	Відношення (II)/(I)
Кількість верстатів	шт.	10	4	0,4
Кількість основних робітників	чол.	10	4	0,4
Основна площа	м <sup>2</sup>	300	120	0,4
Загальна потужність верстатів	кВт	92	68	0,75

Аналіз техніко-економічних показників, що наведені в таблиці 1.5 дозволяє зробити висновок про доцільність удосконалення технології механічної обробки деталі «Корпус підшипника 04.15.008В», так як зменшується кількість верстатів, робітників, площі, загальна потужність верстатів.

## 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ПІДШИПНИКА 04.15.008В»

### 2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі

#### 2.1.1 Якісний аналіз технологічності деталі [1, 3, 4]

Деталь «Корпус підшипника 04.15.008В» (рис. 2.1) є складовою підшипникового вузла механізму повороту. Маса деталі 11,9 кг. Матеріал – чавун СЧ15 ГОСТ 1412-85.

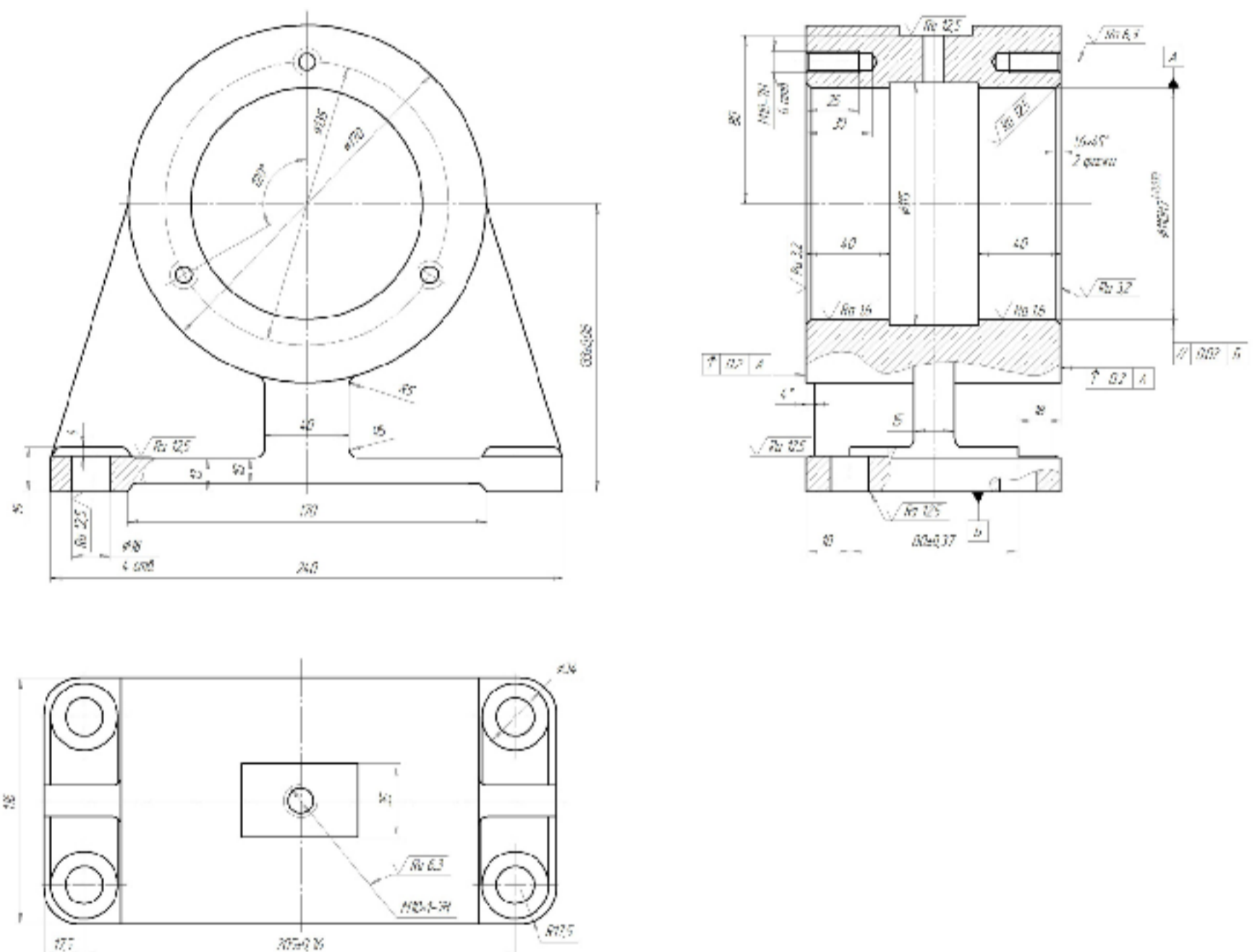


Рисунок 2.1 – Корпус підшипника 04.15.008В

Заготовку при дрібносерійному виробництві рекомендується отримувати методом лиття в піщано-глинисті форми.

Нетехнологічними є два глухі різьбові отвори М10-7Н.

Шорсткість базових поверхонь відповідає чистовій і напівчистовій обробкам на операціях шліфування і точіння.

Найважчими для обробки місцями є внутрішні циліндричні поверхні  $\varnothing 110H7^{(+0,035)}$ ,  $\varnothing 115$  та внутрішні суміжні торцеві поверхні. Для обробки цих поверхонь необхідно використати розточні різці (на токарних верстатах); розточувальні головки на розточних верстатах.

Оскільки при обробці даної деталі її доведеться переустановлювати, то технологічні і конструкторські бази не вдасться сумістити на всіх операціях. При токарній обробці поверхонь  $\varnothing 110H7^{(+0,035)}$ ,  $\varnothing 115$  та зовнішніх торців деталі можна використати основну конструкторську базу (площина основи).

Допоміжні конструкторські бази  $\varnothing 110H7^{(+0,035)}$  та зовнішні торці деталі використовуються при фрезерній обробці поверхонь площини основи та поверхонь бобишок, а також при обробці двох різцевих отворів M10-7H і отвору під масльонку.

Точність кріпильних отворів на фланці деталі можна забезпечити свердлінням на вертикально-свердлильному верстаті (ІТ 12-13). Але не забезпечується задана шорсткість  $Ra=12,5$  мкм. Операція свердління забезпечує  $Ra=20$  мкм. Тому після свердління отворів необхідно використовувати зенкерування:  $Ra=10$  мкм; ІТ 10-11; співвісність 0,01...0,025 мкм.

Оскільки деталь середніх розмірів і виготовлена з чавуну, який має низьку пластичність, то слід її виготовляти литтям в піщано-глинисті форми але з підвищеними вимогами до поверхні вилівка. Спосіб лиття за виплавними моделями (в оболонкові форми) не підходить через дороговизну і погану текучість, так як і відцентрове лиття. Отже згідно попередньої оцінки для виготовлення заготовки найкраще підходить лиття в піщано-глинисті форми.

### 2.1.2 Кількісний аналіз технологічності деталі

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів [1, 3]

$$K_y = \frac{Q_{ye}}{Q_e}, \quad (2.1)$$

де  $Q_{ye}$ ,  $Q_e$  – відповідна кількість уніфікованих елементів і загальна кількість типорозмірів конструктивних елементів (різьба, отвори, фаски і т. ін.)

Таблиця 2.1 – Кількість уніфікованих поверхонь

Діаметральні розміри		Лінійні розміри		Отвори		Канавки		Фаски		Шліци		Різьба	
Уніф	неуніф	уніф	неуніф	уніф	неуніф	уніф	неуніф	уніф	неуніф	уніф	неуніф	уніф	неуніф
-	1	3	4	5	-	-	1	2	-	-	-	6	-

Згідно креслення деталі визначено кількість уніфікованих елементів та загальна кількість елементів, тоді коефіцієнт уніфікації:

$$K_y = \frac{16}{22} = 0,73 > 0,6 \text{ – деталь технологічна.}$$

Розрахунок коефіцієнта точності

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}}; \quad (2.2)$$

де  $T_{cp}$  – середній квалітет точності розмірів;

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i}. \quad (2.3)$$

Таблиця 2.2 – Кількість поверхонь відповідного квалітету

Квалітет IT	14	7
Кількість поверхонь, шт.	35	1

$$T_{cp} = \frac{14 \cdot 35 + 7 \cdot 1}{35 + 1} = 13,81;$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{13,81} = 0,93 > 0,8 \text{ – деталь технологічна.}$$

Коефіцієнт шорсткості поверхні

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{cp}}, \quad (2.4)$$

де  $Ш_{cp}$  – середня шорсткість поверхонь;

Таблиця 2.3 – Кількість поверхонь відповідної шорсткості

Параметри шорсткості Ra, мкм	80	12.5	6.3	3.2	1.6
Кількість поверхонь, шт.	11	15	6	2	2

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{n_i} \text{ [мкм]}. \quad (2.5)$$

$$Ш_{cp} = \frac{80 \cdot 11 + 12,5 \cdot 15 + 6,3 \cdot 6 + 3,2 \cdot 2 + 1,6 \cdot 2}{11 + 15 + 6 + 2 + 2} = 30,97 \text{ (мкм);}$$

$$K_{ш} = \frac{1}{30,97} = 0,032 < 0,32 \text{ – деталь технологічна.}$$

Висновок.  $K_y = 0,73 > 0,6$ ;  $K_T = 0,917 > 0,8$ ;  $K_{ш} = 0,026 < 0,32$ . Отже, деталь за кількісними показниками є технологічною.

## 2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт

### 2.2.1 Визначення типу виробництва

Визначаємо тип виробництва за коефіцієнтом закріплення операцій [1, 3]

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i}. \quad (2.6)$$

Для розрахунку  $K_{з.о.}$  встановлено найбільш характерні переходи механічної обробки деталі «Корпус підшипника 04.15.008В». Всі переходи згруповані попередньо по операціям, які показано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій

№ п/п	Зміст технологічних переходів	Формула для розрахунку $T_{осн} \times 10^{-3}$ хв.	Параметри обробки, мм	$T_{осн}$ , хв	$\Phi_k$	$T_{шт.к.}$ , хв.	$C_p$	P	$\eta_{з.ф.}$	O	$K_{з.о.}$
1	Фрезерувати поверхню основи корпусу підшипника попередньо	$6 \cdot \ell$	$\ell = 195$	1,17	1,51	1,767	0,076	1	0,076	11	28
2	Фрезерувати поверхню основи корпусу підшипника остаточно	$4 \cdot \ell$	$\ell = 195$	0,78	1,51	1,18	0,051	1	0,051	16	
3	Розточити отвір корпусу під підшипник попередньо	$0,18 \cdot D \cdot \ell$	$D = 72H7;$ $\ell = 26$	0,337	1,36	0,458	0,0196	1	0,0196	41	
4	Розточити отвір корпусу під підшипник попередньо	$0,2 \cdot d \cdot \ell$	$D = 72H7;$ $\ell = 26$	0,374	1,36	0,509	0,0218	1	0,0218	37	
5	Розточити отвір корпусу під підшипник остаточно	$0,3 \cdot D \cdot \ell$	$D = 72H7;$ $\ell = 26$	0,562	1,36	0,76	0,0325	1	0,0325	25	
6	Фрезерувати 2 поверхні бобишок під головки кріпильних болтів корпусу підшипника	$2 \cdot 6 \cdot \ell$	$\ell = 27,5$	0,33	1,51	0,498	0,0213	1	0,0213	38	

Розрахункова кількість верстатів

$$C_p = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к}}}{60 \cdot \Phi_{\delta}}. \quad (2.7)$$

Отже, приймаємо кількість верстатів  $P=1$ .

Тоді фактичний коефіцієнт завантаження

$$\eta_{\text{зф}} = \frac{C_p}{P}. \quad (2.8)$$

Тоді коефіцієнт закріплення операцій буде розраховуватись за формулою

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^5 O_i}{\sum P_i} = \frac{11+16+41+37+25+38}{6} = 28. \quad (2.9)$$

Оскільки коефіцієнт закріплення операцій знаходиться в проміжку від 20 до 40, то це дрібносерійне виробництво і групова форма організації роботи.

Розрахуємо добову норму деталей:

$$N_{\delta} = \frac{N}{254} = \frac{2000}{254} \approx 8 \text{ (шт.)} \quad (2.10)$$

Кількість деталей в партії складе:

$$n = \frac{N \cdot a}{254} = \frac{2000 \cdot 2}{254} \approx 16 \text{ (шт.)} \quad (2.11)$$

Кількість робочих змін для виконання партії випуску деталей:

$$C = \frac{T_{\text{шт-к.сер}} \cdot n}{476 \cdot 0,8} = \frac{21,37 \cdot 16}{476 \cdot 0,8} = 0,9. \quad (2.12)$$

Отже, для обробки партії деталей необхідно 1 зміна,  $C = 1$ . Тоді уточнене число деталей в партії буде

$$n = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot C}{T_{\text{шт-к.сер}}} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot 1}{21,37} = 18 \text{ (шт.)} \quad (2.13)$$

Висновок. Тип виробництва – дрібносерійний, форма організації роботи – групова, при цьому кількість деталей в партії для одночасного запуску складає 18 шт.

### 2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

#### 2.3.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки [5-7]

Вихідні дані:

Деталь – «Корпус підшипника 04.15.008В».

Матеріал – сірий чавун СЧ15 ГОСТ 1412-85.

Маса – 11,9 кг.

Найбільший габаритний розмір – 240 мм.

Найменший габаритний розмір – 15 мм.

Тип виробництва – дрібносерійний.

Річна програма – 2000 штук.

Проаналізувавши умови, одержані в якості вихідних і розрахункових даних, робимо висновок, що заготовку потрібно одержати литтям, так як чавун СЧ-18 має добрі ливарні властивості. Можливі способи лиття – лиття в піщано-глинисті форми, лиття в облицьований кокіль, лиття в оболонкові форми.



Висновок. Враховуючи, що при литті сірого чавуну в кокіль на поверхні заготовки утворюється відбілений шар, структура металу має пористості та внутрішні дефекти внаслідок різкого охолодження металу (металева форма – це хороший провідник теплоти) прийнято до розгляду варіанти одержання заготовки – лиття в піщано-глинисті форми (як у базовому технологічному процесі) та лиття в оболонкові форми (запропонований варіант).

### 2.3.2 Розрахунок розмірів для двох варіантів виготовлення заготовки

У відповідності з прийнятим рішенням виконані розрахунки розмірів для 2-х варіантів одержання заготовки і занесені до таблиці 2.5-2.8. При виконанні розрахунків використано [6, 7].

Таблиця 2.5 – Класи точності заготовки [6, 7]

Вихідні параметри заготовки	Лиття в піщано-глинисті форми	
	ГОСТ26645-85	Прийнято
1. Клас розмірної точності	8 – 13г	11
2. Ступінь жолоблення	5 – 8	7
3. Ступінь точності поверхонь виливка	12 – 19	17
4. Шорсткість поверхонь виливка	Ra = 80 мкм	Ra = 80 мкм
5. Клас точності маси виливка	7 – 15	11
6. Ряд припусків на обробку виливка	8 – 11	10

Таблиця 2.6 – Допуски і припуски заготовки [6, 7]

Допуски	Лиття в піщано-глинисті форми				
	116h14 <sub>(-0,87)</sub>	133 ± 0,315	13 ± 0,15	4 ± 0,15	Ø110H7 <sup>(+0,035)</sup>
1	2	3	4	5	6
1. Розмірів	5	5	2	2	5
2. Форми та розміщення	0,5	0,64	0,5	0,5	0,5
3. Зміщення ви-ливка по площині роз'єму	3,6	3,6	3,6	3,6	-
4. На перекося стержня	-	-	-	-	8
5. Нерівностей	0,5				
6. Маси	16%				
7. Загальний допуск	7	7	5,6	5,6	5,6

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6
Припуски					
1. Мінімальний	1,6				
2. К-ть переходів мех. обробки:					
а) по точності розмірів	1	2	2	2	4
б) по точності форми і взаємного розміщення поверхонь	2	1	1	-	2
К-ть переходів	2	1	1	1	4
3. Загальний припуск	6,7	6,7	5,8	4	7,3
4. Граничні розміри заготовки	129,5	139,7 ± 2,5	19 ± 1	4 ± 2,8	Ø95 ± 1 2,5

Таблиця 2.7 – Класи точності заготовки [6, 7]

Вихідні параметри заготовки	Лиття в оболонковій формі	
	ГОСТ26645-85	Прийнято
1. Клас розмірної точності	8 – 13т	9
2. Ступінь жолоблення	5 – 8	7
3. Ступінь точності поверхонь виливка	8 – 14	11
4. Шорсткість поверхонь виливка	Ra = 20 мкм	Ra = 20 мкм
5. Клас точності маси виливка	6 – 13	9
6. Ряд припусків на обробку виливка	4 – 7	6

Таблиця 2.8 – Допуски і припуски заготовки [6, 7]

Допуски	Лиття в оболонковій формі				
	116h14 <sub>(-0,87)</sub>	133 ± 0,315	13 ± 0,15	4 ± 0,15	Ø110H7 <sup>(+0,035)</sup>
1	2	3	4	5	6
1. Розмірів	2,0	2,0	1,4	1,0	2,0
2. Форми та розміщення	0,5	0,64	0,5	0,5	0,5
3. Зміщення ви-ливка по площині роз'єму	1,8	1,8	1,8	1,8	—
4. На перекося стержня	—	—	—	—	1,4
5. Нерівностей	0,32				
6. Маси	8,0%				
7. Загальний допуск	3,2	3,2	2,8	2,8	3,2

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6
Припуски					
1. Мінімальний	0,6				
2. К-ть переходів мех. обробки:					
а) по точності розмірів	1	1	1	1	4
б) по точності форми і взаємного розміщення поверхонь	2	1	1	—	2
К-ть переходів	2	1	1	1	4
3. Загальний припуск	3,4	3,4	3,1	3,1	4,3
4. Граничні розміри заготовки	122,8 <sub>-2,0</sub>	136,4 ± 1,0	16,1 ± 0,7	4 ± 0,5	Ø101 ± 1,0

Згідно рекомендацій [6, 7] визначені мінімально допустима товщина стінки, мінімальні діаметри отворів, що можуть бути одержані литтям, радіуси заокруглень, нахили.

### 2.3.3 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси двох варіантів заготовки

Для остаточного вибору способу одержання заготовки необхідно розрахувати масу заготовки, коефіцієнт використання матеріалу та собівартість її виготовлення.

Масу заготовки визначено як суму

$$Q_{\text{вил}} = Q_{\text{д}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{н}} \text{ [кг]}, \quad (2.14)$$

де  $Q_{\text{д}}$  – маса деталі, кг;  $Q_{\text{пр}}$  – маса припусків, що знімаються з поверхонь заготовки шляхом механічної обробки, кг;  $Q_{\text{н}}$  – маса напусків, кг.

Маса деталі  $Q_{\text{д}} = 11,09$  кг (з робочого креслення деталі).

Маса припусків:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{пр1}} + Q_{\text{пр2}} + Q_{\text{пр3}} \text{ [кг]}, \quad (2.15)$$

де  $Q_{\text{пр1}}$  – припуск, що знімається з площини основи, кг;  $Q_{\text{пр2}}$  – припуск, що знімається з отвору  $\varnothing 110\text{H7}$ , кг;  $Q_{\text{пр3}}$  – припуск, що знімається з 2-х торцевих поверхонь, що прилягають до отвору  $\varnothing 110\text{H7}$ .

$$Q_{\text{пр1}} = V_1 \cdot \rho \text{ [кг]},$$

$$Q_{\text{пр2}} = V_2 \cdot \rho \text{ [кг]},$$

$$Q_{\text{пр3}} = V_3 \cdot \rho \text{ [кг]},$$

де  $V_1, V_2, V_3$  – об'єми припусків, що змінюються відповідно з поверхонь площини основи, отвору  $\varnothing 110\text{H7}$ , 2-х торцевих поверхонь, що прилягають до отвору  $\varnothing 110\text{H7}$ ;  $\rho$  – густина матеріалу заготовки.

При литті в піщано-глинисті форми

$$Q_{\text{пр}} = (V_1 + V_2 + V_3) \cdot \rho = [70 \cdot 11,6 \cdot 0,67 + 2 \cdot 3,14 \left( \frac{11^2 - 9,5^2}{4} \right) \cdot 4 + 2 \cdot 3,14 \cdot \left( \frac{17^2 - 9,5^2}{4} \right) \cdot 0,67] \cdot 7,8 = 3561,2 \text{ (г)} \approx 3,56 \text{ (кг)}$$

При литті в оболонкові форми

$$Q_{\text{пр}} = [70 \cdot 11,6 \cdot 0,34 + 2 \cdot 3,14 \left( \frac{11^2 - 10,1^2}{4} \right) \cdot 4 + 2 \cdot 3,14 \cdot \left( \frac{17^2 - 10,1^2}{4} \right) \cdot 0,34] \cdot 7,8 = 1923,9 \text{ (г)} \approx 1,924 \text{ (кг)}$$

До напусків відносяться:

$$Q_{\text{нап}} = Q_{\text{нап1}} + Q_{\text{нап2}} + Q_{\text{нап3}} \text{ [кг]}, \quad (2.16)$$

де  $Q_{\text{нап1}}$  – напуск, що знімається при обробці 4 отворів  $\varnothing 18$  мм, кг;  $Q_{\text{нап2}}$  – напуск, що знімається при обробці заглиблення  $35 \times 52$  мм, кг;  $Q_{\text{нап3}}$  – напуск, що знімається з 6-ти отворів М10-7Н, кг.

$$Q_{\text{нап1}} = V_{\text{нап1}} \cdot \rho \text{ [кг]},$$

$$Q_{\text{нап2}} = V_{\text{нап2}} \cdot \rho \text{ [кг]},$$

$$Q_{\text{нап3}} = V_{\text{нап3}} \cdot \rho \text{ [кг]},$$

де  $V_{\text{нап1}}$ ,  $V_{\text{нап2}}$ ,  $V_{\text{нап3}}$  – об'єми відповідних напусків.

При литті в піщано-глинисті форми

$$\begin{aligned} Q_{\text{нап}} &= \left( 4 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,8^2}{4} \cdot 0,67 + 3,5 \times 5,2 \cdot 0,5 + 6 \frac{3,14 \cdot 1,0^2}{4} \cdot 3,0 \right) \cdot 7,8 = \\ &= 234,23 \text{ (г)} = 0,234 \text{ (кг)} \end{aligned}$$

При литті в оболонкові форми

$$\begin{aligned} Q_{\text{нап}} &= \left( 4 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,8^2}{4} \cdot 0,34 + 3,5 \times 5,2 \cdot 0,5 + 6 \frac{3,14 \cdot 1,0^2}{4} \cdot 3,0 \right) \cdot 7,8 = \\ &= 209,5 \text{ (г)} \approx 0,21 \text{ (кг)} \end{aligned}$$

Отже, маса заготовки:

- при литті в піщано-глинисті форми

$$Q_{\text{заг1}} = 11,9 + 3,56 + 0,234 = 15,7 \text{ (кг)} \approx 15,7 \text{ (кг)};$$

- при литті в оболонкові форми

$$Q_{\text{заг1}} = 11,9 + 1,924 + 0,21 = 14,03 \text{ (кг)} \approx 14,03 \text{ (кг)}.$$

Коефіцієнт точності маси заготовки

$$\gamma = \frac{Q_{дет}}{Q_{заг}}, \quad (2.17)$$

де  $Q_{дет}$ ,  $Q_{заг}$  – маса, відповідно, деталі, заготовки, кг.

Таким чином:

- при литті в піщано-глинисті форми

$$\gamma_1 = \frac{Q_{дет}}{Q_{заг1}} = \frac{11,9}{15,7} = 0,76;$$

- при литті в оболонкові форми

$$\gamma_2 = \frac{Q_{дет}}{Q_{заг2}} = \frac{11,9}{14,03} = 0,85.$$

2.3.4 Техніко-економічне порівняння двох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого

Собівартість заготовки [6]:

$$C_{заг} = \left( \frac{S_i}{1000} \cdot Q_{заг} \cdot K_t \cdot K_c \cdot K_v \cdot K_m \cdot K_n \right) - (Q_{заг} - Q_{дет}) \frac{S_{відх}}{1000} \text{ [грн.]}, \quad (2.18)$$

де  $S$  – базова вартість однієї тонни заготовок, грн.;  $K_t$ ,  $K_c$ ,  $K_v$ ,  $K_m$ ,  $K_n$  – коефіцієнти, що залежать, відповідно, від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу і обсягу виробництва заготовок;  $S_{відх}$  – ціна однієї тонни відходів (стружки), грн.

Таким чином, вказані показники:

- при литті в піщано-глинисті форми

$$C_{заг1} = \left( \frac{15600}{1000} \cdot 15,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,84 \right) - (15,7 - 11,9) \frac{2370}{1000} = 237,87 \text{ (грн.)};$$

- при литті в оболонкові форми

$$C_{заг2} = \left( \frac{25840}{1000} \cdot 14,03 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,14 \cdot 0,78 \right) - (14,03 - 11,9) \frac{2370}{1000} = 317,32 \text{ (грн.)}$$

Так як собівартість заготовки при литті в піщано-глинисті форми нижча, то приймаємо цей варіант виготовлення заготовки. При цьому економічний ефект за рахунок зниження собівартості заготовки буде:

$$E_{соб} = (C_{заг1} - C_{заг2}) \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (2.19)$$

$$E_{соб} = (317,32 - 237,87) \cdot 2000 = 158900 \text{ (грн.)}$$

2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь

Визначимо кількість ступенів механічної обробки циліндричної поверхні  $\emptyset 110H7^{(+0,035)}$  (IT 7),  $Ra = 1,6$  мкм.

Заготовка – лиття в піщано-глинисті форми, допуск заготовки на розмір  $\emptyset 110H7^{(+0,035)}$   $T_{заг} = 5600$  мкм, допуск деталі  $T_{дет} = 35$  мкм.

Коефіцієнт уточнення складає [4]:

$$\varepsilon = \frac{T_{заг}}{T_{дет}} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_2}{T_3} \dots = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \dots, \quad (2.20)$$

$$\varepsilon = \frac{5600}{35} = 160,$$

де  $\varepsilon_i$  – окремі ступені уточнення. Для першого переходу чорнової обробки  $\varepsilon_{\text{чор}} \leq 5 \dots 6$ ; для переходів напівчистої обробки  $\varepsilon_{\text{чист}} = 3 \dots 4$ ; для чистої обробки (IT 8 - IT 10)  $\varepsilon_{\text{чист}} = 2 \dots 2,5$ ; для фінішної обробки (IT 5 - IT 7)  $\varepsilon_{\text{фін}} = 1,5 \dots 2$ .

Приймаємо 4 переходи механічної обробки. Тоді

$$\varepsilon_1 = 8;$$

$$\varepsilon_2 = 5,5;$$

$$\varepsilon_3 = 3,64.$$

Допуски на проміжні технологічні розміри:

$$T_1 = \frac{5600}{8} = 700 \text{ (мкм)} (\approx \text{IT } 12);$$

$$T_2 = \frac{700}{5,5} = 127,27 \text{ (мкм)} (\approx \text{IT } 9);$$

$$T_3 = \frac{127,27}{3,64} = 35 \text{ (мкм)} (\text{IT } 7).$$

Остаточно приймаємо 3 переходи механічної обробки: розточування попереднє; розточування попереднє; розточування остаточне.

Методи обробки поверхонь з підвищеними вимогами точності зведені в таблицю 2.9.



Таблиця 2.9 – Визначення способів і кількості ступенів механічної обробки

Розмір, мм	Шорсткість, мкм	Вид механічної обробки	Квалітет
$\varnothing 110H7^{(+0,035)}$	Ra 1,6	Розточування попереднє, розточування попереднє, розточування остаточне	12 9 7
$\varnothing 18$	Ra 12,5	Центрувати, свердлити, зенкерувати	14 12 11
116	Ra 3,2	Фрезерування попереднє, фрезерування остаточне	13 12
M10×1	6,3	Центрувати, свердлити, нарізати різь	12

### 2.5 Вибір чорнових та чистових технологічних баз

В якості чистової технологічної бази для точної чистової обробки поверхні 2 приймаємо поверхню 16 (рис. 2.2).

Для чистової обробки поверхні 2, 6 і 4 базами будуть поверхні: поверхня 16 – установна; поверхня 17 в якості напрямної бази, ще одна опорна база буде забезпечуватись іншим отвором.

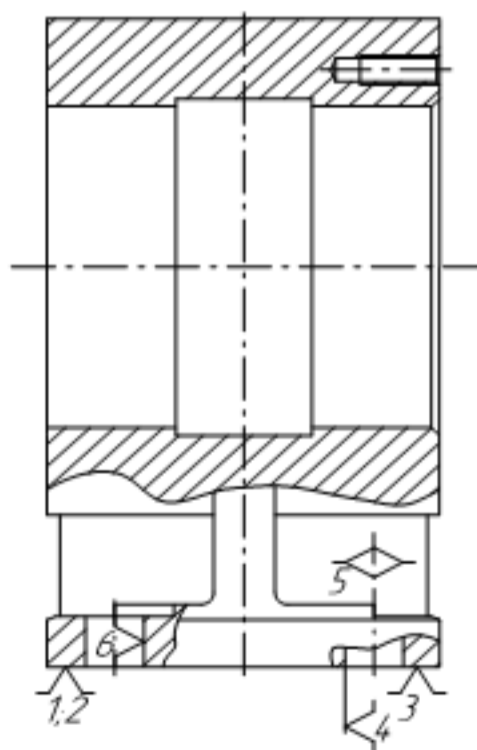


Рисунок 2.2 – Чистові бази

Вибір чорнових баз.

Для обробки поверхонь 16, 17 та ін. деталь необхідно базувати по ще не обробленим поверхням, оскільки таким чином ми забезпечуємо прив'язку необроблюваних поверхонь до оброблюваних і за рахунок обробки з одного установа поверхонь 1, 2, 4 забезпечуємо необхідні початкові параметри точності. Виходячи з конструкції деталі чорнове базування проводиться за схемою приведеною на рис. 2.3.

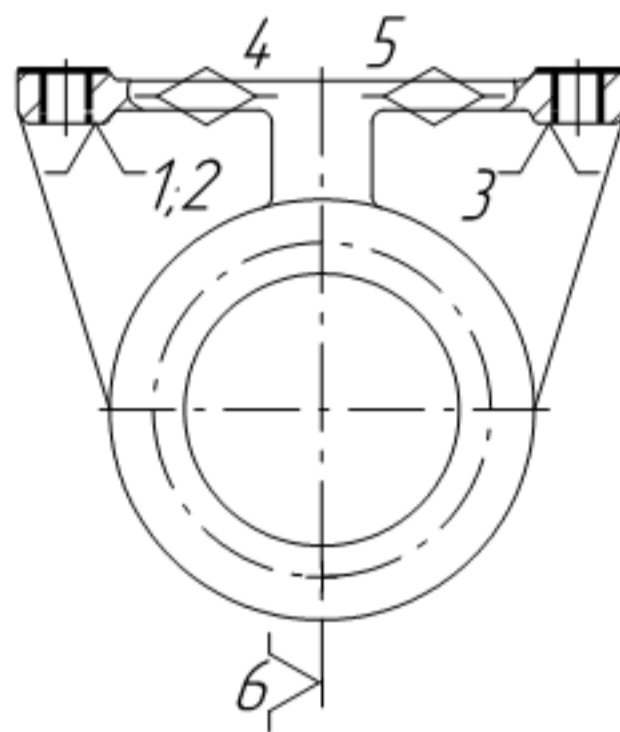
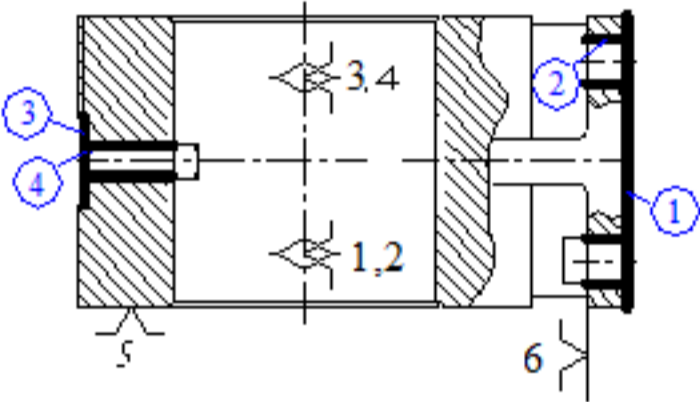
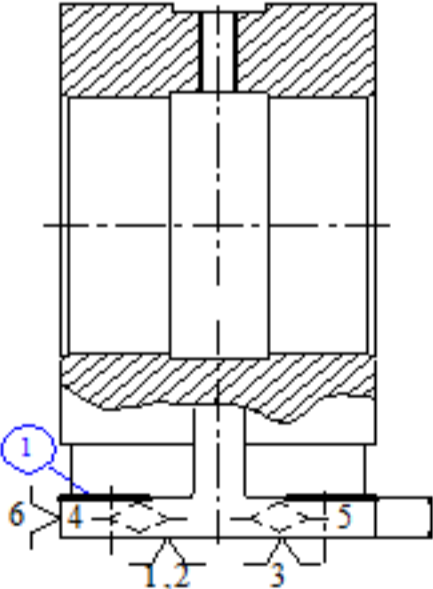


Рисунок 2.3 – Чорнові бази

2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу

Розроблені варіанти маршруту механічної обробки деталі «Корпус підшипника» показані в табл. 2.10-2.11.

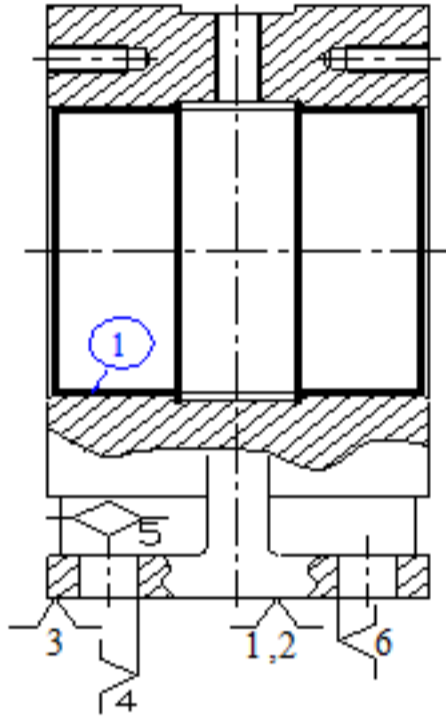
Таблиця 2.10 – Перший варіант маршруту механічної обробки деталі

№ операції	Операція, перехід	Ескіз обробки, схема базування	Верстат
1	2	3	4
005	<p><u>Багатоцільова з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати поверхню 1.</li> <li>3. Центрувати 4 отвори 2.</li> <li>4. Свердлити 4 отвори 2.</li> <li>5. Зенкерувати 4 отвори 2.</li> <li>6. Повернути заготовку на 180°.</li> <li>7. Фрезерувати поверхню 3.</li> <li>8. Центрувати отвір 4.</li> <li>9. Свердлити отвір 4.</li> <li>10. Нарізати різь в отворі 4.</li> </ol> <p>Зняти заготовку.</p>		Свердильно-фрезерно-розточний верстат з ЧПК 6902ПМФ2
010	<p><u>Свердильна з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Цекувати 4 поверхні 1.</li> <li>3. Зняти деталь.</li> </ol>		Вертикально-свердильний верстат з ЧПК 2Р135Ф2

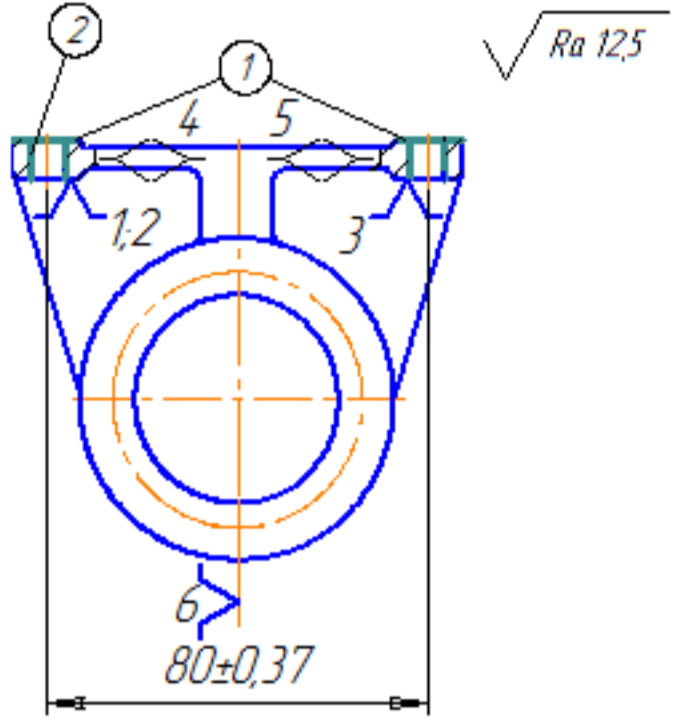
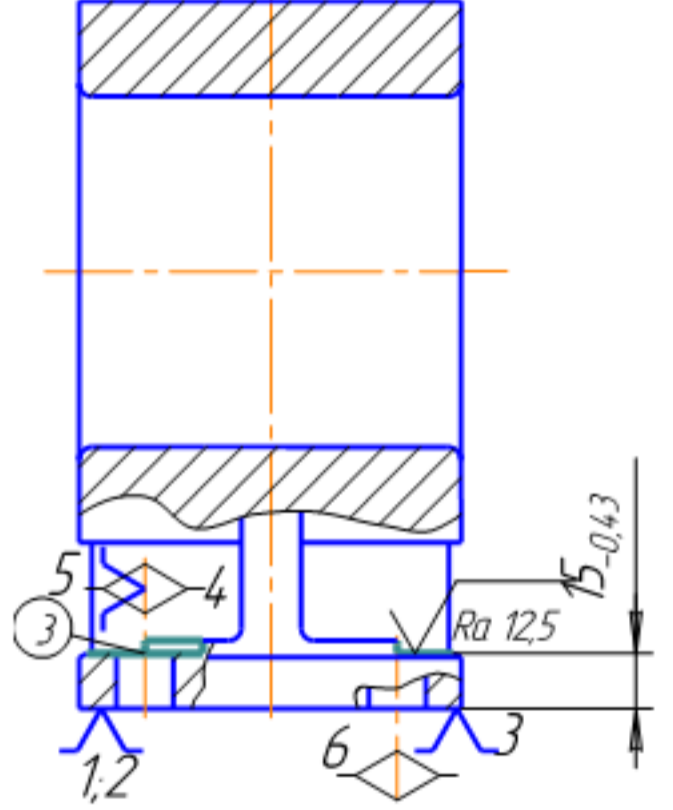
Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4
015	<p><u>Багатоцільова з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати поверхню 1 двократно.</li> <li>3. Центрувати 3 отвори 13.</li> <li>4. Свердли 3 отвори 13.</li> <li>5. Зняти фаски в трьох отворах 13.</li> <li>6. Нарізати різь в 3-х отворах 13.</li> <li>7. Повернути заготовку на 180°.</li> <li>8. Фрезерувати поверхню 7 двократно.</li> <li>9. Центрувати 3 отвори 12.</li> <li>10. Свердли 3 отвори 12.</li> <li>11. Зняти фаски в трьох отворах 12.</li> <li>12. Нарізати різь в 3-х отворах 12.</li> <li>13. Точити поверхні 6, 2 двократно.</li> <li>14. Обробити фаску 15.</li> <li>15. Повернути заготовку на 180°.</li> <li>16. Обробити фаску 14.</li> <li>17. Фрезерувати поверхню 4.</li> <li>18. Зняти заготовку.</li> </ol>		<p>Свердльно-фрезерно-розточний верстат з ЧПК 6902ПМФ2</p>

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4
020	<p align="center"><u>Шліфувальна</u></p> <p>1. Установити і закріпити заготовку.  2. Шліфувати поверхню 1.  3. Зняти деталь.</p>		<p align="center">Внутрішньо-шліфувальний верстат 3К228А</p>

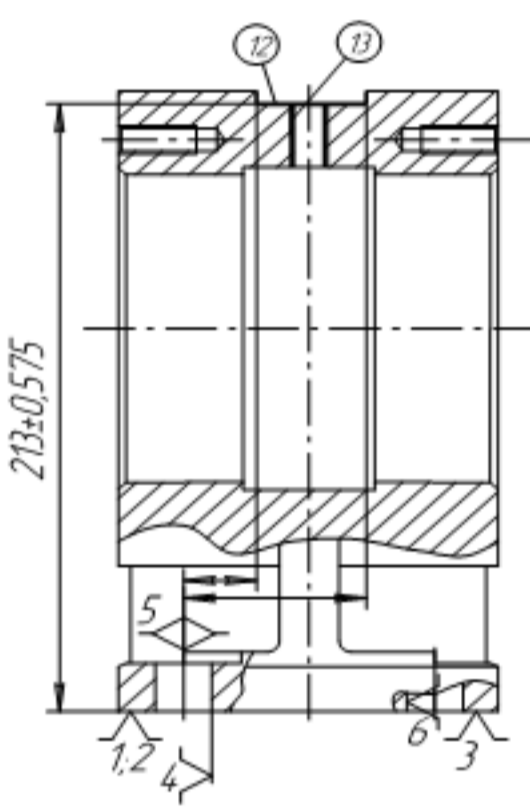
Таблиця 2.11 – Другий варіант маршруту механічної обробки деталі

№ операції	Операція, перехід	Ескіз обробки, схема базування	Верстат
1	2	3	4
005	<p><b>Фрезерна з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати поверхню 1.</li> <li>3. Центрувати 4 отвори 2.</li> <li>4. Свердлити 4 отвори 2.</li> <li>5. Зенкерувати 4 отвори 2.</li> <li>6. Зняти заготовку.</li> </ol>		<p>Вертикально-фрезерний з ЧПК 6550Ф3</p>
010	<p><b>Свердлильна з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Цекувати 4 поверхні 3.</li> <li>3. Зняти заготовку.</li> </ol>		<p>Вертикально-свердильний верстат з ЧПК 2Р135Ф2 з пристосуванням</p>

## Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4
015	<p>Багатоцільова з ЧПК</p> <p>Установ 1</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Точити торець 4, поверхню 5 попередньо.</li> <li>3. Точити торець 4, поверхню 5 остаточно.</li> <li>4. Розточити поверхню 6 одноразово.</li> <li>5. Розточити поверхню 5 остаточно.</li> <li>6. Обробити фаску 7.</li> <li>7. Центрувати 3 отвори 8.</li> <li>8. Свердли 3 отвори 8.</li> <li>9. Зняти фаски в 3 отворах 8.</li> <li>10. Нарізати різь в 3 отворах 8.</li> <li>11. Зняти заготовку.</li> </ol> <p>Установ 2</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Підрізати торець 9 попередньо.</li> <li>3. Підрізати торець 9 остаточно і обробити фаску 10.</li> <li>4. Центрувати 3 отвори 11, зняти фаски в 3 отворах 11.</li> <li>5. Нарізати різь в 3 отворах 11.</li> <li>6. Зняти заготовку.</li> </ol>		Токарний багатоцільовий з ЧПК з спеціальною оснасткою 1П420ПФ40

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4
020	<p style="text-align: center;"><b>Фрезерна з ЧПК</b></p> <p>1. Установити і закріпити заготовку.  2. Фрезерувати поверхню 12.  3. Центрувати отвір 13.  4. Свердлити отвір 13.  5. Нарізати різь в отворі 13.  6. Зняти деталь.</p>		<p style="text-align: center;">Вертикально-фрезерний з ЧПК 6550Ф3</p>



## 2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат

Варіант №1.

Розраховуємо основний час для операції 005.

$$T_o = T_{o_1} + 4 \cdot T_{o_2} + 4 \cdot T_{o_3} + 4 \cdot T_{o_4} + T_{o_5} + T_{o_6} + T_{o_7} + T_{o_8} = 1.44 + 4 \cdot 0.035 + 4 \cdot 0.138 + 4 \cdot 0.01 + 0.1 + 0.06 + 0.017 + 1.2 = 3.2 \text{ хв}$$

де  $T_{o_i}$  – основний час для обробки деталі на  $i$ -тому переході.

Таблиця 2.12 – Розрахунок основного часу на операції 005

$T_{o_1} = 6 \cdot l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 116 \cdot 10^{-3} = 1.44$	Фрезерувати поверхню 1
$T_{o_2} = 4 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 4 \cdot 0.52 \cdot 17 \cdot 1.9 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0.035$	Центрувати 4 отвори 2
$T_{o_3} = 4 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 4 \cdot 0.52 \cdot 17 \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0.138$	Свердли 4 отвори 2
$T_{o_4} = 4 \cdot [0.43 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 4 \cdot 0.43 \cdot 17 \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0.01$	Зенкерувати 4 отвори 2
$T_{o_5} = 6 \cdot l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 35 \cdot 10^{-3} = 0.1$	Фрезерувати поверхню 3
$T_{o_6} = [0.86 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 0.86 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.06$	Центрувати отвір 4
$T_{o_7} = [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 0.52 \cdot 10 \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 0.017$	Свердли отвір 4
$T_{o_8} = [0.4 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 0.52 \cdot 10 \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 1.2$	Нарізати різь в отворі 4
$T_o = 3.2 \text{ хв.}$	

1. Розраховуємо основний час для операції 010.

$$T_o = \sum_{i=1}^n T_{o_i} \text{ [хв.]},$$

де  $T_{o_i}$  – основний час для обробки деталі на  $i$  - тому переході.

Таблиця 2.13 – Розрахунок основного часу на операції 010

$T_{o_1} = 4 \cdot [0.21 \cdot d \cdot l] \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0.21 \cdot 4 \cdot 34 \cdot 10^{-3} = 0.65$	Цекувати 4 поверхні 1
$T_o = 0.65 \text{ хв.}$	

2. Розраховуємо основний час для операції 015.

Таблиця 2.14 – Розрахунок основного часу на операції 015

$T_{o_1} = 2 \cdot 5 \cdot l \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 5 \cdot 170 \cdot 10^{-3} = 1.7$	Фрезерувати пов. 1 дворазово
$T_{o_2} = 3 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.52 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.083$	Центрувати 3 отвори 13
$T_{o_3} = 3 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.52 \cdot 10 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0.42$	Свердлити 3 отвори 13
$T_{o_4} = 3 \cdot [0.21 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.21 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0.008$	Зенкерувати фаски в 3 отворах 13.
$T_{o_5} = 3 \cdot [0.4 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.4 \cdot 10 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0.3$	Нарізати різь в 3-х отворах 13.
$T_{o_6} = 2 \cdot 5 \cdot l \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 5 \cdot 170 \cdot 10^{-3} = 1.7$	Фрезерувати пов. 7 двократно.
$T_{o_7} = 3 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.52 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.083$	Центрувати 3 отвори 12.
$T_{o_8} = 3 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.52 \cdot 10 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0.42$	Свердлити 3 отвори 12.
$T_{o_9} = 3 \cdot [0.21 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.21 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0.008$	Зняти фаски в трьох отворах 12.
$T_{o_{10}} = 3 \cdot [0.4 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.4 \cdot 10 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0.3$	Нарізати різь в 3-х отворах 12.
$T_{o_{11}} = 2 \cdot 0.25 \cdot l \cdot d \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 0.25 \cdot 110 \cdot 116 \cdot 10^{-3} = 6.38$	Точити поверхні 6, 2 двократно.
$T_{o_{12}} = 0.2 \cdot l \cdot d \cdot 10^{-3} = 0.2 \cdot 110 \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} = 0.025$	Обробити фаску 15.
$T_{o_{13}} = 0.2 \cdot l \cdot d \cdot 10^{-3} = 0.2 \cdot 110 \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} = 0.025$	Обробити фаску 14.
$T_{o_{14}} = 5 \cdot l \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 345.6 \cdot 10^{-3} = 1.73$	Фрезерувати поверхню 4.
$T_o = 15.2$ хв.	

3. Розраховуємо основний час для операції 020.

Таблиця 2.15 – Розрахунок основного часу на операції 020

$T_{o_1} = 0.15 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0.15 \cdot 110 \cdot 116 \cdot 10^{-3} = 1.9$	Шліфувати пов. 1 одноразово
$T_o = 1.9$ хв.	

4. За [1, 4] вибираємо значення коефіцієнта  $\varphi_k$ .

Для операції 005 коефіцієнт  $\varphi_k$  складає 2.4, для операції 010 -  $\varphi_k=1.72$ , для операції 015 -  $\varphi_k = 2.4$ , для 020 -  $\varphi_k = 2,1$ .

Розраховуємо штучно-калькуляційний час для кожної з операцій за формулою

$$T_{шт.к} = T_o \cdot \varphi_k \text{ [хв.]}, \quad (2.21)$$

За [4] вибираємо годинні зведені витрати для верстатів, які використовуються в даному технологічному процесі. Отримані вище дані, заносимо в таблицю 2.16.

За формулою розраховуємо технологічну собівартість операції механічної обробки

$$C_o = \frac{C_{пз} \cdot T_{шт.к}}{60 \cdot k_v} \text{ [грн./год.]}, \quad (2.22)$$

де  $C_o$  – технологічна собівартість;

$C_{пз}$  – часові приведені витрати;

$T_{шт.к}$  – штучно-калькуляційний час;

$k_v$  – коефіцієнт виконання норм.

Розрахунок ведемо табличним способом.

Таблиця 2.16 – Розрахунок витрат на виготовлення деталі за I маршрутом

№	Операція	$T_o$ , хв.	$\varphi_k$	$T_{шт.к}$ , хв.	$C_{пз}$ , грн./год	$C_o$ , грн.
005	Комбінована з ЧПК	3.2	2.4	7.6	89,4	8,7
010	Вертикально-свердлильна	0.65	1.72	1.12	47,8	0,69
015	Комбінована з ЧПК	15.2	2.4	36.4	89,4	41,79
020	Шліфувальна	1.9	2.1	4.02	58,2	3
$\Sigma$						54,11

Варіант №2.

5. Розраховуємо основний час для операції 005.

Таблиця 2.17 – Розрахунок основного часу на операції 005

$To_1 = 6 \cdot l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 116 \cdot 10^{-3} = 1.44$	Фрезерувати поверхню 16
$To_2 = 4 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 4 \cdot 0.52 \cdot 17 \cdot 1.9 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0.035$	Центрувати 4 отвори 17
$To_3 = 4 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 4 \cdot 0.52 \cdot 17 \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0.138$	Свердлити 4 отвори 17
$To_4 = 4 \cdot [0.43 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 4 \cdot 0.43 \cdot 17 \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0.01$	Зенкерувати 4 отвори 17
$To = 2.34$ хв.	

6. Розраховуємо основний час для операції 010.

Таблиця 2.18 – Розрахунок основного часу на операції 010

$To_1 = 4 \cdot [0.21 \cdot d \cdot l] \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0.21 \cdot 4 \cdot 34 \cdot 10^{-3} = 0.65$	Цекувати 4 поверхні 18
$To = 0.65$ хв.	

7. Розраховуємо основний час для операції 015.

Таблиця 2.19 – Розрахунок основного часу на операції 015

$To_1 = 2 \cdot 5 \cdot l \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 5 \cdot 170 \cdot 10^{-3} = 1.7$	Підрізати торець 1 дворазово
$To_2 = 3 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.52 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.083$	Центрувати 3 отвори 13
$To_3 = 3 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.52 \cdot 10 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0.42$	Свердлити 3 отвори 13
$To_4 = 3 \cdot [0.21 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.21 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0.008$	Зенкерувати фаски в 3 отворах 13
$To_5 = 3 \cdot [0.4 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.4 \cdot 10 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0.3$	Нарізати різь в 3-х отворах 13
$To_6 = 2 \cdot 5 \cdot l \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 5 \cdot 170 \cdot 10^{-3} = 1.7$	Підрізати торець 7 двократно
$To_7 = 3 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.52 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.083$	Центрувати 3 отвори 12
$To_8 = 3 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.52 \cdot 10 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0.42$	Свердлити 3 отвори 12
$To_9 = 3 \cdot [0.21 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.21 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0.008$	Зняти фаски в трьох отворах 12
$To_{10} = 3 \cdot [0.4 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.4 \cdot 10 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0.3$	Нарізати різь в 3-х отворах 12
$To_{11} = 2 \cdot 0.25 \cdot l \cdot d \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 0.25 \cdot 110 \cdot 116 \cdot 10^{-3} = 6.38$	Точити поверхні 6, 2 двократно
$To_{12} = 0.2 \cdot l \cdot d \cdot 10^{-3} = 0.2 \cdot 110 \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} = 0.025$	Обробити фаску 15
$To_{13} = 0.2 \cdot l \cdot d \cdot 10^{-3} = 0.2 \cdot 110 \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} = 0.025$	Обробити фаску 14
$To_{14} = 5 \cdot l \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 345.6 \cdot 10^{-3} = 1.73$	Розточити поверхню 4
$To = 15.2$ хв.	

8. Розраховуємо основний час для операції 020.

Таблиця 2.20 – Розрахунок основного часу на операції 020

$T_{o_1} = 6 \cdot l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 35 \cdot 10^{-3} = 0.8$	Фрезерувати поверхню 9
$T_{o_2} = [0.86 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 0.86 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.2$	Центрувати отвір 10
$T_{o_3} = [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 0.52 \cdot 10 \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 0.43$	Свердлити отвір 10
$T_{o_4} = [0.4 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 0.52 \cdot 10 \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 1.2$	Нарізати різь в отворі 10
$T_o = 2.53 \text{ хв.}$	

Для операції 005 коефіцієнт  $\varphi_k$  складає 1,84, для операції 010 –  $\varphi_k=1,72$ , для операції 015 –  $\varphi_k = 2,4$ , для 020 –  $\varphi_k = 1,84$ , для 025 – 2,1.

Розраховуємо штучно-калькуляційний час для кожної з операцій за формулою

$$T_{\text{шт.к}} = T_o \cdot \varphi_k \text{ [хв.]},$$

За [4] вибираємо годинні приведені витрати для верстатів, які використовуються в даному технологічному процесі. Отримані вище дані, заносимо в таблицю 2.21.

За формулою розраховуємо технологічну собівартість операції механічної обробки (грн./год.)

$$C_o = \frac{C_{\text{пз}} \cdot T_{\text{шт.к}}}{60 \cdot k_v} \text{ [грн.]},$$

де  $C_o$  – технологічна собівартість;

$C_{\text{пз}}$  – часові приведені витрати;

$T_{\text{шт.к}}$  – штучно-калькуляційний час;

$k_v$  – коефіцієнт виконання норм.

Розрахунок ведемо табличним способом.

Таблиця 2.21 – Розрахунок витрат на виготовлення деталі за II варіантом маршруту

№	Операція	T <sub>о</sub> , хв.	φ <sub>к</sub>	T <sub>шт.к</sub> хв.	C <sub>пз</sub> , грн./год	C <sub>о</sub> , грн.
005	Фрезерна з ЧПК	2,34	1,84	4.3	87,5	4,84
010	Свердлильна з ЧПК	0.65	1.72	1.12	47,8	0,69
015	Багатоцільова з ЧПК	15.2	2.9	44.1	41,0	23,1
020	Фрезерна з ЧПК	2,53	1,84	4,65	87,5	5,22
Σ						33,85

Отже, приведена економія складає:

$$E = (C_I - C_{II}) \cdot N = (54,11 - 33,85) \cdot 2000 = 40527,31 \text{ (грн.)}$$

Висновок: Виходячи з наведених вище розрахунків, для виробництва деталі – корпус, необхідно застосувати другий варіант технологічного процесу, так як він є найбільш економічним і доцільним з точки зору забезпечення точності деталі, завдяки застосуванню більш дешевого обладнання.

## 2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу

### 2.8.1 Вибір розташування технологічних розмірів

Розміщення технологічних розмірів показано на рис. 2.4.

### 2.8.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів

Допуски на технологічні розміри призначаються згідно довідника [4], для відповідного розміру за відповідним квалітетом.

### 2.8.3 Розмірна схема технологічного процесу

Розмірна схема відповідає технологічному процесу і показана на рис. 2.4.

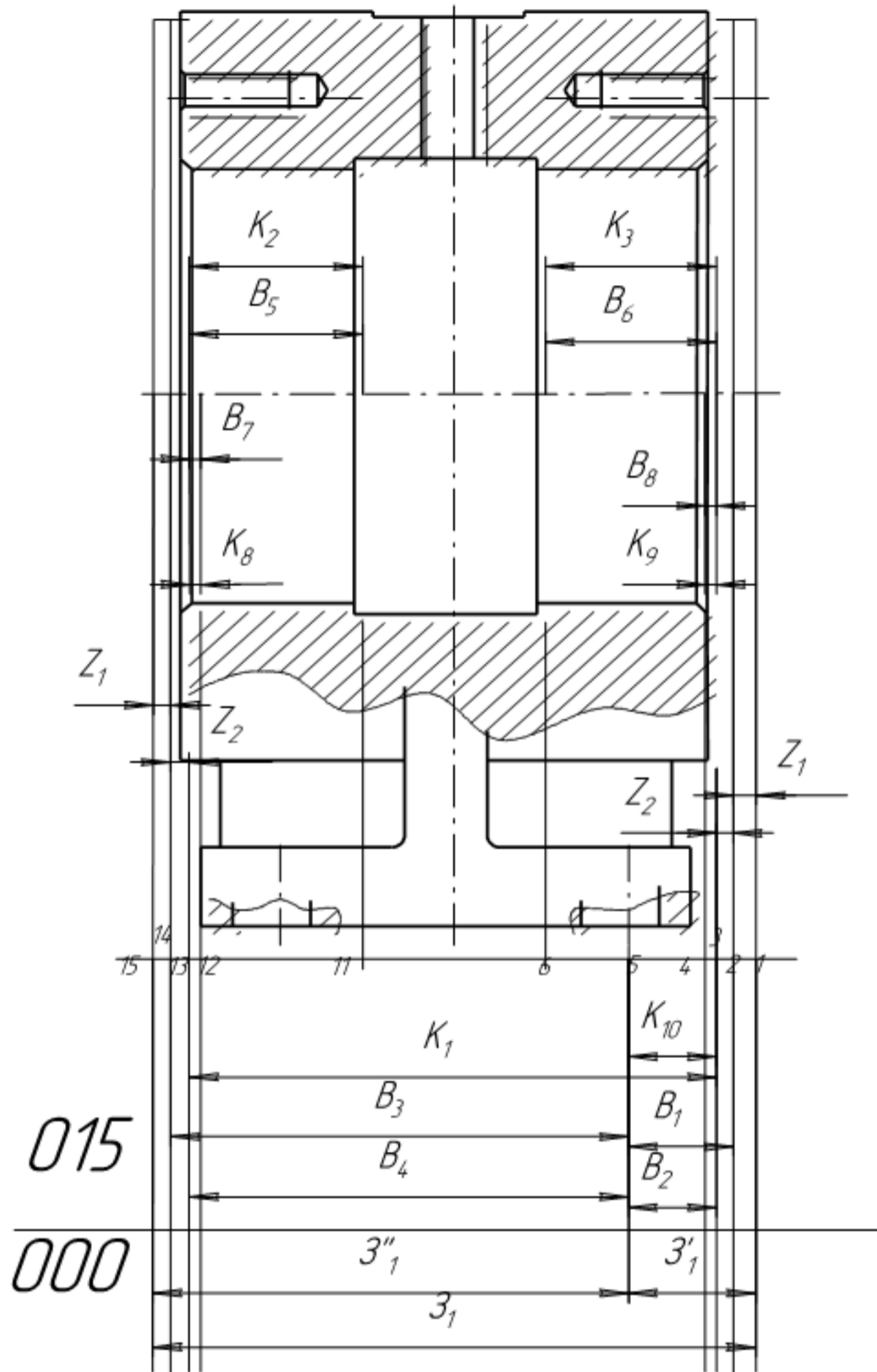


Рисунок 2.4 – Розмірна схема технологічного процесу

## 2.8.4 Похідний, вихідний граф-дерева, суміщений граф

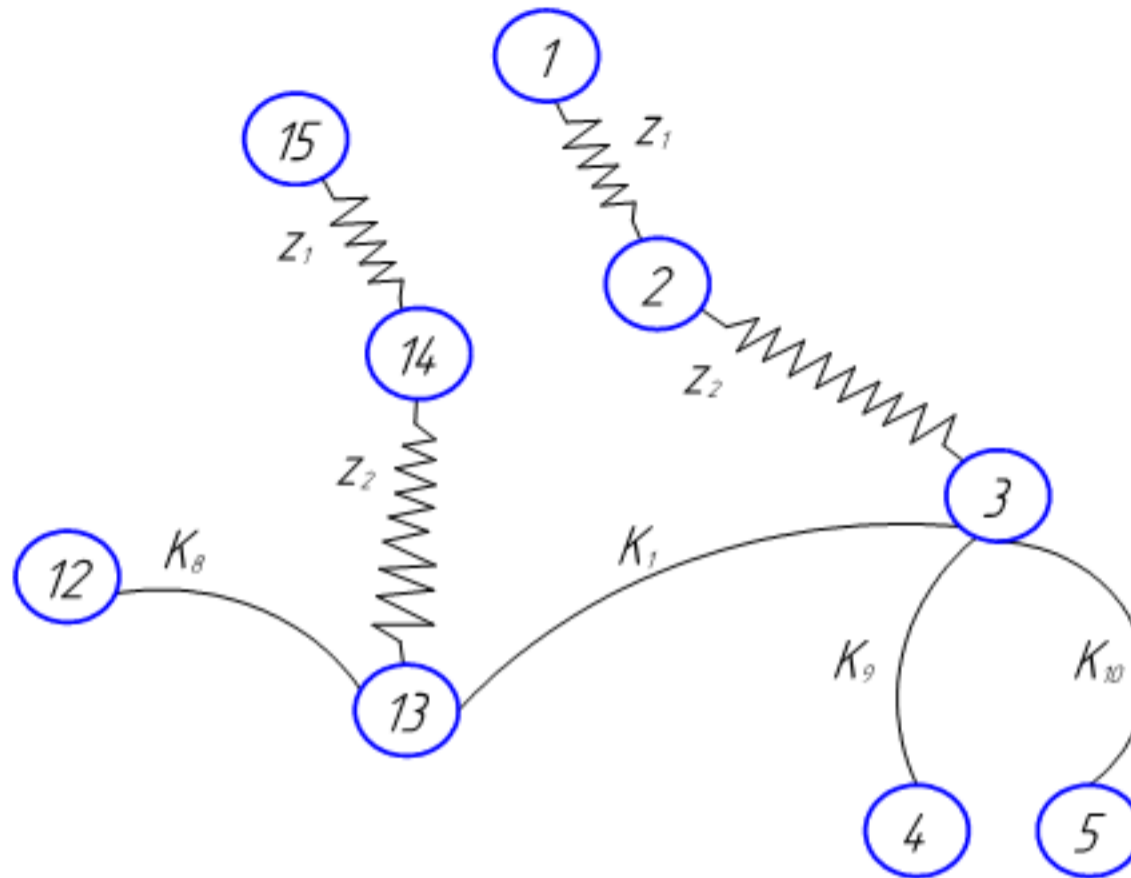


Рисунок 2.5 – Вихідний граф-дерево

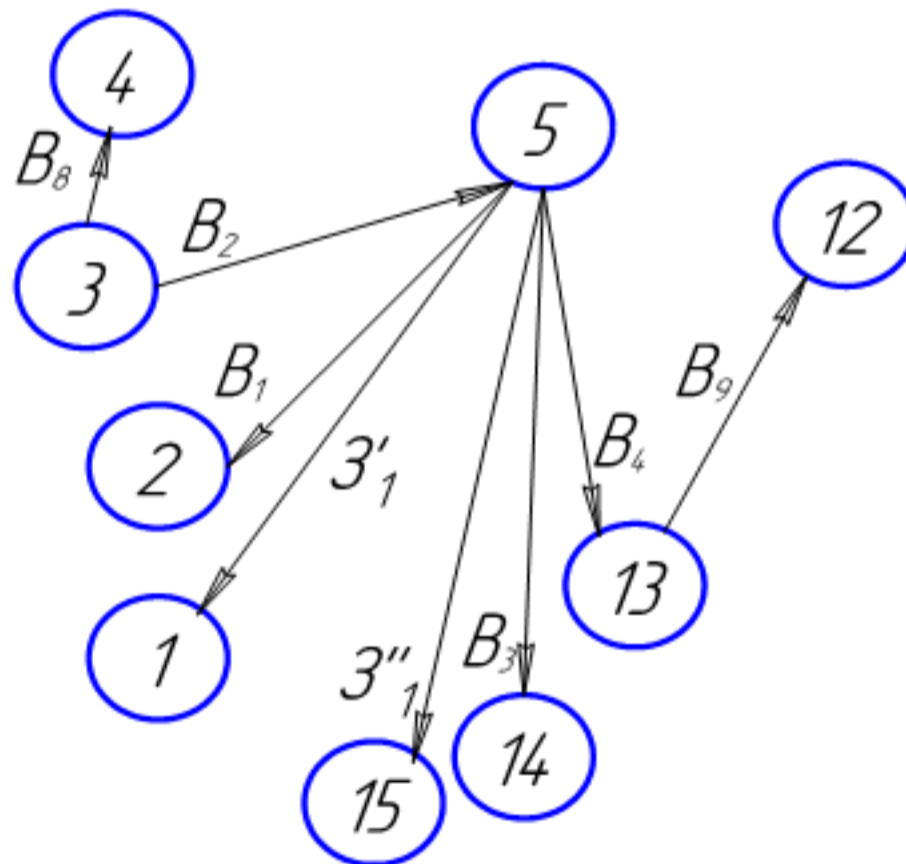


Рисунок 2.6 – Похідний граф-дерево



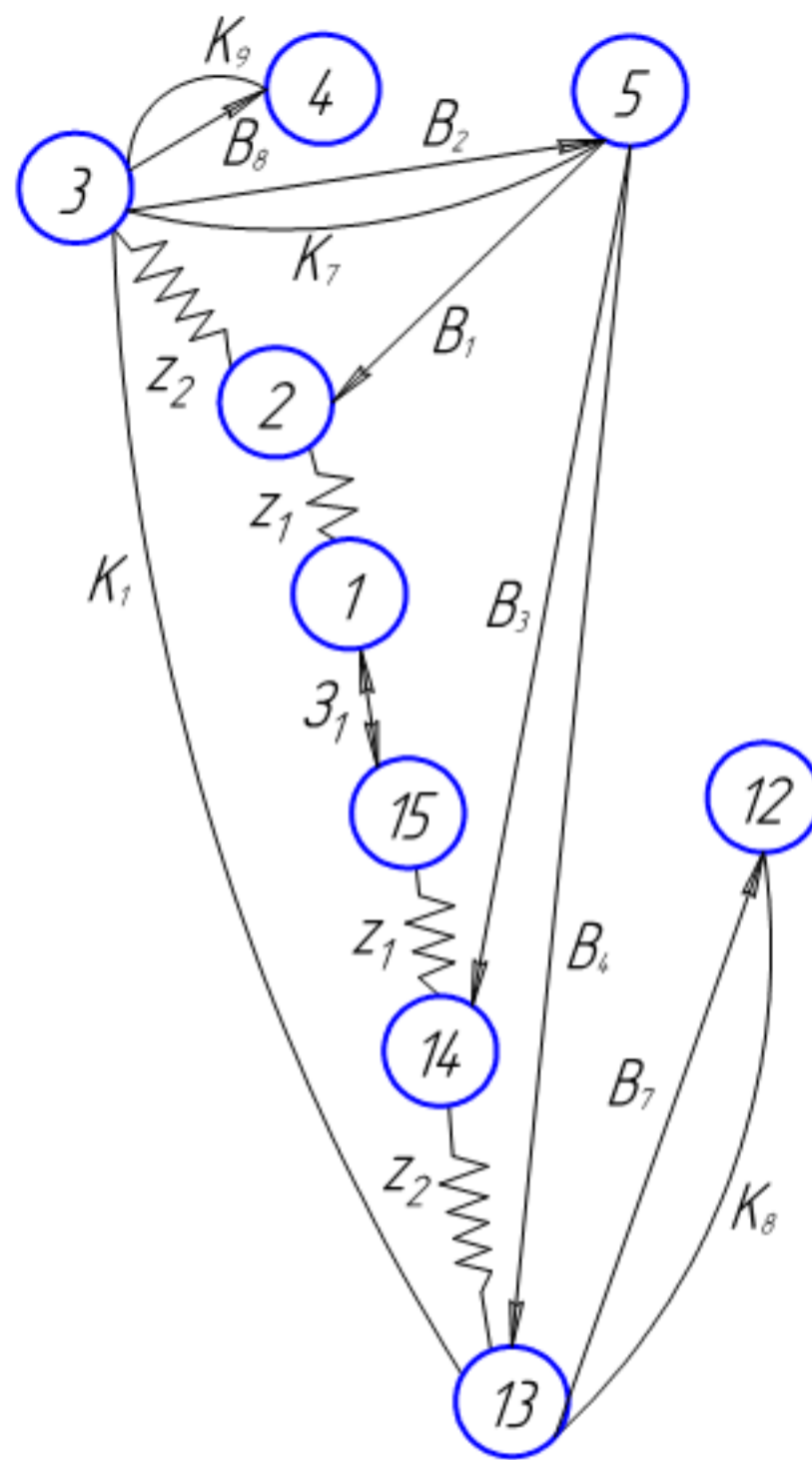


Рисунок 2.7 – Суміщений граф

2.8.5 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

Визначасмо елементи мінімального припуску.

- Якість поверхні вилівка:

$$R_{z\text{зар}} + T = 1000 \text{ мкм};$$

$R_{z1} = 50 \text{ мкм}$  – після чорнового розточування;

$R_{z2} = 20 \text{ мкм}$  – після чистового розточування.

Так як матеріал деталі – чавун, то для послідуєчих переходів механічної обробки глибина дефектного шару з розрахунків виключається.

- Просторове відхилення поверхні, що обробляється відносно технологічних баз.

Для нашого випадку, тобто при обробці торців у нерухомій деталі сумарне значення просторових відхилень визначається за формулою:

$$\rho = \rho_{\text{жол}} \text{ [мкм]}, \quad (2.23)$$

де  $\rho_{\text{жол}}$  – відхилення жолоблення.

Користуючись [1, 4] розраховуємо загальне жолоблення заготовки:

$$\rho_{\text{жол}} = (\Delta \cdot L) = 1 \cdot 116 = 116 \text{ (мкм)} \quad (2.24)$$

Розраховуємо загальне жолоблення після чорнового розточування:

$$\rho_{\text{жол}} = (k_{\text{ут}} \cdot \rho) = 0,2 \cdot 116 = 23,2 \text{ (мкм)} \quad (2.25)$$

Розрахуємо сумарну похибку механічної обробки для лінійних розмірів за наближеною формулою:

$$\rho_{K^{\text{т}}} = \varepsilon_{\Sigma} = \frac{1}{K} \cdot \sqrt{\varepsilon_{\text{т}}^2 + \omega_i^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.26)$$

де  $\varepsilon_{\text{т}}$  – похибка базування на розмір;

$\omega_i$  – середньостатистична точність способу обробки;

K – коефіцієнт відносного розсіювання, згідно з [1] приймаємо  $1/K = 1$ .

Розв'язуючи відповідний розмірний ланцюг, обчислимо похибку базування на розміри.

$$\varepsilon_{\delta} = T(C) + T(116) + T(18) + e = 0,43 + 0,87 + 0,048 = 1,35 \text{ (мм)}.$$

Величина  $\omega_i$  для лінійних розмірів складає відповідно 0.6 мм. Отже

$$\varepsilon_x = \sqrt{1,35^2 + 0,6^2} = 1,5 \text{ (мм)}.$$

- Похибка установки:

$$\varepsilon_{\text{уст}} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.27)$$

де  $\varepsilon_6$  – похибка базування;  $\varepsilon_3$  – похибка закріплення.

Похибка базування виникає в даному випадку за рахунок перекосу заготовки у горизонтальній площині, при встановленні її на пальці пристосування. Заготовка перекошується за рахунок зазору ( $S_{\text{max}} = 0.035$  мм.) між найбільшим діаметром установчих отворів і найменшим діаметром пальців.

$$\varepsilon_{\text{уст}} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} = \sqrt{1,35^2 + 0,6^2} = 1,5 \text{ (мм)}.$$

Розрахунок мінімальних значень припусків виконуємо, користуючись основною формулою [1, 4]:

$$Z \min_i = (Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i) \text{ [мкм]}, \quad (2.28)$$

де  $Rz_{i-1}$  – шорсткість поверхні, що отримана на попередньому переході;

$T_{i-1}$  – глибина дефективного шару;

$r_{i-1}$  – просторові відхилення в розташуванні поверхні;

$\varepsilon_{y_{i-1}}$  – похибка установки заготовки.

Мінімальний припуск на чорнове підрізання торця:

$$Z \min_i = (600 + 116 + 1500) = 2216 \text{ (мкм)}.$$

Мінімальний припуск на чистове підрізання торця:

$$Z_{\min_2} = (50 + 50 + 23,2 + 1500) = 1623 \text{ (мкм)}.$$

### 2.8.6 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Таблиця 2.22 – Таблиця розмірних рівнянь

№	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що визначається
1	$B_8 - K_9 = 0$	$K_9 = B_8$	$B_8$
2	$K_8 - B_7 = 0$	$K_8 = B_7$	$B_7$
9	$K_1 - K_{10} - B_4 = 0$	$K_1 - K_{10} = B_4$	$B_4$
10	$B_3 - B_4 - Z_2 = 0$	$B_4 + Z_2 = B_3$	$B_3$
11	$K_{10} - B_2 = 0$	$K_{10} = B_2$	$B_2$
12	$B_1 - B_2 - Z_2 = 0$	$B_2 + Z_2 = B_1$	$B_1$
13	$3'_1 - B_1 - Z_1 = 0$	$B_1 + Z_1 = 3'_1$	$3'_1$
14	$3''_1 - B_3 - Z_1 = 0$	$B_3 + Z_1 = 3''_1$	$3''_1$
15	$3_1 - 3'_1 - 3''_1 = 0$	$3'_1 + 3''_1 = 3_1$	$3_1$
16	$K_2 - B_8 = 0$	$K_2 = B_8$	$B_5$
17	$K_3 - B_7 = 0$	$K_3 = B_7$	$B_6$

2.8.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків

Визначаємо технологічні розміри, розміри вихідної заготовки, максимальні припуски.

$$B_{2\min} = K_{10\min} \Rightarrow B_{2\min} = 17.78 \text{ (мм)}.$$

$$B_{1\min} = B_{2\min} + Z_{2\min}, \Rightarrow B_{1\min} = 17.78 + 1.623 = 19.403 \text{ (мм)}.$$

$$B_{4\min} = K_{1\min} - K_{10\max}, \Rightarrow B_{4\min} = 115.565 + 18.21 = 97.355 \text{ (мм)}.$$

$$B_{3\min} = B_{4\min} + Z_{2\min}, \Rightarrow B_{3\min} = 97.355 + 1.623 = 98.978 \text{ (мм)}.$$

$$3_{1\min} = B_{1\min} + B_{1\min} + 2 Z_{1\min}, \Rightarrow 3_{1\min} = 19.403 + 98.978 + 2.216 + 2.216 = 122.813 \text{ (мм)}.$$

$$B_{2\max} = B_{2\min} + T(B_2) \Rightarrow B_{2\max} = 17.78 + 0.17 = 17.95 \text{ (мм)}.$$

$$B_{1\max} = B_{1\min} + T(B_1) \Rightarrow B_{1\max} = 19.403 + 0.25 = 19.653 \text{ (мм)}.$$

$$B_{4\max} = B_{4\min} + T(B_2) \Rightarrow B_{4\max} = 97.355 + 0.17 = 97.525 \text{ (мм)}.$$

$$B_{3\max} = B_{3\min} + T(B_1) \Rightarrow B_{3\max} = 98.978 + 0.25 = 99.228 \text{ (мм)}.$$

$$Z_{1\max} = Z_{1\min} + \delta_{\text{заг}}, \Rightarrow Z_{1\max} = 122.813 + 3.3 = 126.113 \text{ (мм)}.$$

$$Z_{1\max}^{\text{пр}} = (Z_{1\max} - B_{1\max} - B_{3\max})/2 = (126.113 - 19.653 - 99.228)/2 = 3.616 \text{ (мм)}$$

$$Z_{1\min}^{\text{пр}} = (Z_{1\min} - B_{1\min} - B_{3\min})/2 = (122.813 - 19.403 - 98.978)/2 = 2.216 \text{ (мм)}$$

$$Z_{2\max}^{\text{пр}} = B_{1\max} - B_{2\max} = 19.653 - 17.95 = 1.703 \text{ (мм)}$$

$$Z_{2\min}^{\text{пр}} = B_{1\min} - B_{2\min} = 19.403 - 17.78 = 1.623 \text{ (мм)}$$

Перевірка:

$$Z_{1\max}^{\text{пр}} - Z_{1\min}^{\text{пр}} = 3,616 - 2,216 = 1,4 \text{ (мм)};$$

$$\delta_{\text{заг}} - T(B_1) = 1,65 - 0,25 = 1,4 \text{ (мм)};$$

$$Z_{2\max}^{\text{пр}} - Z_{2\min}^{\text{пр}} = 1,703 - 1,623 = 0,08 \text{ (мм)};$$

$$T(B_1) - T(B_2) = 0,25 - 0,17 = 0,08 \text{ (мм)}.$$

Отже, визначено технологічні розміри при механічній обробці, припуски та розміри заготовки, на їх основі можна розробляти технологічний процес та усю документацію пов'язану із ним.

## 2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

Розрахуємо проміжні припуски та міжопераційні розміри для циліндричної поверхні  $\varnothing 110H7^{(+0,035)}$ .

Визначаємо елементи мінімального припуску.

Якість поверхні вилівка:

$$R_{\text{заг}} + T = 700 \text{ мкм};$$

$R_{z1} = 50 \text{ мкм}$  – після чорнового розточування;

$R_{z2} = 20 \text{ мкм}$  – після чистового розточування;

$R_{z3} = 5 \text{ мкм}$  – після шліфування.

Просторове відхилення поверхні, що обробляється відносно технологічних баз.

Для нашого випадку, тобто при обробці отвору в нерухомій деталі сумарне значення просторових відхилень визначається по формулі [1, 4]:

$$\rho_3 = \sqrt{(\rho_{\text{жол}})^2 + (\rho_{\text{зм}})^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.29)$$

де  $\rho_{\text{жол}}$  – відхилення жолоблення;

$\rho_{\text{зм}}$  – відхилення зміщення;

Відхилення жолоблення розраховується по формулі [1, 4]:

$$\rho_{\text{жол}} = \sqrt{(\rho_{\text{жолD}})^2 + (\rho_{\text{жолL}})^2} \text{ [мкм]},$$

де  $\rho_{\text{жолD}}$  – жолоблення в перерізі по діаметру;

$\rho_{\text{жолL}}$  – жолоблення по довжині отвору;

Розраховуємо загальне жолоблення:

$$\rho_{\text{жол}} = \sqrt{(\Delta \cdot D)^2 + (\Delta \cdot L)^2} = \sqrt{(0.7 \cdot 110)^2 + (0.7 \cdot 116)^2} = 112 \text{ (мкм)}.$$

Так як при обробці чистової бази використовувалась зовнішня поверхня, то слід враховувати зміщення стержня, що формує отвір, відносно зовнішньої поверхні. Тому, враховуючи, те що сумарне зміщення у виливку відносно зовнішньої її поверхні є геометричної сумою у двох взаємно перпендикулярних площинах, відхилення зміщення розраховуємо за формулою:

$$\rho_{\text{зм}} = \sqrt{(\rho_{\text{зм110}})^2 + (\rho_{\text{зм116}})^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.30)$$

де  $\rho_{\text{зм.116}}$  – являє собою сумарну похибку механічної обробки на розмір 116.

$\rho_{зм.110}$  – фактично є величиною зміщення вісі отвору у вертикальному напрямку, що попередньо розрахована для кожного переходу механічної обробки

$$\rho_{зм} = \sqrt{0,2^2 + 0,2^2} = 0,283 \text{ (мм)}.$$

Таким чином, сумарне значення просторового відхилення заготовки складає:

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_{кор.заг.}^2 + \rho_{зм.заг.}^2} = \sqrt{0,112^2 + 0,283^2} = 0,3 \text{ (мм)}.$$

Тоді після переходу чорнового розточування:  $\rho_1 = 0,06 \cdot 5000 = 300$  (мкм).

Після переходу чистового розточування:  $\rho_2 = 0,05 \cdot 300 = 16$  (мкм).

Після переходу тонкого розточування:  $\rho_3 = 0,004 \cdot 16 = 0,6$  (мкм).

Похибка установки:

$$\varepsilon_{уст} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.31)$$

де  $\varepsilon_6$  – похибка базування;  $\varepsilon_3$  – похибка закріплення.

При розточуванні:

$$\varepsilon_{уст1} = \sqrt{0^2 + 200^2} = 200 \text{ (мкм)}.$$

Розрахунок мінімальних значень припусків виконуємо, користуючись основною формулою [1, 4]:

$$2 \cdot Z \min_i = 2 \cdot \left( Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) \text{ [мкм]}, \quad (2.32)$$

де  $Rz_{i-1}$  – шорсткість поверхні, що отримана на попередньому переході;

$T_{i-1}$  – глибина дефективного шару;

$r_{i-1}$  – просторові відхилення в розташуванні поверхні;

$\varepsilon_{i-1}$  – похибка установки заготовки.

Мінімальний припуск на чорнове розточування:

$$2 \cdot Z_{\min 1} = 2 \cdot \left( 700 + \sqrt{300^2 + 200^2} \right) = 2121 \text{ (мкм)}.$$

Мінімальний припуск на чистове розточування:

$$2 \cdot Z_{\min 2} = 2 \cdot \left( 50 + 50 + \sqrt{16^2 + 200^2} \right) = 601 \text{ (мкм)}.$$

Мінімальний припуск на шліфування розточування:

$$2 \cdot Z_{\min 3} = 2 \cdot \left( 20 + 25 + \sqrt{0,6^2 + 110^2} \right) = 310 \text{ (мкм)}.$$

Знаходимо розрахункові розміри  $d_p$ .

Для чистового розточування:  $d_{p1} = d_\phi - 2 \cdot Z_{\min 3} = 110 - 0,31 = 109,69 \text{ (мм)}$ .

Для чорнового розточування:  $d_{p2} = d_{p1} - 2 \cdot Z_{\min 2} = 109,69 - 0,601 = 109,089 \text{ (мм)}$ .

Для заготовки:  $d_{p3} = d_2 - 2 \cdot Z_{\min 1} = 109,089 - 2,121 = 106,968 \text{ (мм)}$ .

Значення допусків для розмірів кожного переходу були розраховані попередньо і складають відповідно:

- для чорнового розточування –  $\delta = 220 \text{ мкм}$ ;

- для чистового розточування –  $\delta = 87 \text{ мкм}$ ;

- для шліфування –  $\delta = 35 \text{ мкм}$ ;

- заготовки –  $\delta_{\text{заг}} = \frac{\delta_z + \delta_m}{2} = \frac{5 + 0,87}{2} = 2,9 \text{ (мм)}$ .

Найменші граничні розміри:

- для шліфування найменший граничний розмір:  $d_{\min 3} = 110 \text{ мм}$ ;

- для шліфування найбільший граничний розмір:



$$d_{\max 3} = d_{\min 3} + \delta_3 = 110 + 0,035 = 110,035 \text{ (мм)};$$

- для чистового розточ-ня найменший граничний розмір:  $d_{\min 2} = 109,7 \text{ мм}$ ;
- для чистового розточування найбільший граничний розмір:

$$d_{\max 2} = d_{\min 2} + \delta_2 = 109,7 + 0,087 = 109,787 \text{ (мм)};$$

- для чорнового розточ-ня найменший граничний розмір:  $d_{\min 1} = 109,1 \text{ мм}$ ;
- для чорнового розточування найбільший граничний розмір:

$$d_{\max 1} = d_{\min 1} + \delta_1 = 109,1 + 0,22 = 109,32 \text{ (мм)};$$

- для заготовки найменший граничний розмір:  $d_{\min \text{ заг}} = 105,6 \text{ мм}$ ;
- для заготовки найбільший граничний розмір:

$$d_{\max \text{ заг}} = d_{\min \text{ заг}} + \delta_{\text{заг}} = 105,6 + 2,9 = 108,5 \text{ (мм)}.$$

Мінімальні граничні значення припусків:

- для тонкого розточування:  $2Z_{\text{прmin}3} = 110,035 - 109,8 = 0,235 \text{ (мм)}$ ;
- для чистового розточування:  $2Z_{\text{прmin}2} = 109,8 - 109,32 = 0,48 \text{ (мм)}$ ;
- для чорнового розточування  $2Z_{\text{прmin}1} = 109,32 - 108,4 = 0,92 \text{ (мм)}$ .

Максимальні граничні значення припусків:

- для шліфування:  $2Z_{\text{прmax}3} = 110 - 109,7 = 0,3 \text{ (мм)}$ ;
- для чистового розточування:  $2Z_{\text{прmax}2} = 109,7 - 109,1 = 0,6 \text{ (мм)}$ ;
- для чорнового розточування:  $2Z_{\text{прmax}1} = 109,1 - 105,6 = 3,5 \text{ (мм)}$ .

Перевірка:

$$2Z_{\text{прmax1}} - 2Z_{\text{прmin1}} = 3,5 - 0,92 = 2,68 \text{ (мм)}; \quad \delta_{\text{зар}} - \delta_1 = 2,9 - 0,22 = 2,68 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\text{прmax2}} - 2Z_{\text{прmin2}} = 0,6 - 0,48 = 0,12 \text{ (мм)}; \quad \delta_1 - \delta_2 = 0,22 - 0,087 = 0,123 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\text{прmax3}} - 2Z_{\text{прmin3}} = 0,3 - 0,235 = 0,055 \text{ (мм)}; \quad \delta_2 - \delta_3 = 0,087 - 0,035 = 0,052 \text{ (мм)}.$$

Результати зроблених розрахунків зведені в таблицю 2.23.

Таблиця 2.23 – Розраховані розміри обробки отвору

Технологічні переходи обробки поверхні $\phi 110H7^{(+0,035)}$	Елементи припуску, мкм			$2Z_{\text{min}}$ , мкм	$d_p$ , мм	$d_{\text{min}}$ , мм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мм	
	Rz+T	$\rho$	$\epsilon$				$d_{\text{min}}$	$d_{\text{max}}$	$2z_{\text{min}}^{\text{пр}}$	$2z_{\text{max}}^{\text{пр}}$
Заготовка	700	300			106,9	2,9	105,6	108,4		
Розточування:										
чорнове	50	16	200	2121	109,1	0,22	109,1	109,32	0,92	3,5
чистове	20	0,6	200	601	109,7	0,087	109,7	109,8	0,48	0,6
тонке	5	0,03	110	310	110	0,035	110	110,035	0,235	0,3
Всього									1,635	4,4

## 2.10 Призначення режимів різання

Вибір режимів різання по всіх решта переходах механічної обробки проводимо табличним способом і результати заносимо до таблиці 2.24 [9-14].

Операція 005

Фрезерування попереднє (площини основи)

Матеріал заготовки СЧ-15, інструмента ВК-8, фреза  $\phi 180$  мм, число зубців  $Z = 16$ . Глибина фрезерування 7 мм, ширина – 115 мм. Подача на зуб фрези  $S_z = 0,14$  мм/зуб [9, 10]. Швидкість фрези, м/хв.

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v \text{ [м/хв.]}, \quad (2.33)$$

$$K_v = K_{M_v} \cdot K_{n_v} \cdot K_{U_v}, \quad (2.34)$$

де  $C_V$  – коефіцієнт, що враховує метод фрезерування, твердість оброблюваного матеріалу;  $D$  – діаметр фрези, мм;  $T$  – період стійкості фрези, хв;  $t$  – глибина різання, мм;  $S_Z$  – подача на зуб фрези, мм/зуб;  $Z$  – число зубців фрези;  $q, m, x, y, u, p$  – показники степеню;  $K_V$  – поправковий коефіцієнт на швидкість різання;  $K_{M_V}$  – поправковий коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки;  $K_{n_V}$  – враховує стан поверхневого шару заготовки;  $K_{U_V}$  – враховує матеріал інструмента, в даному випадку фрези.

$$V = \frac{445 \cdot 180^{0,2}}{120^{0,32} \cdot 7^{0,15} \cdot 0,14^{0,35} \cdot 115^{0,2} \cdot 16^0} \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,83 = 73 \text{ (м/хв.)}$$

Число обертів шпинделя

$$n = \frac{1000V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 73}{3,14 \cdot 180} = 146 \text{ (об/хв.)}$$

Головна складова сили різання при фрезеруванні, що впливає на потужність різання

$$P_Z = \frac{10C_p \cdot t^x \cdot S_x^y \cdot B_z^n \cdot Z}{D^q \cdot n^u} \cdot K_{M_p} \text{ [Н]}. \quad (2.35)$$

Значення  $C_p, x, y, n, q, u; K_{M_p}$  [9, 10].

$$P_Z = \frac{0 \cdot 54,5 \cdot 3^{0,9} \cdot 0,14^{0,75} \cdot 115^1 \cdot 16}{180^1 \cdot 1} = 2806 \text{ (Н)}.$$

Крутний момент на шпинделі

$$M_{\text{сп}} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{2806 \cdot 180}{2 \cdot 100} = 2525 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Потужність різання

$$N_c = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{2806 \cdot 73}{1020 \cdot 60} = 3,2 \text{ (кВт)}.$$

Верстат 6550Ф3 має потужність 7,5 кВт, тому процес обробки можливий з потужністю 3,2 кВт.

Таблиця 2.24 – Розрахунок режимів різання

Зміст переходу	Елементи режимів різання				
	t, мм	S, мм /об	T, хв.	V, м/хв.	n, об/хв.
1	2	3	4	5	6
<b>005 Фрезерна з ЧПК</b>					
Фрезерувати поверхню 16.	7	0.14	240	73	146
Центрувати 4 отвори 17.		0.41	60	29	580
Свердлити 4 отвори 17.		0.41	60	29	580
Зенкерувати 4 отвори 17.	1	1.1	30	16.4	290
<b>010 Свердлильна з ЧПК</b>					
Цекувати 4 поверхні 18.		1.1	30	16.4	290
<b>015 Багатоцільова з ЧПК</b>					
Підрізати торець 1 попередньо.		0.1	60	76	220
Підрізати торець 1 остаточно		0.1	60	76	220
Центрувати 3 отвори 13	4.6	0.41	60	29	580
Свердлити 3 отвори 13		0.41	60	26	800
Зенкерувати фаски в 3 отворах 13.		1.1	30	16.4	290
Нарізати різь в 3-х отворах 13.		1.5	90	6	180
Підрізати торець 7 попередньо		0.1	60	76	220
Підрізати торець 7 остаточно		0.1	60	76	220
Центрувати 3 отвори 12.		0.41	60	29	580

Продовження таблиці 2.24

1	2	3	4	5	6
Свердлити 3 отвори 12.		0.41	60	26	800
Зняти фаски в трьох отворах 12.		1.1	30	16.4	290
Нарізати різь в 3-х отворах 12.		1.5	90	6	180
Точити поверхні 6, 2 попередньо	1.75	0.8	60	107	320
Точити поверхні 6, 2 остаточно	0.3	0.1	60	107	320
Обробити фаску 15.	1.6	0.1	60	107	320
Обробити фаску 14.	1.6	0.1	60	107	320
Розточити поверхню 4.	2.5	0.8	60	107	320
020 Фрезерна з ЧПК					
Фрезерувати поверхню 9	5	0.14	240	72	600
Центрувати отвір 10.		0.41	60	29	580
Свердлити отвір 10.		0.41	60	26	800
Нарізати різь в отворі 10.		1.5	90	6	180
Шліфувати пов. 2	0,02	50 мм/хв		$V_k=30$ м/с	$V_3=40$ м/хв

2.11 Застосування математичного планування експерименту для мінімізації шорсткості при розточуванні центрального отвору деталі «Корпус підшипника 04.15.008В»

Мета дослідження – встановити залежність шорсткості при розточуванні центрального отвору заготовки деталі «Корпус підшипника 04.15.008В» від режимів різання. В якості впливових факторів розглянуто наступні режими різання: швидкість  $v$ , подача  $S$  і глибина  $t$  різання.

Залежність  $Ra = f(v, S, t)$  було вирішено апроксимувати поліномом другого степеня [15-18]. Експеримент проведений по програмі повного трифакторного експерименту. Прийняті в дослідженні рівні та інтервали варіювання факторів вказані в таблиці 2.25.



За результатами дослідів, обчислено  $G$ -критерій Кохрена для перевірки однорідності дисперсії паралельних дослідів

$$G_p = S_{j_{\max}}^2 / \sum_{j=1}^N S_j^2 = 0,0988/0,3051 = 0,3238. \quad (2.36)$$

Рівень значущості всіх розглянутих критеріїв  $\alpha = 0,05$ . Оскільки  $G_{\text{табл}} = 0,5157 > G_p = 0,3238$  [15], то гіпотеза про однорідність паралельних дослідів приймається.

Дисперсія відтворюваності

$$S^2(y) = \sum_{j=1}^N S_j^2 / N = 0,3051/8 = 0,0381. \quad (2.37)$$

Помилка експерименту

$$S(y) = \sqrt{S^2(y)} = \sqrt{0,0381} = 0,1953. \quad (2.38)$$

За результатами дослідів, виконаних відповідно до прийнятого плану експерименту, можна оцінити коефіцієнти рівняння регресії виду

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3. \quad (2.39)$$

Коефіцієнти рівняння (3.4) матимуть такі значення:

$$b_0 = (3,160+0,697+6,287+2,520+3,240+1,263+12,513+6,370)/8 = 4,506;$$

$$b_1 = (-3,160+0,697-6,287+2,520-3,240+1,263-12,513+6,370)/8 = -1,794;$$

$$b_2 = (-3,160-0,697+6,287+2,520-3,240-1,263+12,513+6,370)/8 = 2,416;$$

$$b_3 = (-3,160-0,697-6,287-2,520+3,240+1,263+12,513+6,370)/8 = 1,34;$$

$$b_{12} = (3,160-0,697-6,287+2,520+3,240-1,263-12,513+6,370)/8 = -0,684;$$

$$b_{13} = (3,160-0,697+6,287-2,520-3,240+1,263-12,513+6,370)/8 = -0,236;$$

$$b_{23} = (3,160+0,697-6,287-2,520-3,240-1,263+12,513+6,370)/8 = 1,179;$$

$$b_{123} = (-3,160+0,697+6,287-2,520+3,240-1,263-12,513+6,370)/8 = -0,358.$$

Помилки всіх коефіцієнтів рівні між собою (для повного факторного експерименту)

$$S(b_i) = S(y) / \sqrt{N \cdot r} = 0,1953 / \sqrt{8 \cdot 3} = 0,0399. \quad (2.40)$$

Визначено довірчий інтервал для коефіцієнтів

$$\Delta b_i = \pm t_{кр} \cdot S(b_i) = 2,12 \cdot 0,0399 = \pm 0,0845, \quad (2.41)$$

де  $t_{кр} = 2,12$  – критичне значення критерію Стюдента, прийнято згідно [15]

(при  $\alpha = 0,05$ ).



Значення всіх коефіцієнтів більше довірчого інтервалу, тобто статистично незначущих коефіцієнтів немає.

Тоді рівняння (2.39) набуде вигляду

$$\begin{aligned} \hat{y} &= b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 = \\ &= 4,506 - 1,794x_1 + 2,416x_2 + 1,34x_3 - 0,684x_1x_2 - 0,236x_1x_3 + \\ &\quad + 1,179x_2x_3 - 0,358x_1x_2x_3. \end{aligned} \quad (2.42)$$

Перевіримо адекватність отриманого рівняння (2.42) по критерію Фішера.

Результати дослідів  $\bar{y}$  і розрахунків  $\hat{y}$  зведено до табл. 2.28.

Таблиця 2.28 – Результати для визначення дисперсії адекватності

№ досліду	$\bar{y}$	$\hat{y}$	$\bar{y} - \hat{y}$	$(\bar{y} - \hat{y})^2$
1	3,160	3,161	-0,001	0,000001
2	0,697	0,697	0	0
3	6,287	6,287	0	0
4	2,520	2,519	0,001	0,000001
5	3,240	3,239	0,001	0,000001
6	1,263	1,263	0	0
7	12,513	12,513	0	0
8	6,370	6,369	0,001	0,000001
$\Sigma$				0,000004

Тоді дисперсія адекватності  $S_{ag}^2 = 3 \cdot 0,000004 / (8 - 7) = 0,000012$ .

Розрахунковий критерій Фішера  $F_p = 0,000012 / 0,0381^2 = 0,0083$ .

Оскільки  $F_p = 0,0083 \leq F_{табл} = 4,49$  [15], то модель є адекватною.

Обчислені за рівнянням (2.42) значення  $y$  відрізняються від експериментальних на величини, що не перевищують помилку досліджень.

Кодовані значення факторів пов'язані з натуральними наступними залежностями:

$$x_1 = \frac{\nu - \nu_0}{\varepsilon_1} = \frac{\nu - 224,51}{120,89}; \quad x_2 = \frac{S - S_0}{\varepsilon_2} = \frac{S - 0,45}{0,35};$$

$$x_3 = \frac{t - t_0}{\varepsilon_3} = \frac{t - 1,55}{1,45},$$

де  $\nu_0, S_0, t_0$  – основні рівні факторів в натуральних вираженнях;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  – інтервали варіювання факторів.

Переходячи від кодованих  $x_1, x_2, x_3$  значень факторів до натуральних  $\nu, S, t$ , отримаємо залежність шорсткості поверхні при розточуванні від режимів різання, мкм:

$$Ra = 4,506 - 1,794 \frac{\nu - 224,51}{120,89} + 2,416 \frac{S - 0,45}{0,35} + 1,34 \frac{t - 1,55}{1,45} -$$

$$- 0,684 \left( \frac{\nu - 224,51}{120,89} \right) \left( \frac{S - 0,45}{0,35} \right) - 0,236 \left( \frac{\nu - 224,51}{120,89} \right) \left( \frac{t - 1,55}{1,45} \right) +$$

$$+ 1,179 \left( \frac{S - 0,45}{0,35} \right) \left( \frac{t - 1,55}{1,45} \right) - 0,358 \left( \frac{\nu - 224,51}{120,89} \right) \left( \frac{S - 0,45}{0,35} \right) \left( \frac{t - 1,55}{1,45} \right). \quad (2.43)$$

Рівняння (2.43) адекватне, тому його можна використовувати як інтерполяційну формулу для обчислення величини  $Ra$ , а також для визначення раціональних значень режимів різання.

Отримані за рівнянням (2.43), апроксимовані лінійні залежності шорсткості  $Ra$  від режимів різання показано на рис. 3.1-3.3 [18].

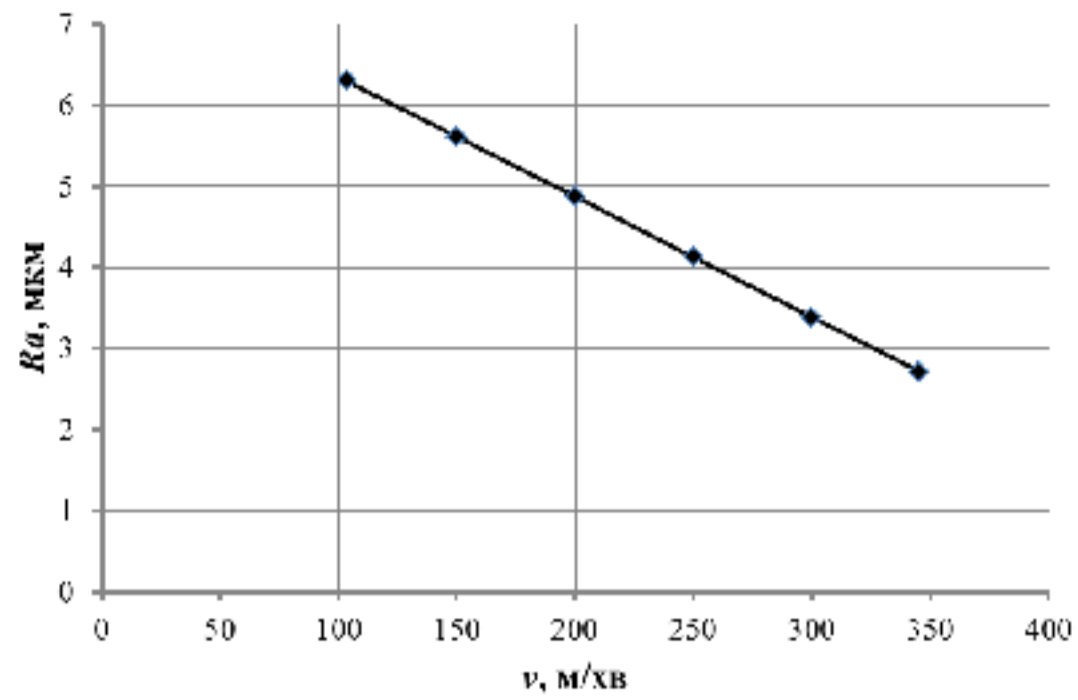


Рисунок 2.8 – Залежність шорсткості  $Ra$  від швидкості різання  $v$

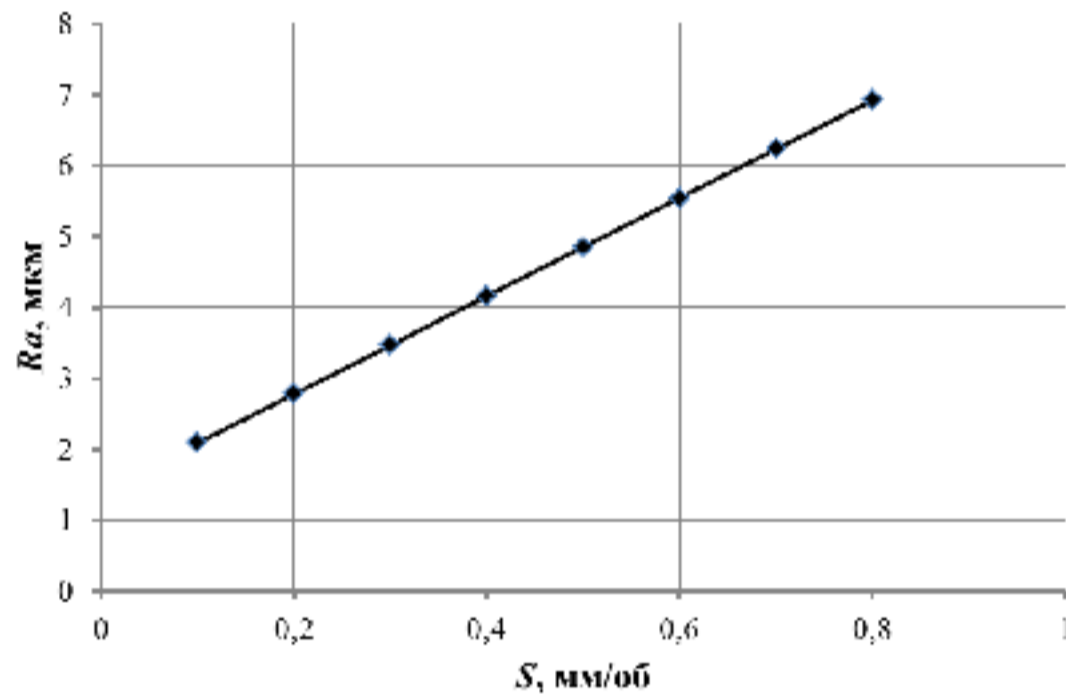


Рисунок 2.9 – Залежність шорсткості  $Ra$  від подачі  $S$

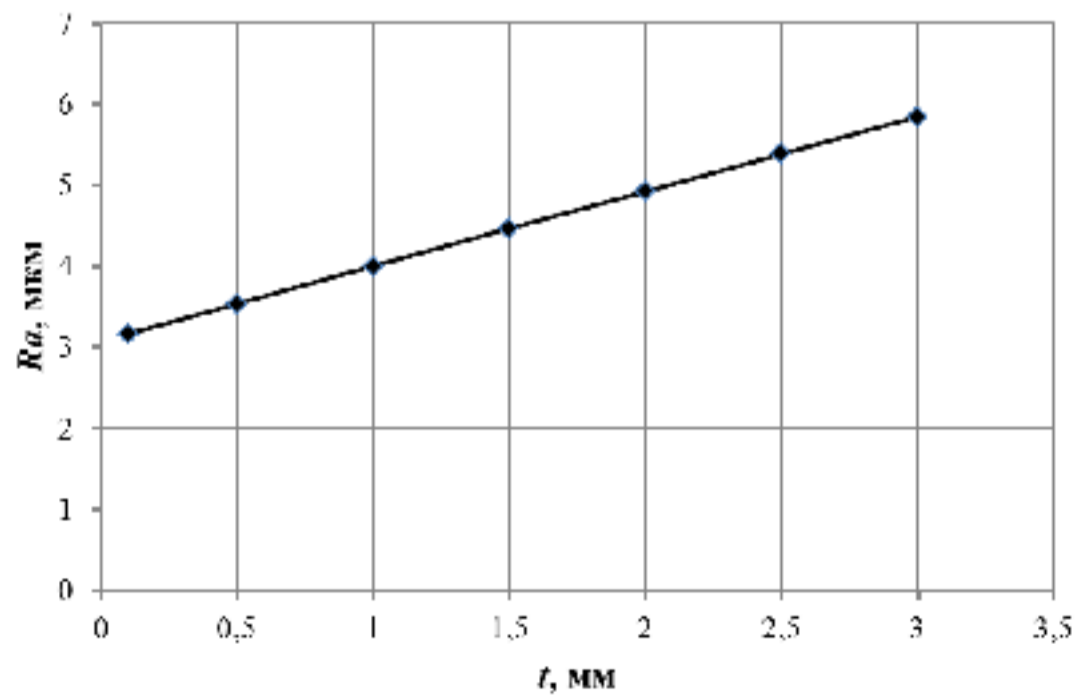


Рисунок 2.10 – Залежність шорсткості  $Ra$  від глибини різання  $t$

## 2.12 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання

Знайдемо оптимальні режими різання за допомогою спеціальної комп'ютерної програми оптимізації режимів різання для попереднього розточування  $\varnothing 10H7$  [4].

Результат оптимізації показаний на рисунку 2.11.

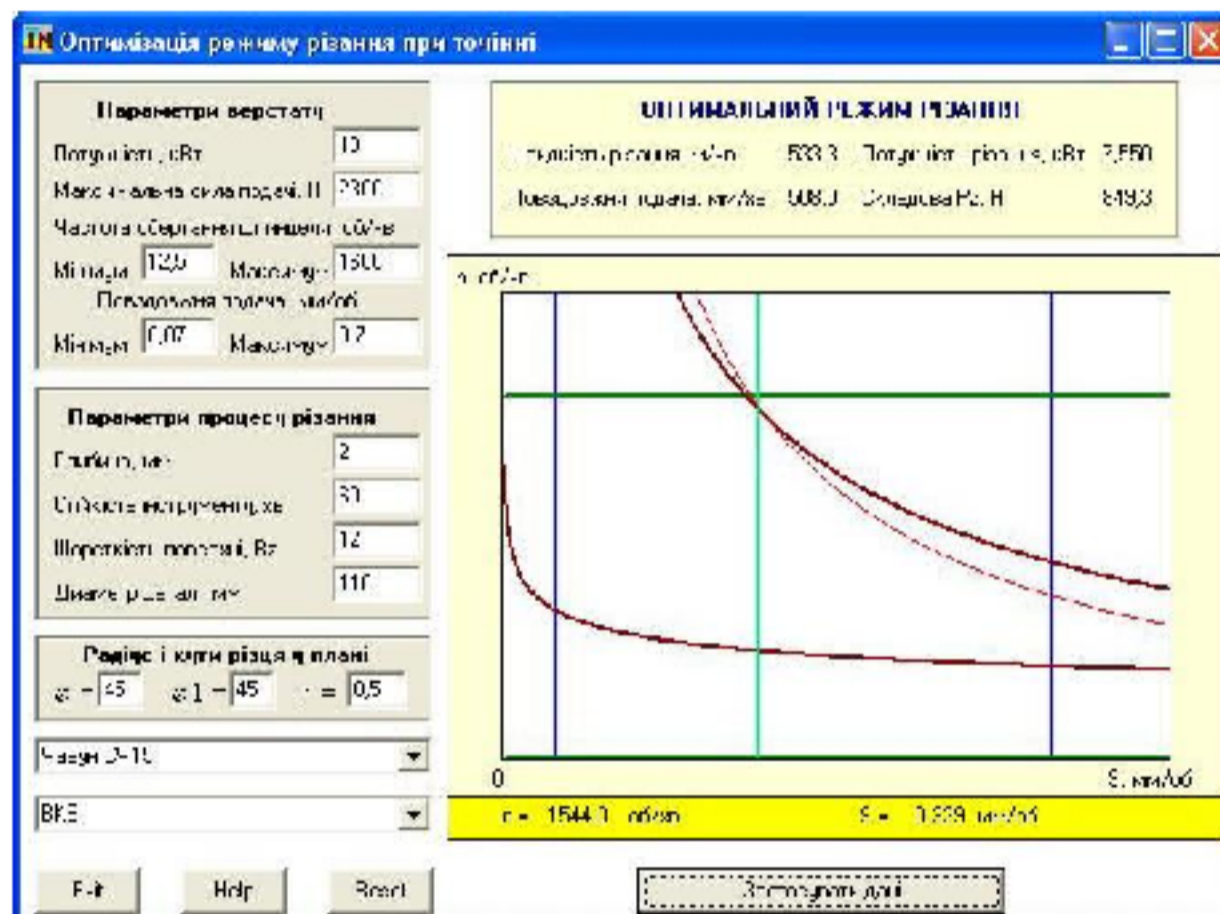


Рисунок 2.11 – Оптимізація режимів різання при точінні (розточуванні)

Результати отримані за допомогою ЕОМ мають незначну розбіжність з прийнятими режимами різання. Таким чином максимальна продуктивність обробки на верстаті з ЧПК буде забезпечена.

## 2.13 Визначення технічних норм часу

Розраховуємо основний час для операції 005.

$T_0 = \sum_{i=1}^n T_{0i}$ , де  $T_{0i}$  – основний час для обробки деталі на  $i$ -тому переході.

Таблиця 2.29 – Розрахунок основного часу на операції 005

$To_1 = 6 \cdot l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 116 \cdot 10^{-3} = 1.44$	Фрезерувати поверхню 16
$To_2 = 4 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 4 \cdot 0.52 \cdot 17 \cdot 1.9 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0.035$	Центрувати 4 отвори 17
$To_3 = 4 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 4 \cdot 0.52 \cdot 17 \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0.138$	Свердлити 4 отвори 17
$To_4 = 4 \cdot [0.43 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 4 \cdot 0.43 \cdot 17 \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0.01$	Зенкерувати 4 отвори 17
$To = 2.34$ хв.	

Розраховуємо основний час для операції 010.

$To = \sum_{i=1}^n To_i$ , де  $To_i$  – основний час для обробки деталі на  $i$ -тому переході.

Таблиця 2.30 – Розрахунок основного часу на операції 010

$To_1 = 4 \cdot [0.21 \cdot d \cdot l] \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0.21 \cdot 4 \cdot 34 \cdot 10^{-3} = 0.65$	Цекувати 4 поверхні 18
$To = 0.65$ хв.	

Розраховуємо основний час для операції 015.

$To = \sum_{i=1}^n To_i$ , де  $To_i$  – основний час для обробки деталі на  $i$ -тому переході.

Таблиця 2.31 – Розрахунок основного часу на операції 015

$To_1 = 2 \cdot 5 \cdot l \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 5 \cdot 170 \cdot 10^{-3} = 1.7$	Підрізати торець 1 дворазово
$To_2 = 3 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.52 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.083$	Центрувати 3 отвори 13
$To_3 = 3 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.52 \cdot 10 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0.42$	Свердлити 3 отвори 13
$To_4 = 3 \cdot [0.21 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.21 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0.008$	Зенкерувати фаски в 3 отворах 13
$To_5 = 3 \cdot [0.4 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.4 \cdot 10 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0.3$	Нарізати різь в 3-х отворах 13
$To_6 = 2 \cdot 5 \cdot l \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 5 \cdot 170 \cdot 10^{-3} = 1.7$	Підрізати торець 7 двократно
$To_7 = 3 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.52 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.083$	Центрувати 3 отвори 12
$To_8 = 3 \cdot [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.52 \cdot 10 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0.42$	Свердлити 3 отвори 12
$To_9 = 3 \cdot [0.21 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.21 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0.008$	Зняти фаски в трьох отворах 12
$To_{10} = 3 \cdot [0.4 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 3 \cdot 0.4 \cdot 10 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0.3$	Нарізати різь в 3-х отворах 12
$To_{11} = 2 \cdot 0.25 \cdot l \cdot d \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 0.25 \cdot 110 \cdot 116 \cdot 10^{-3} = 6.38$	Точити поверхні 6, 2 двократно
$To_{12} = 0.2 \cdot l \cdot d \cdot 10^{-3} = 0.2 \cdot 110 \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} = 0.025$	Обробити фаску 15
$To_{13} = 0.2 \cdot l \cdot d \cdot 10^{-3} = 0.2 \cdot 110 \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} = 0.025$	Обробити фаску 14
$To_{14} = 5 \cdot l \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 345.6 \cdot 10^{-3} = 1.73$	Розточити поверхню 4
$To = 15.2$ хв.	

Розраховуємо основний час для операції 020.

Таблиця 2.32 – Розрахунок основного часу на операції 020

$T_{o_1} = 6 \cdot l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 35 \cdot 10^{-3} = 0.8$	Фрезерувати поверхню 9
$T_{o_2} = [0.86 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 0.86 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.2$	Центрувати отвір 10
$T_{o_3} = [0.52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 0.52 \cdot 10 \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 0.43$	Свердлити отвір 10
$T_{o_4} = [0.4 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}] = 0.52 \cdot 10 \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 1.2$	Нарізати різь в отворі 10
$T_o = 2.53 \text{ хв.}$	

Приклад нормування операції 010.

Вихідні дані.

- Операція виконується на вертикально-свердильному верстаті.
- Виробництво дрібносерійне –  $N = 2000$  шт/рік.

Розраховуємо штучно-калькуляційний час.

Витрати основного часу складають відповідно:  $T_o = 0,65$  хв.

Визначаємо склад підготовчо-заключного часу:

- час, витрачений на отримання інструменту і пристосувань і здачу їх після роботи – 12 хв.;
- встановлення пристосувань на 2-х палетах – 14 хв.

Таким чином,

$$T_{п-з} = 12+14 = 26 \text{ (хв.)}$$

Визначимо допоміжний час

$$T_v = (T_{y.c.} + T_{з.о} + T_{кер.}) \cdot 1,85 \text{ [хв.]};$$

$$T_{y.c.} = 0,141 \text{ хв.}$$

$$T_{з.о.} = 0,22 \text{ хв.}$$

$$T_{кер.} = 0,08 \text{ хв.}$$

Тоді

$$T_v = (0,141+0,22+0,08) \cdot 1,85 = 0,815 \text{ (хв.)}$$

Визначимо оперативний час:

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_v = 0,65 + 0,815 = 1,47 \text{ (хв.)}$$

Час на обслуговування робочого місця і особисті потреби складає:

$$T_{\text{обсл}} = 8,391 \cdot 5 / 100 = 0,42 \text{ (хв.)}$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт.-к.}} = T_o + T_v + T_{\text{обсл}} + T_{\text{п-з}} / n = 0,65 + 0,815 + 0,109 + 26 / 24 = 2,28 \text{ (хв.)}$$

Розрахунок штучно-калькуляційного часу для інших операцій проводимо аналогічно. Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.33.

Таблиця 2.33 – Нормування операцій

№	Найменування операції	T <sub>o</sub>	T <sub>п-з</sub>	T <sub>v</sub>			T <sub>оп</sub>	T <sub>обсл</sub> + T <sub>відп</sub>	T <sub>шт-к</sub>
				T <sub>ус</sub>	T <sub>зак</sub>	T <sub>кер</sub>			
005	Фрезерна з ЧПК	2,34	29,0	0,08	0,06	0,08	2,74	0,274	4,234
010	Свердлильна з ЧПК	0,65	26,0	0,08	0,06	0,08	1,09	0,109	2,28
015	Багатоцільова з ЧПК	15,2	62,0	0,14	0,22	0,08	16,01	1,6	20,2
020	Фрезерна з ЧПК	2,53	29,0	0,08	0,06	0,08	2,72	0,272	4,2

### **3 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ФРЕЗЕРНОЇ ОПЕРАЦІЇ**

#### **3.1 Аналіз початкових даних**

Мета роботи – спроектувати верстатний пристрій на обробку паза шириною 35 мм та виконання отвору M10×1-7H.

Дані поверхні є конструкторськими базами для закріплення прес-масльонки у корпусі.

Тип виробництва – дрібносерійний. Тому згідно рекомендацій для затискання заготовки можна використовувати ручний привод. Але в нашому випадку доцільніше використовувати механізований привод. А саме пневмо- або гідропривод. Вибір механізованого приводу обумовлений тим, що технологічний процес обробки деталі проектується для автоматизованого виробництва.

В прийнятому варіанті механічної обробки виконання поверхонь 35 мм та M10×1-7H здійснюється на 020 операції (верстат – вертикально-фрезерний з ЧПК 6550Ф3).

Пристосування призначене для закріплення заготовки на столі вибраного верстата з ціллю обробки поверхонь 35 мм та M10×1-7H. Розмірами, які зв'язують ці дві поверхні з базовими поверхнями і впливають на точність обробки є висота корпусу, і його розміри між кріпильними отворами.

#### **3.2 Розробка та вибір схем базування та установки заготовки**

Прийнята схема базування заготовки на операції 020 показана на рис. 3.1.



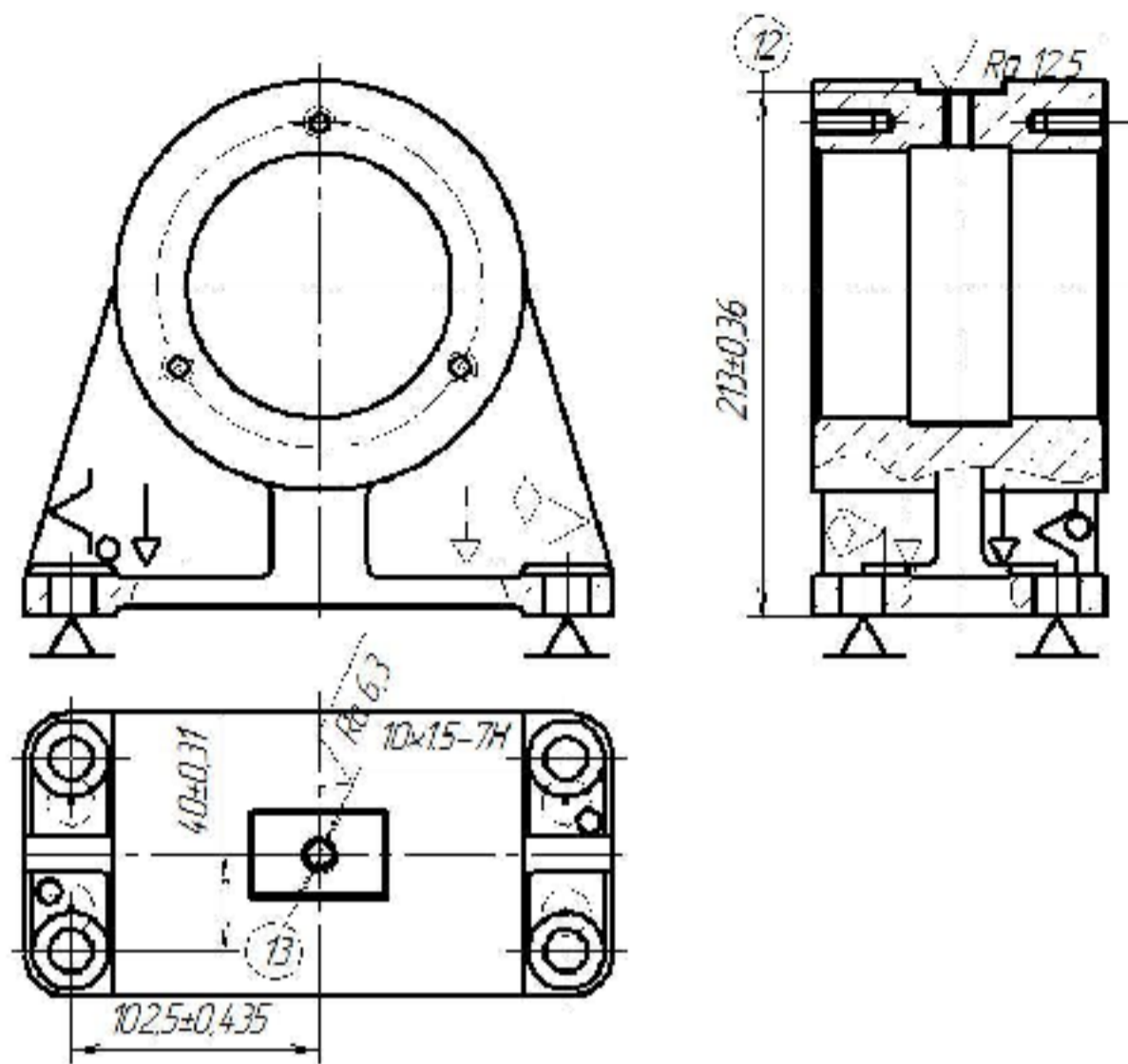


Рисунок 3.1 – Ескіз та схема базування заготовки

### 3.3 Розрахунок зусилля закріплення

Визначення сил різання. На даній операції здійснюється фрезерування потая під масльонку, центрування отвору, свердління отвору, нарізання різі в отворі.

Розрахуємо найбільші сили різання, які виникають при свердлінні і фрезеруванні.

Сили різання при свердлінні:

$$M_{KP} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p = 10 \cdot 0,021 \cdot 10^2 \cdot 0,41^{0,8} \cdot 1 = 10,3 (H) \quad (3.1)$$

Осьова сила при свердлінні:

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p = 10 \cdot 42,7 \cdot 10^1 \cdot 0,41^{0,8} \cdot 1 = 2092 (H) \quad (3.2)$$

Сила різання при фрезеруванні:

$$P_x = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} = \frac{10 \cdot 30 \cdot 35^{0.86} \cdot 0.2^{0.72} \cdot 5^1 \cdot 6}{35^{0.83} \cdot 600^0} \cdot 1 = 3144 (H) \quad (3.3)$$

Крутний момент при фрезеруванні:

$$M_z = \frac{P_z \cdot D}{2000} = \frac{3144 \cdot 35}{2000} = 55.02 (H \cdot m) \quad (3.4)$$

Осьова сила при фрезеруванні:

$$P_x = 0,55 \cdot 3144 = 1730 (H).$$

З вищенаведених розрахунків видно, що при фрезеруванні, діють значно більші зусилля, ніж при свердлінні. Але при свердлінні діє більша осьова сила.

При свердлінні осьова сила притискає заготовку до стола, в той час як при фрезеруванні осьова сила намагається відірвати заготовку від столу.

Тому силу закріплення, притискаючу заготовку до столу краще розраховувати по зусиллям, діючим при фрезеруванні.

Розрахуємо інші параметри.

Сила, діюча в напрямку подачі:

$$P_h = 0.35 \cdot P_z = 0.35 \cdot 3144 = 1100 (H).$$

Сила діюча перпендикулярно до напрямку подачі:

$$P_v = 0.9 \cdot P_z = 0.9 \cdot 3144 = 2830 (H).$$

Складаємо сили різання по осі Y:

$$P_y = 0.35 \cdot P_z = 0.35 \cdot 3144 = 2830 \text{ (H)}.$$

Силова схема закріплення показана на рис. 3.2.

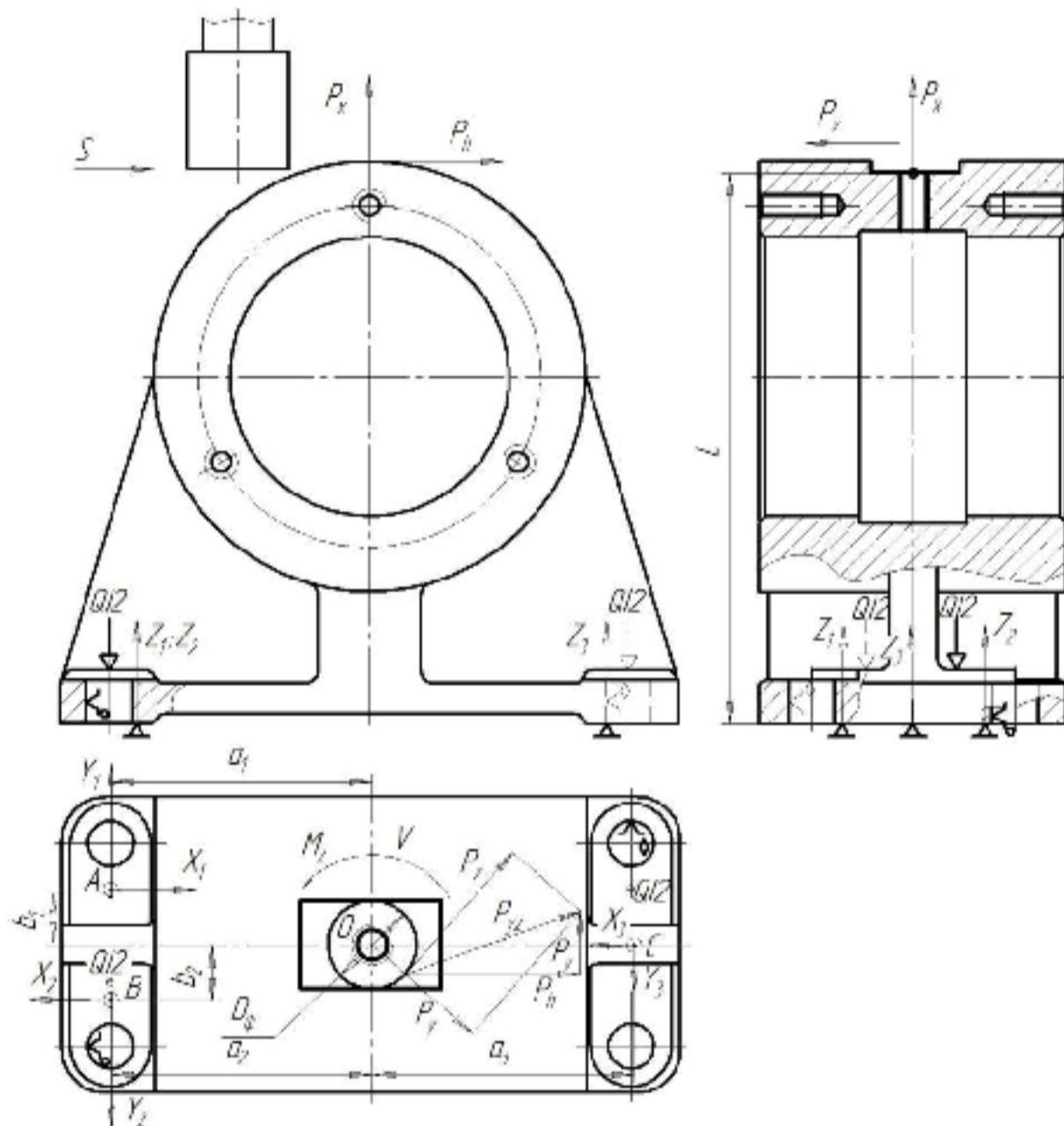


Рисунок 3.2 – Силова схема

Складаємо рівняння статичної рівноваги для заготовки.

$$\Sigma X=0$$

$$X_1 - X_2 - X_3 + P_h = 0 \quad (3.5)$$

$$\Sigma Y=0$$

$$Y_1 - Y_2 - Y_3 + P_v = 0 \quad (3.6)$$

$$\Sigma M_0 = 0$$

$$M_Z + X_3 b_3 - Y_3 a_3 - Y_1 a_1 - X_1 b_1 + Y_2 a_2 - X_2 b_2 = 0 \quad (3.7)$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$P_V a_1 + P_h b_1 - X_2 (b_1 + b_2) - X_3 b_1 - Y_3 (a_2 + a_3) = 0 \quad (3.8)$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$P_V a_1 - P_h b_1 - X_1 (b_1 + b_2) + X_3 b_2 - Y_3 (a_2 + a_3) = 0 \quad (3.9)$$

$$\Sigma M_C = 0$$

$$-Y_1 (a_2 + a_3) - X_1 b_1 - X_2 b_2 + Y_2 (a_2 + a_3) - P_V a_3 = 0 \quad (3.10)$$

Приймаємо, що проекція точки прикладання сили закріплення Q і проекція базової точки I на площину XY співпадають.

Тоді,

$$\begin{aligned} b_3 &= 0; & b_1 &= b_2 = 15 \text{ мм}; \\ a_1 &= a_2 = a_3 = 102,5 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Розв'язавши вищенаведену систему рівнянь в MathCAD, і взявши до уваги вищенаведені припущення, отримуємо такий результат:

$$\begin{aligned} X_1 &= 1000 \text{ Н}; & X_2 &= 1100 \text{ Н}; & X_3 &= 1000 \text{ Н}; \\ Y_1 &= 1000 \text{ Н}; & Y_2 &= 2568 \text{ Н}; & Y_3 &= 1261 \text{ Н}. \end{aligned}$$

Так як реакції  $X_1$ ;  $X_2$ ;  $X_3$ ;  $Y_1$ ;  $Y_2$ ;  $Y_3$  є складовими сил тертя, що діють в точках дотику опор з заготовкою, то виходячи з цього, знайдемо реакції опор по осі Z:

$$Z_1 = \frac{1}{f} \cdot \sqrt{X_1^2 + Y_1^2} = \frac{1}{0.16} \cdot \sqrt{1000^2 + 1000^2} = 8838.8 \text{ Н} \quad (3.11)$$

$$Z_2 = \frac{1}{f} \cdot \sqrt{X_2^2 + Y_2^2} = \frac{1}{0.16} \cdot \sqrt{1100^2 + 2568^2} = 17460.5 \text{ Н} \quad (3.12)$$

$$Z_3 = \frac{1}{f} \cdot \sqrt{X_3^2 + Y_3^2} = \frac{1}{0.16} \cdot \sqrt{1100^2 + 1261^2} = 10058.7 \text{ Н} \quad (3.13)$$

Складемо рівняння рівноваги по осі Z:

$$\Sigma Z = 0$$

$$Q - P_x - Z_1 - Z_2 - Z_3 = 0 \quad (3.14)$$

Звідси,

$$Q = P_x + Z_1 + Z_2 + Z_3 = 1730 + 8838,8 + 17460,5 + 10058,7 = 38088 \text{ (Н)}.$$

### 3.4 Аналіз похибки установки заготовки в пристосуванні

Похибка базування.

Розмірні ланцюги для площини ХУ зображені на рис. 3.3:

$C$  – розмір настройки;

$A_{\Sigma}$  – замикаюча ланка (розмір, що отримується);

$B_{\Sigma}$  – замикаюча ланка (розмір, що отримується);

$\Delta$  – мінімальний радіальний зазор між отвором та пальцем;

$\delta_1$  – допуск діаметру пальця;

$\delta_2$  – допуск діаметру отвору.

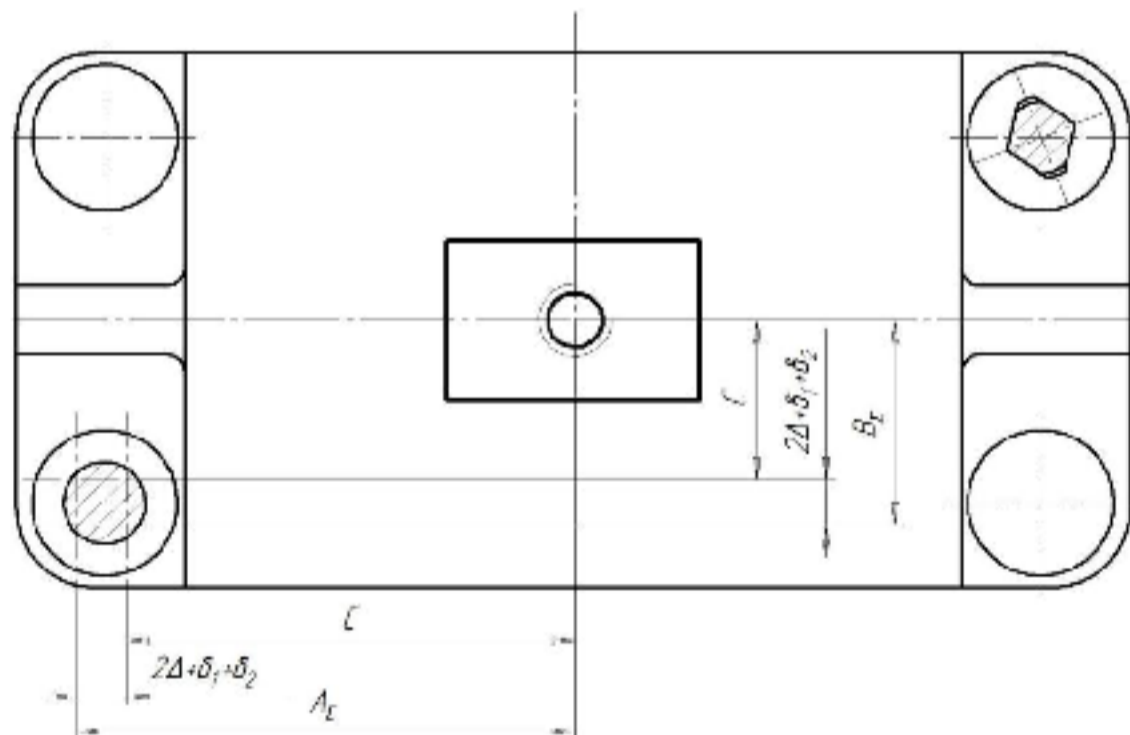


Рисунок 3.3 – Схема базування на пальці з розмірними ланцюгами.

Розрахунок похибки базування на розмір  $A_{\Sigma}$  :

$$A_{\Sigma} - C - 2\Delta - \delta_1 - \delta_2 = 0; \quad (3.15)$$

$$\varepsilon_6(A_{\Sigma}) = 2\Delta + \delta_1 + \delta_2 + \delta(c) = 0,006 + 0,011 + 0,18 = 0,197 \text{ (мм)};$$

$$T(A_{\Sigma}) = 0,87 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_6(A_{\Sigma}) < T(A_{\Sigma});$$

$$\frac{\varepsilon_6(A_{\Sigma})}{T(A_{\Sigma})} \cdot 100\% = \frac{0,197}{0,87} \cdot 100\% = 22\%.$$

Розрахунок похибки, базування на розмір  $B_{\Sigma}$ :

$$B_{\Sigma} - C - 2\Delta - \delta_1 - \delta_2 = 0; \quad (3.16)$$

$$\varepsilon_6(B_{\Sigma}) = 2\Delta + \delta_1 + \delta_2 + \delta(c) = 0,006 + 0,011 + 0,18 = 0,197 \text{ (мм)};$$

$$T(B_{\Sigma}) = 0,87 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_6(B_{\Sigma}) < T(B_{\Sigma});$$

$$\frac{\varepsilon_6(B_{\Sigma})}{T(B_{\Sigma})} \cdot 100\% = \frac{0,197}{0,62} \cdot 100\% = 32\%.$$

Похибка базування в даному випадку досить помірна, і ця схема базування конструктивно найбільш доцільна.

Знайдемо похибку базування на розмір 80.

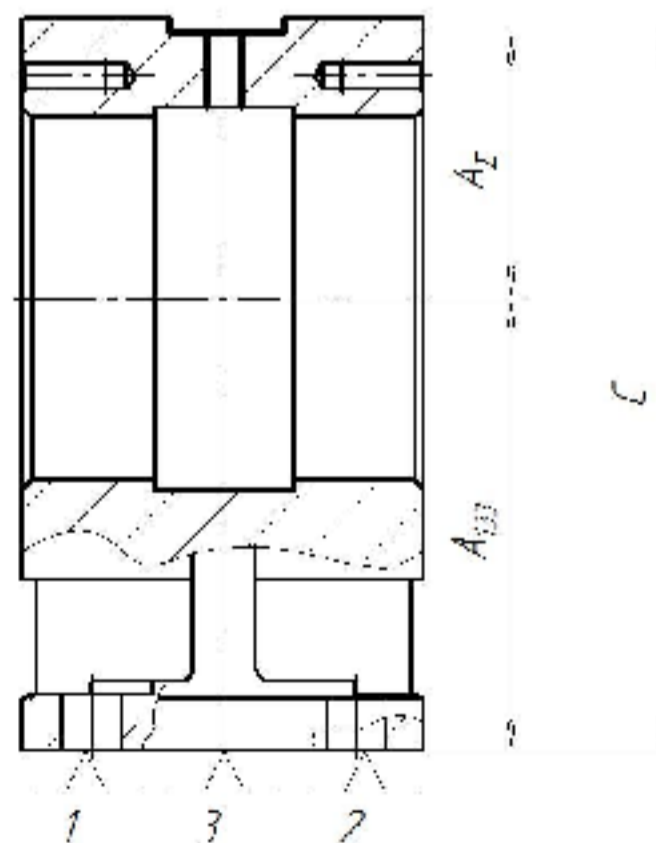


Рисунок 3.4 – Розмірний ланцюг на розмір 80

$$\varepsilon_6(A_\Sigma) = T(A_{133}) + \delta(c) = 0,16 + 0 = 0,16 \text{ (мм)}; \quad (3.17)$$

$$T(A_\Sigma) = 0,74 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_6(A_\Sigma) < T(A_\Sigma);$$

$$\frac{\varepsilon_6(A_\Sigma)}{T(A_\Sigma)} \cdot 100\% = \frac{0,16}{0,74} \cdot 100\% = 22\%.$$

Похибка базування не перевищує граничну.

Знайдемо похибку закріплення виходячи з таких даних.

1) Шорсткість поверхонь заготовки  $Ra=12,5$  мкм, що еквівалентно  $Rz=50$  мкм.

2) Твердість поверхонь  $HB=190$ .

Виберемо за довідником відповідні коефіцієнти:

1) коефіцієнт шорсткості  $K_{RZ} = 0,016$ ;

2) коефіцієнт твердості  $K_{HB} = -0,0045$ ;

3)  $C_1 = 0,776 + 0,053 \cdot F = 0,776 + 0,053 \cdot 52,5 = 3,559$ ;

4)  $n = 0,6$ ;  $m = 0,6$ ;

5) площа поверхонь контакту:  $F = 2 \cdot L \cdot B = 2 \cdot 80 \cdot 20 = 5250$  (мм).

Розрахуємо похибку закріплення [19]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_3 = & [(K_{RZ} \cdot Rz + K_{HB} \cdot HB) + C_1] \cdot \left(\frac{Q}{9.8}\right)^n \cdot \frac{1}{F^m} = [(0.016 \cdot 50 - 0.0045 \cdot 190) + 3.559] \times \\ & \times \left(\frac{38088}{9.8}\right)^{0.6} \cdot \frac{1}{52.5^{0.6}} = 48 \text{ (мкм)} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Знайдемо похибку пристосування.

Похибка встановлення пристосування на верстаті:  $\varepsilon_{yc} = 0,01 \dots 0,005$  мм.

Приймаємо  $\varepsilon_{yc} = 0,01$  мм.

Похибка виготовлення пристосування:  $\varepsilon_B = 0,03$  мм.

Знайдемо похибку зносу опор [19].

Визначимо зносостійкість опор:

$$C = m - m_1 \cdot \Pi_1 - m_2 \cdot \Pi_2 = 6832 - 4287 \cdot 1 - 29375 \cdot 0,0145 = 2119; \quad (3.19)$$

$$\Pi_2 = \frac{Q}{F \cdot HV} = \frac{38088}{5250 \cdot 500} = 0,0145; \quad (3.20)$$

де  $F$  – номінальна площа дотику пристосування з базою заготовки, мм.

Твердість поверхонь опор  $HV = 470 \dots 615$ , прийняли  $HV = 500$ .

Для розрахунку фактичної зносостійкості знайдемо загальний поправочний коефіцієнт:

$$K = K_t \cdot K_L \cdot K_y = 0,482 \cdot 1,25 \cdot 1,12 = 0,675, \quad (3.21)$$

де  $K_t = 0,79 \cdot t = 0,79 \cdot 0,61 = 0,482$  – коефіцієнт, який враховує час нерухомого контакту з опорами;

$K_L = 1,25$  – коефіцієнт, враховуючий вплив шляху  $L$  ковзання заготовки по опорам;

$K_y = 1,12$  – коефіцієнт, який враховує умови обробки.

Тоді фактична зносостійкість дорівнює:

$$C_\phi = C \cdot K = 2119 \cdot 0,675 = 1430,3. \quad (3.22)$$

Похибка зносу при програмі випуску  $N = 2000$  шт. дорівнює:

$$\varepsilon_{zn} = \frac{N}{C_\phi} = \frac{2000}{1430,3} = 1,4 \text{ (мкм)} \quad (3.23)$$

Визначаємо похибку пристосування [19]:



$$\varepsilon_{np} = \sqrt{\varepsilon_{yc}^2 + \varepsilon_e^2 + \varepsilon_{zn}^2} = \sqrt{0,01^2 + 0,03^2 + 0,0014^2} = 0,032 \text{ (мм)}. \quad (3.24)$$

Розрахуємо похибку установки на розмір  $B_{\Sigma}$  [19]:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{3H}^2} = \sqrt{0,197^2 + 0,048^2 + 0,032^2} = 0,21 \text{ (мм)} \quad (3.25)$$

Отже, задана точність обробки на відповідний розмір забезпечується. Оскільки похибка установки на даний розмір менша 60% допуску на даний розмір:

$$\varepsilon_y = 0,21 < T(B_{\Sigma}) = 0,62 \quad \frac{\varepsilon_y}{T(B_{\Sigma})} = \frac{0,21}{0,62} = 34\%.$$

На усі інші розміри точність обробки також забезпечується, оскільки похибка базування на них менша ніж на розмір  $B_{\Sigma}$ , інші похибки рівні, а допуски на ці розміри більші ніж на розмір  $B_{\Sigma}$ .

Вибір розрахункових параметрів, що визначають точність пристосування.

### 3.5 Силовий розрахунок пристосування

Для даного пристосування обираємо гідропривід, оскільки вертикально-фрезерний верстат з ЧПК моделі 6550Ф3 має свою окрему гідронасосну станцію. До неї можна під'єднати гідропривід пристосування.

Виконаємо гідропривід у вигляді двох гідроциліндрів, розташованих симетрично, або несиметрично, які будуть затискати заготовку при втягуванні штока.

Тобто робочою є штокова камера гідроциліндрів.

Розрахуємо діаметр гідроциліндра [19]:

$$D = \sqrt{\frac{1,27 \cdot Q}{p \cdot \eta_{\text{мех}}} + d^2} = \sqrt{\frac{1,28 \cdot \frac{38088}{2}}{10^7 \cdot 0,9} + 0,032^2} = 0,061 \text{ (мм)}. \quad (3.26)$$

Приймаємо діаметр гідроциліндра рівним  $D = 63$  мм.

По довіднику приймаємо тип гідроциліндра 1-63-32 ОСТ2 Г29-1-77.

### 3.6 Розмірне моделювання та аналіз конструкції пристосування на точність

#### 3.6.1 Вибір розрахункових параметрів, що визначають точність пристосування

Точність даного пристосування визначається паралельністю розташування опорних пластин, розташуванням пластин на одному рівні (площинністю), співвісністю розташування отворів для пальців, точністю розташування отворів під пальці в корпусі пристосування, паралельністю кріпильної поверхні пристосування до робочої.

Паралельність розташування опорних пластин, та їх розташування на одному рівні забезпечується при обробці на верстаті і залежить від параметрів верстата. Допуск паралельності і площинності призначаємо в межах 0,016-0,025 мм (ІТ 8-9).

Співвісність отворів також забезпечується при обробці. Призначаємо її в межах 0,002-0,005 мм (ІТ 7-8).

Паралельність кріпильної поверхні пристосування до робочої приймаємо 0,025-0,04 мм (ІТ 8-9).

Точність розташування отворів під пальці в корпусі пристосування вибираємо 0,1-0,14 мм (ІТ 9-10). Точність розташування цих отворів бажано забезпечувати по ІТ8. Але на даній операції не обробляються відповідальні головні поверхні. А обробляються поверхні, що вимагають низької точності. Тому отвори в корпусі економічно доцільніше виготовляти по ІТ10.

### 3.6.2 Розрахунок точності виготовлення деталей пристосування з використанням розмірного аналізу

Побудуємо розмірні ланцюги (рис. 3.5) [20].

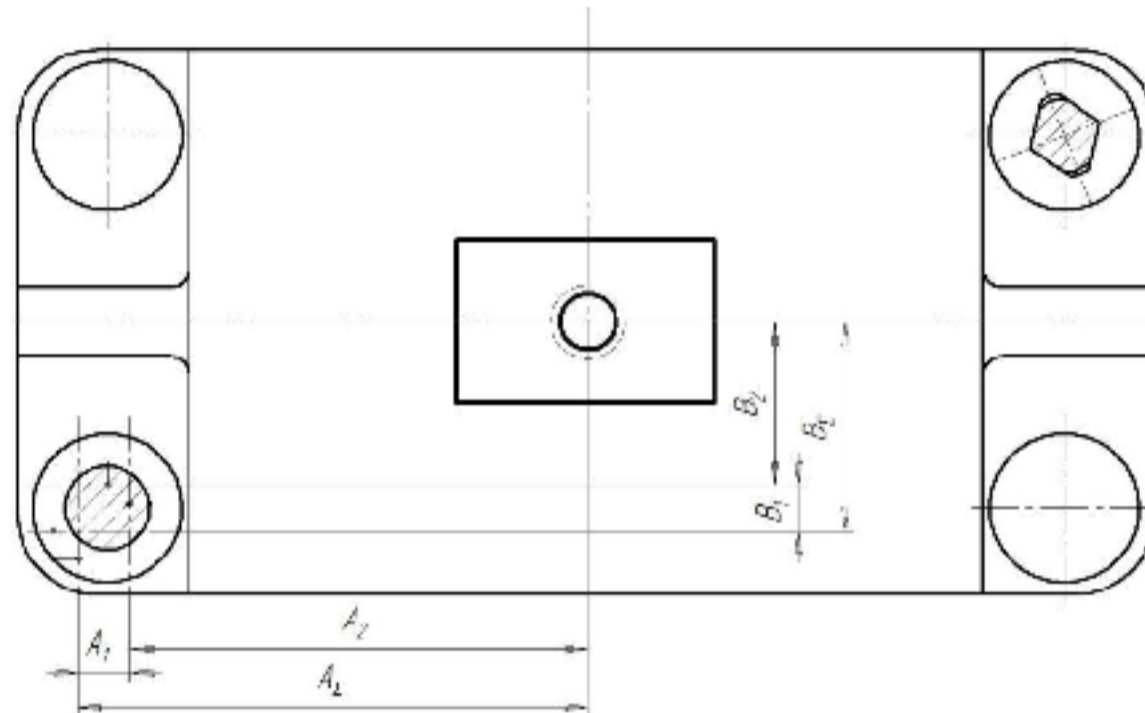


Рисунок 3.5 – Розмірний ланцюг

Виконаємо розрахунки:

$$\begin{aligned}
 T(B_1) &= 18,18 - 17,98 = 0,24 \text{ (мм)}; \\
 T(B_2) &= 0,1 \text{ мм}; \quad T(B_{\Sigma}) = 0,62 \text{ (мм)}; \\
 \delta(B_{\Sigma}) &= T(B_1) + T(B_2) = 0,24 + 0,1 = 0,34 \text{ (мм)}; \\
 \delta(B_{\Sigma}) &< T(B).
 \end{aligned}
 \tag{3.27}$$

Отже, по розміру В розмірний аналіз показав, що задана точність обробки буде забезпечена.

$$\begin{aligned}
 T(A_1) &= 18,18 - 17,98 = 0,24 \text{ (мм)}; \\
 T(A_2) &= 0,14 \text{ мм}; \quad T(A_{\Sigma}) = 0,87 \text{ мм}; \\
 \delta(A_{\Sigma}) &= T(A_1) + T(A_2) = 0,24 + 0,14 = 0,38 \text{ (мм)}; \\
 \delta(A_{\Sigma}) &< T(A_{\Sigma}).
 \end{aligned}
 \tag{3.28}$$

Отже, по розміру А задана точність обробки буде забезпечена.  
Побудуємо кутовий розмірний ланцюг (рис. 3.6).

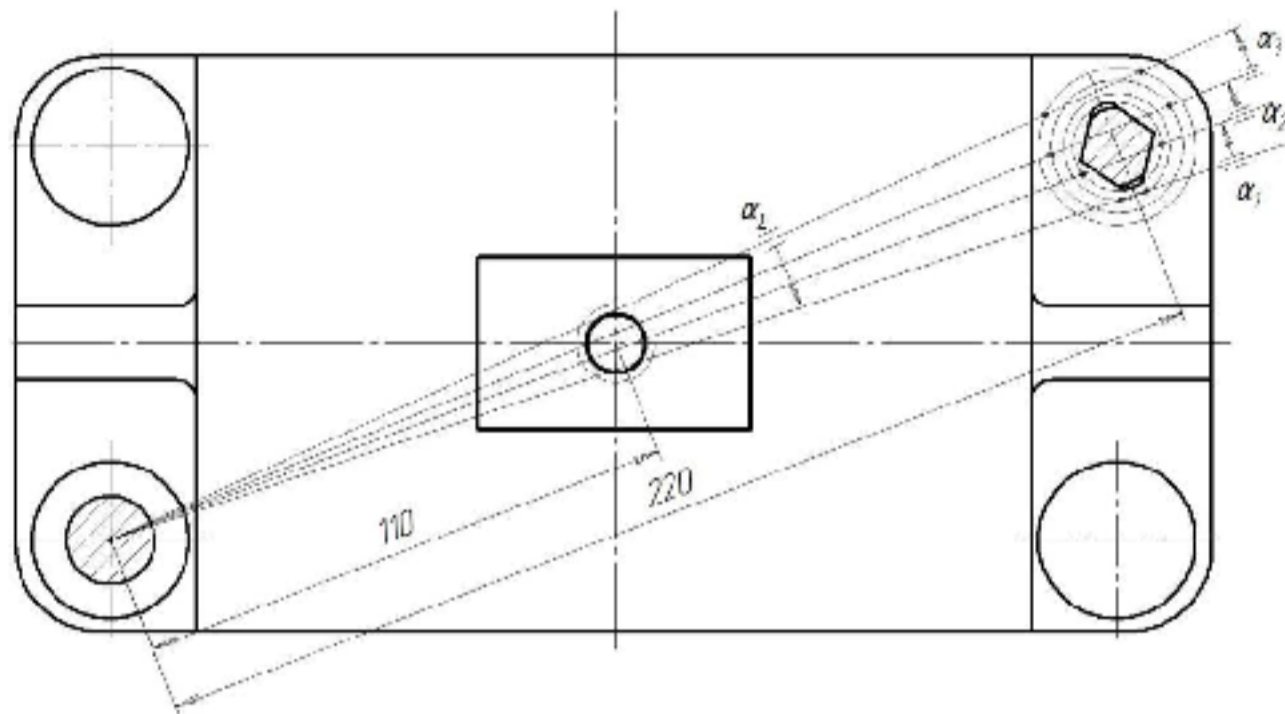


Рисунок 3.6 – Кутовий розмірний ланцюг

$\alpha_1$  – кутовий зазор між отвором заготовки та зрізаним пальцем;

$\alpha_2$  – кутова похибка викликана неспіввісністю циліндричних поверхонь пальця;

$\alpha_3$  – кутовий зазор між пальцем та отвором пристосування (дорівнює нулю, оскільки посадка з натягом);

$\alpha_S$  – зміщення обробляємих поверхонь викликане кутовим поворотом заготовки.

Виконаємо розрахунок:

$$T(\alpha_1) = (18,18 - 17,98) / 220 = 0,0011 \text{ (мм)};$$

$$T(\alpha_2) = 0,01 / 220 = 0,00005 \text{ (мм)}; T(\alpha_3) = 0;$$

$$T(\alpha_S) = 0,87 / 110 = 0,0079 \text{ (мм)};$$

$$\delta(\alpha_S) = T(\alpha_1) + T(\alpha_2) + T(\alpha_3) = 0,0011 + 0,00005 + 0 = 0,00115 \text{ (мм)}; \quad (3.29)$$

$$\delta(\alpha_S) < T(\alpha_S).$$

В кутовому напрямку також буде забезпечуватись задана точність обробки.

## 4 РОЗРАХУНОК ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ПІДШИПНИКА 04.15.008В»

### 4.1 Розрахунок приведеної програми

Для визначення приведеної програми  $N_{\text{прив}}$ . Скористаємося коефіцієнтом приведення [3, 21]:

$$N_{\text{прив}} = N_i \cdot K_{\text{пр}} \quad (4.1)$$

де  $N_i$  – програма випуску  $i$ -ї деталі;  $K_{\text{пр}}$  – коефіцієнт приведення;

$$K_{\text{пр}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \dots K_n, \quad (4.2)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт приведення за масою;  $K_2$  – коефіцієнт приведення за серійністю;  $K_3$  – коефіцієнт приведення за складністю.

Коефіцієнт, що враховує різницю в масі оброблюваних деталей, визначається за формулою:

$$K_1 = \sqrt[3]{\frac{m_i}{m_{\text{пр}}}}, \quad (4.3)$$

де  $m_i$ ,  $m_{\text{пр}}$  – відповідно маси  $i$ -го виробу та розрахункового представника, кг;

Коефіцієнт приведення по серійності  $K_2$  визначається за емпіричною формулою

$$K_2 = \left( \frac{N_{\text{пр}}}{N_i} \right)^\alpha, \quad (4.4)$$

де  $N_{np}$ ,  $N_i$  – програми випуску відповідно розрахункового представника та  $i$ -го виробу;  $\alpha = 0,15$  – показник степеню для об'єктів легкого та середнього машинобудування;

Коефіцієнт приведення по складності  $K_3$  для подібних деталей може бути визначений

$$K_3 = K_1 \cdot K_2 = \left( \frac{K_{Ti}}{K_{Tnp}} \right)^{\alpha_1} \cdot \left( \frac{Ra_i}{Ra_{np}} \right)^{\alpha_2}, \quad (4.5)$$

де  $K_{Ti}$  і  $K_{Tnp}$  – середні значення квалітетів точності відповідно  $i$ -го виробу та розрахункового представника;  $Ra_i$ ,  $Ra_{np}$  – середні значення параметра шорсткості поверхонь  $Ra$  відповідно  $i$ -го виробу та розрахункового представника;  $\alpha_1, \alpha_2$  – показники степеню, що приймається за рекомендаціями [3, 21].

Результати розрахунку приведеної програми приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Відомість розрахунку приведеної програми

Найменування виробу	Річний випуск, шт.	Маса, кг		Коефіцієнти приведення			Загальний	Приведена програма, шт.
		Одного виробу	Річної програми	по масі $K_1$	по серійності $K_2$	по складності $K_3$		
Корпус підшипника 04.15.008В	2000	11,9	23800	1	1	1	1	2000
Корпус підшипника 32-456	5000	6,4	32000	0,66	0,872	0,93	0,54	2700
Корпус підшипника 32-468	1500	8,6	12900	0,81	1,06	0,84	0,72	1080
Корпус підшипника 32-472	1200	7,8	9360	0,752	1,08	0,834	0,683	820
							$N_{np} = 6600$	

Таким чином, попередньо приймаємо величину приведеної програми  $N_{пр} = 6600$  штук. Величина цієї програми може бути збільшена при необхідності підвищення коефіцієнта завантаження обладнання.

#### 4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

Необхідна кількість металорізальних верстатів по операціях технологічного процесу механічної обробки визначається за формулою [3, 21]:

$$C = \frac{T_{шт-к}}{60 \cdot F_g \cdot \eta_3}, \quad (4.6)$$

де  $T_{шт-к}$  – штучно-калькуляційний час виконання операції, хв.;

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

$F_g$  – фонд роботи обладнання [3];

$\eta_3$  – нормативний коефіцієнт завантаження;  $\eta = 0,8$  [3].

Розрахункова та прийнята кількість верстатів на дільниці механічної обробки корпусу підшипника:

Операція 005 – фрезерна, верстат 6550Ф3

$$C_{р005} = \frac{4,234 \cdot 6600}{60 \cdot 4029 \cdot 0,8} = 0,15; \text{ приймаємо 1 верстат 6550Ф3.}$$

Операція 010 – свердлильна, верстат 2Р135Ф2

$$C_{р010} = \frac{2,28 \cdot 6600}{60 \cdot 4029 \cdot 0,8} = 0,08; \text{ приймаємо 1 верстат 2Р135Ф2.}$$

Операція 015 – токарна, верстат 1П420ПФ40

$$C_{p015} = \frac{20,2 \cdot 6600}{60 \cdot 4029 \cdot 0,8} = 0,7; \text{ приймаємо 1 верстат 1П420ПФ40.}$$

Операція 020 – фрезерна, верстат 6550Ф3

$$C_{p020} = \frac{4,2 \cdot 6600}{60 \cdot 4029 \cdot 0,8} = 0,14; \text{ приймаємо 1 верстат 6550Ф3.}$$

Коефіцієнт завантаження верстатів по операціях технологічного процесу:

$$\eta_3 = \frac{C_p}{C_{np}}, \quad (4.7)$$

де  $C_p$  – розрахункова кількість верстатів;

$$\eta_{3_{005}} = \frac{0,15}{1} = 0,15; \quad \eta_{3_{010}} = \frac{0,08}{1} = 0,08;$$

$$\eta_{3_{015}} = \frac{0,7}{1} = 0,7; \quad \eta_{3_{020}} = \frac{0,14}{1} = 0,14;$$

$$\eta_{3_{ср}} = \frac{0,15 + 0,08 + 0,7 + 0,14}{4} = 0,27.$$

Коефіцієнт використання за основним часом:

$$\eta_{осч} = \frac{t_{осч}}{T_{шт-к}}; \quad (4.8)$$

$$\eta_{осч_{005}} = \frac{2,34}{4,234} = 0,55; \quad \eta_{осч_{015}} = \frac{15,2}{20,2} = 0,75;$$

$$\eta_{осч_{010}} = \frac{0,65}{2,28} = 0,3; \quad \eta_{осч_{020}} = \frac{2,53}{4,2} = 0,6;$$



$$\eta_{\text{оснсер}} = \frac{0,55 + 0,3 + 0,75 + 0,6}{4} = 0,55.$$

#### 4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

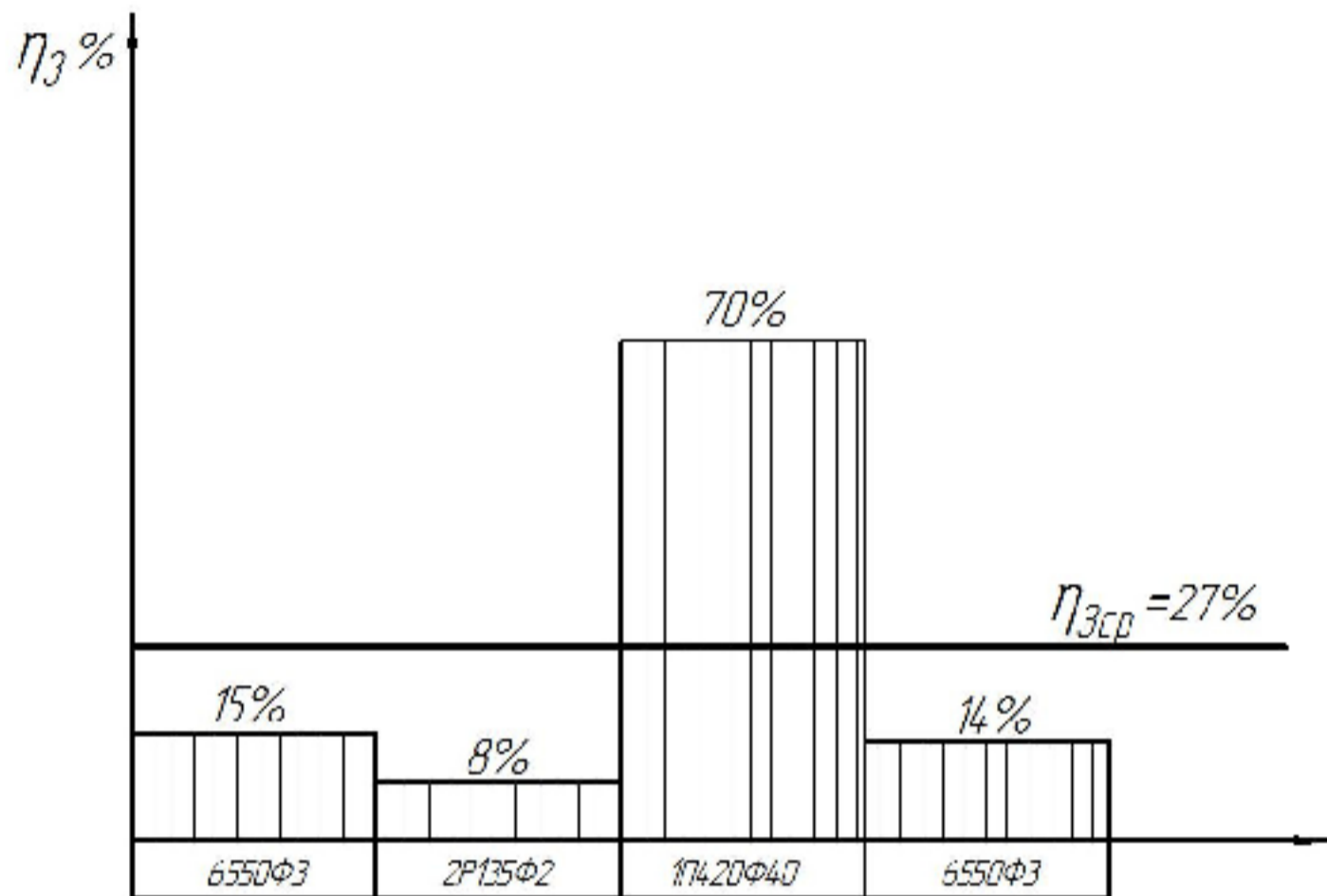


Рисунок 4.1 – Графік завантаження обладнання

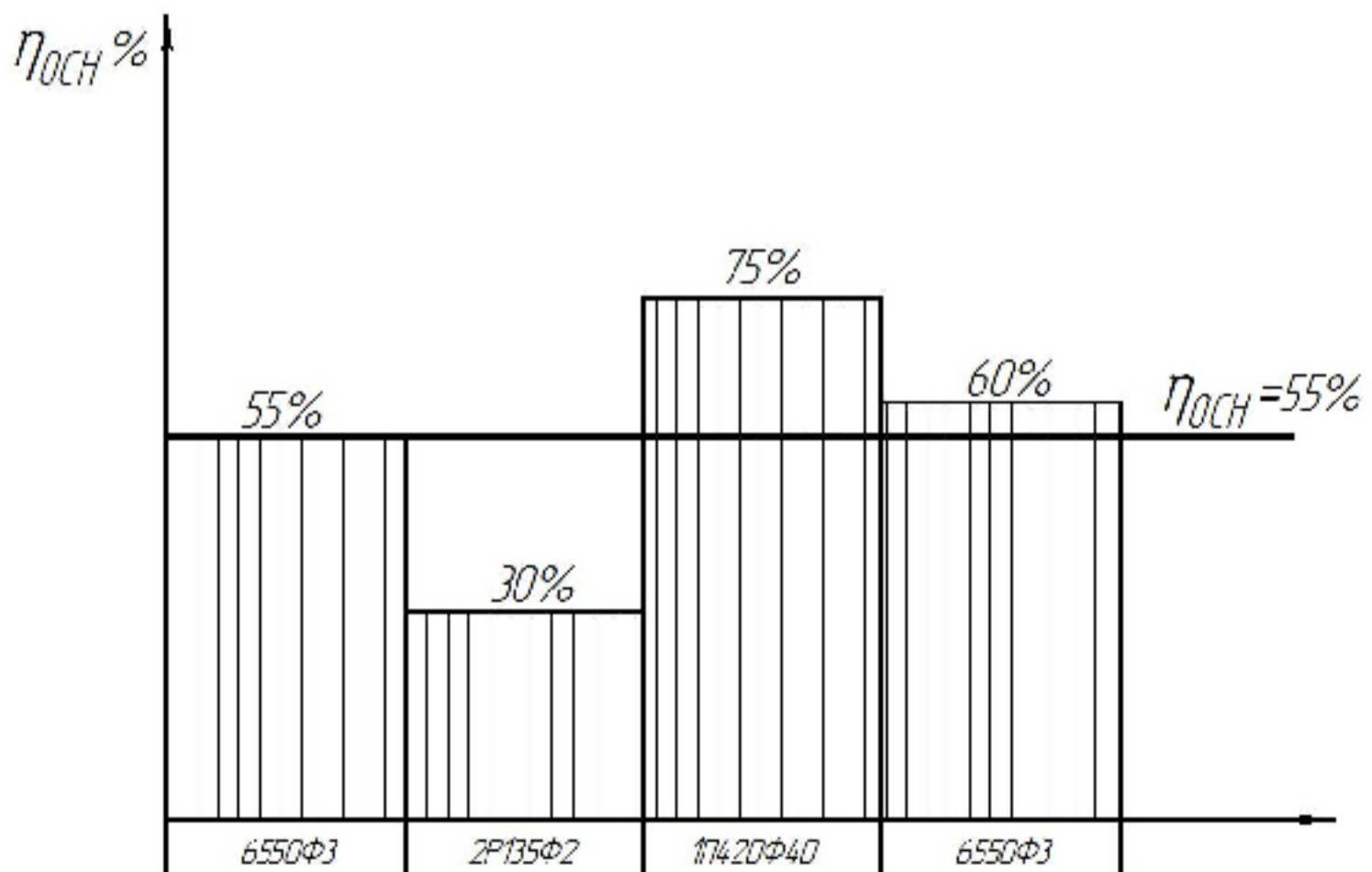


Рисунок 4.2 – Графік використання обладнання за основним часом

Аналіз завантаження обладнання дозволяє зробити такі висновки:

- коефіцієнт завантаження верстатів досить низький. Лише 27% часу верстати завантажені обробкою підібраних деталей. Тому для завантаження верстатів до необхідної норми (80%) на них необхідно планувати обробку ще ряду деталей, що є подібними за конструкцією;

- коефіцієнт використання верстатів за основним часом є досить високим на усіх верстатах. Це підтверджує вірність рішень щодо нормування та вибору вказаних типів верстатів;

- для достатнього завантаження верстатів дільниці необхідно щоб приведена програма складала  $N_{пр} \approx 45000 \div 50000$  штук деталей.

#### 4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці

Кількість робітників-верстатників дільниці механічного цеху може бути підрахована в залежності від прийнятої кількості верстатів за формулою [3, 21]:

$$P_i = \frac{\Phi_{\partial} \cdot C_{пр} \cdot \eta_3 \cdot \eta_0}{\Phi_{\ast} \cdot K_m}, \quad (4.9)$$

де  $C_{пр}$  – прийнята кількість верстатів, шт.;

$\Phi_{\ast}$  – ефективний річний фонд роботи верстатника,  $\Phi_{\ast} = 1840$  год.;

$\Phi_{\partial}$  – ефективний фонд роботи верстата,  $\Phi_{\partial} = 3890$  год.;

$K_m$  – коефіцієнт багатостаночного обслуговування,  $K_m = 1,0 \dots 2,2$ ;

$\eta_3, \eta_0$  – коефіцієнти завантаження.

$$P_{005} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,15 \cdot 0,55}{1840 \cdot 1} = 0,17; \quad P_{пр005} = 1;$$

$$P_{010} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,08 \cdot 0,3}{1840 \cdot 1} = 0,05; \quad P_{пр010} = 1;$$

$$P_{015} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,70 \cdot 0,75}{1840 \cdot 1} = 1,01; \quad P_{np015} = 1;$$

$$P_{020} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,14 \cdot 0,6}{1840 \cdot 1} = 0,18; \quad P_{np020} = 1.$$

Кількість основних робітників складає 4 чоловіки.

Кількість допоміжних робітників складає 20-25% від кількості верстатників, відповідно:

$$P_{дон} = (0,2 \dots 0,25) \cdot 4 = 0,8 \dots 1,0.$$

Приймаємо 1 допоміжних робітника (з можливістю довантаження роботою ще й на іншій ділянці).

При серійному виробництві кількість ІТР складає 16-22% від кількості основних верстатів, тобто:

$$P_{ИТР} = (0,16 \dots 0,22) \cdot 4 = 0,64 \dots 0,88.$$

Приймаємо 1 чоловіка ІТР (з можливістю довантаження роботою ще й на іншій ділянці).

Кількість службовців при серійному виробництві складає 0,9-1,9% від кількості основних робітників, отримаємо:

$$P_{служ} = (0,009 \dots 0,019) \cdot 4 = 0,036 \dots 0,076.$$

Приймаємо 1 чоловіка, який має обслуговувати ще ряд інших ділянок (наприклад бухгалтер).

МОП приймаємо в межах 1-2% від загальної кількості працюючих

$$P_{МОП} = (0,01 \dots 0,02) \cdot 6 = 0,06 \dots 0,12.$$

Приймаємо 1 чоловіка (з обслуговуванням інших дільниць).

Отримані дані занесемо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Відомість складу працюючих дільниці

Категорії працюючих	Спосіб визначення	Розрахункова кількість	Прийнята кількість
Основні робітники-верстатники	розрахунок	-	4
Допоміжні робітники	20...25%	0,8...1,0	1
ІТР	16...22%	0,64...0,88	1
СКП	0,9...1,9%	0,036...0,076	1
МОП	1-2%	0,06...0,12	1

## 5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ПІДШИПНИКА 04.15.008В»

5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Технологічний аудит проводять з метою оцінки комерційного потенціалу розробки, яка була розроблена і створена в результаті науково-технічної діяльності.

Для проведення технологічного аудиту залучено 3-х незалежних експертів, які оцінили комерційний потенціал розробки за 12-ма критеріями, наведеними в таблиці 5.1 [22].

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	«0»	«1»	«2»	«3»	«4»
1	2	3	4	5	6
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція не має
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки потрібно звести в таблицю за зразком таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Експерти		
	Експерт № 1	Експерт № 2	Експерт № 3
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	3	2
2	2	1	1
3	2	1	2
4	1	2	1
5	3	3	2
6	1	2	2
7	3	3	4
8	1	2	2
9	4	3	3
10	3	2	2
11	4	4	2
12	4	2	3
Сума балів	СБ <sub>1</sub> = 30	СБ <sub>2</sub> = 28	СБ <sub>3</sub> = 26
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{30 + 28 + 26}{3} = 28$		

Згідно таблиці 5.2 розробка має рівень комерційного потенціалу середній.

Так як в даній розробці використовується стандартне обладнання, то всі дії можуть виконуватися на підприємстві.

Ринками збуту продукції можуть бути промислові регіони України.

Потенційними покупцями нового товару можуть бути малі та середні машинобудівні та ремонтні підприємства з дрібносерійним, серійним та великосерійним виробництвом, які мають на меті виготовляти деталі.

Так як дане інноваційне рішення проектується, розраховується і впроваджується лише на даному виробництві, то використовуватись воно буде лише на даному підприємстві.

Оцінювання рівня якості інноваційного рішення проводиться з метою порівняльного аналізу і визначення найбільш ефективного, з технічної точки зору, варіанту інженерного рішення.

В даній магістерській роботі під час оцінювання якості продукції доцільно визначати абсолютний і відносний її рівні.

Абсолютний рівень якості інноваційного товару знаходять обчисленням вибраних для його вимірювання показників, не порівнюючи їх із відповідними показниками аналогічних виробів. Для цього необхідно визначити зміст основних функцій, які повинні реалізовувати інноваційне рішення, вимоги замовника до нього, а також умови, які характеризують експлуатацію, визначають основні параметри, які будуть використані для розрахунку коефіцієнта технічного рівня виробу. Система параметрів, прийнята до розрахунків, повинна достатньо повно характеризувати споживчі властивості інноваційного товару (його призначення, надійність, економічне використання ресурсів, стандартизація тощо). Всі ці дані для кожного параметра заносимо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Основні параметри інноваційного рішення

Параметри	Абсолютне значення параметра			Коефіцієнт вагомості параметра
	краще	середнє	гірше	
Кількість верстатів	9			40%
Кількість основних робітників	9			20%
Середній розряд робітників		7		10%
Середній коефіцієнт завантаження обладнання		7		15%
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом		7		15%

Визначимо абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:



$$K_{я.а.} = \sum_{i=1}^n P_{Hi} \cdot \alpha_i, \quad (5.1)$$

де  $P_{Hi}$  – числове значення  $i$ -го параметра інноваційного рішення;  $n$  – кількість параметрів інноваційного рішення, що прийняті для оцінювання;  $\alpha_i$  – коефіцієнт вагомості відповідного параметра.

$$K_{я.а.} = 9 \cdot 0,4 + 9 \cdot 0,2 + 7 \cdot 0,1 + 7 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,15 = 8,2.$$

Визначимо відносний рівень якості окремих параметрів інноваційного рішення, порівнюючи його показники з абсолютними показниками якості аналогу (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Основні параметри інноваційного рішення та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий	Новий (інноваційне рішення)		
Кількість верстатів, шт.	10	4	2,5	0,4
Кількість основних робітників, чол.	10	4	2,5	0,2
Середній розряд робітників	5,5	3	1,83	0,1
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,22	0,27	1,23	0,15
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом	0,4	0,55	1,38	0,15
Собівартість заготовки, грн.	317,32	237,87	-	-

Відносні (одичні) показники якості з будь-якого параметра  $q_i$ , що занесено у відповідні колонки таблиці 5.3, визначаються за формулами:

$$q_i = \frac{P_{Hi}}{P_{Bi}}, \quad (5.2)$$

або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}}, \quad (5.3)$$

де  $P_{Hi}$ ,  $P_{Bi}$  – числові значення  $i$ -го параметра відповідно нового і базового виробів.

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

$$K_{н.в.} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (5.4)$$

$$K_{н.в.} = 2,5 \cdot 0,4 + 2,5 \cdot 0,2 + 1,83 \cdot 0,1 + 1,23 \cdot 0,15 + 1,38 \cdot 0,15 = 2,08.$$

Значення відносного показника якості інноваційного рішення більше одиниці, це означає, що інноваційний продукт якісніший базового товару-конкурента.

Конкурентоспроможність продукції – це комплексна багатоаспектна характеристика товару, що визначає його переваги на ринку порівняно з аналогічними товарами-конкурентами як за ступенем відповідності конкретній потребі, так і за витратами на їх задоволення.

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками для нашої інноваційної розробки є технічні параметри, а також економія підприємства на втратах від браку.

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення ( $K$ ) з урахуванням вищезазначених груп показників можна визначити за формулою:

$$K = \frac{I_{м.н.}}{I_{е.н.}}, \quad (5.5)$$

де  $I_{т.п.}$  – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення);  $I_{е.п.}$  – індекс економічних параметрів.

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I_{е.п.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Hei}}{\sum_{i=1}^n P_{Bei}}, \quad (5.6)$$

де  $P_{Hei}$ ,  $P_{Bei}$  – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

Якщо  $K > 1$ , то інноваційне рішення вважається більш конкурентоспроможним, ніж товар-конкурент, обраний за базу для порівняння; якщо  $K < 1$ , то рівень конкурентоспроможності інноваційного рішення є нижчим, ніж у товару-конкурента; якщо  $K = 1$ , то ця ситуація інтерпретується як тотожність рівнів конкурентоспроможності обох товарів.

Оскільки індекс технічних параметрів дорівнює відносному рівню якості нашого інноваційного продукту, то він буде рівним 2,08. За формулою (5.6) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I_{е.п.} = \frac{237,87}{317,32} = 0,75.$$

Тоді, користуючись формулою (5.5), розрахуємо загальний показник конкурентоспроможності:

$$K = \frac{2,08}{0,75} = 2,77.$$

Оскільки  $K > 1$ , то запропонована нова технологія виготовлення деталі «Корпус підшипника 04.15.008В» є більш доцільнішою і конкурентноспроможною, ніж базова.

5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технології механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В»

5.2.1 Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу [22]

Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу  $K$ , складаються з відповідних витрат і розраховують за такою формулою:

$$K = Z_o + Z_{дод} + Z_n + B_{буд} + B_{обл} + B_{тр} + B_{осн} + B_{инв} + B_{пу} + B_{не} + B_{оз} \text{ [грн.]}, \quad (5.7)$$

де  $Z_o$  – основна заробітна плата розробників, грн.;

$Z_{дод}$  – додаткова заробітна плата розробників, грн.;

$Z_n$  – нарахування на заробітну плату розробників, грн.;

$B_{буд}$  – вартість будівлі, що її займає дільниця, грн.;

$B_{обл}$  – початкова вартість технологічного обладнання, грн.;

$B_{тр}$  – початкова вартість транспортних засобів, грн.;

$B_{осн}$  – початкова вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів, грн.;

$B_{инв}$  – вартість виробничого та господарчого інвентарю, грн.;

$B_{пу}$  – вартість програм управління, грн.;

$B_{не}$  – передвиробничі витрати, грн.;  $B_{оз}$  – вартість оборотних засобів, грн.

5.2.2 Основна заробітна плата розробників

Витрати на основну заробітну плату розробників ( $Z_o$ ) розраховують за формулою:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p} \text{ [грн.],} \quad (5.8)$$

де  $k$  – кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

$M_{ni}$  – місячний посадовий оклад конкретного розробника, грн.;

$t_i$  – число днів роботи конкретного розробника, грн.;

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці,  $T_p = 22$  дні.

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.	Прим.
Керівник проекту	9500	431,8	10	4318	
Інженер-технолог	9000	409,1	8	3272,73	
Інженер-конструктор	9000	409,1	8	3272,73	
Економіст	9000	409,1	2	818,18	
Всього				$Z_o$	11681,64

### 5.2.3 Додаткова заробітна плата розробників

Додаткова заробітна плата розраховується як 10...12% від основної заробітної плати розробників за формулою:

$$Z_{\text{доп}} = H_{\text{доп}} \cdot Z_o \text{ [грн.],} \quad (5.9)$$

де  $H_{\text{доп}}$  – норма нарахування додаткової заробітної плати.

$$Z_{\text{доп}} = 0,1 \cdot 11681,64 = 1168,164 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.4 Єдиний страховий внесок розробників (ЄСВ)

Єдиний страховий внесок розробників  $Z_n$  розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати розробників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_{\text{доод}}) \cdot H_{\text{зн}} \text{ [грн.],} \quad (5.10)$$

де  $H_{\text{зн}}$  – норма нарахування на заробітну плату розробників.

$$Z_n = (11681,64 + 1168,164) \cdot 0,22 = 2826,96 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.5 Вартість будівлі, що її займає діляниця

У нашому випадку не передбачається будівництво діляниці, тому ми розрахуємо вартість переобладнання існуючої діляниці. В цьому випадку можна обчислити витрати на переобладнання власних старих приміщень для облаштування удосконаленого технологічного процесу за формулою:

$$B_{\text{буд.}} = C_{\text{пл}} \cdot S_{\text{заг}} \text{ [грн.],} \quad (5.11)$$

де  $C_{\text{пл}}$  – приблизна вартість переобладнання 1 м<sup>2</sup> власних приміщень ( $C_{\text{пл}} \approx 200 \dots 1000 \text{ грн./м}^2$ );

$S_{\text{заг}}$  – загальна площа виробничої діляниці, м<sup>2</sup>.

$$B_{\text{буд.}} = 600 \cdot 120 = 72000 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.6 Початкова вартість технологічного обладнання

Балансову вартість нового обладнання розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{обл}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i \text{ [грн.],} \quad (5.12)$$

де  $C_i$  – ціна придбання одиниці обладнання даного виду, марки, грн.;

$C_{\text{пр.і}}$  – прийнята кількість одиниць обладнання відповідного найменування, які встановлені на діляниці, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що ураховує доставку, монтаж, налагодження обладнання тощо, ( $K_i = 1,10 \dots 1,12$ ; для промислових робіт  $K_i = 1,3 \dots 1,5$ );

$k$  – кількість найменувань обладнання встановленого на дільниці.

Таблиця 5.6 – Вартість обладнання

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	$K_i$	Вартість, грн.
1	Вертикально-фрезерний з ЧПК 6550Ф3	460000	2	1,1	1012000
2	Вертикально-свердлильний з ЧПК 2Р135Ф2	120000	1	1,1	132000
3	Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ40	610000	1	1,1	671000
Всього					1815000

Придбані верстати були у використанні.

Реалізуємо верстати, що були на базовій дільниці:

- 3 верстати 6Р13 –  $3 \cdot 60000 = 180000$  (грн.);

- 5 верстатів 2Н118 –  $5 \cdot 50000 = 250000$  (грн.);

- верстат 16К20 – 75000 грн.;

- верстат 3К228А – 50000 грн.

Всього реалізовано верстатів на 555000 грн. Отже, витрати на обладнання:

$$O = 1815000 - 555000 = 1260000 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.7 Початкова вартість транспортних засобів

Для організації технологічного процесу додаткові транспортні засоби не плануються, тому їх вартість розраховувати не будемо.

### 5.2.8 Початкова вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів

При укрупнених розрахунках витрати на інструмент і інше технологічне оснащення приймаються у відсотках від вартості основного технологічного

обладнання і складають у серійному виробництві загального машинобудування – 10...15%.

Вартість інструментів і технологічного оснащення ( $B_{то}$ ) розраховують за формулою:

$$B_{то} = B_{обл} \cdot \frac{K_n}{100\%} \text{ [грн.],} \quad (5.13)$$

де  $B_{обл}$  – балансова вартість обладнання, грн.;

$K_n$  – нормативний відсоток витрат в залежності від типу виробництва;

$$B_{то} = 1260000 \cdot 0,10 = 126000 \text{ (грн.)}$$

Вартість оснастки великої вартості ( $B_{овв}$ ) становить 20...30% вартості інструменту і технологічного оснащення, і розраховується за формулою:

$$B_{овв} = (0,2...0,3) \cdot B_{то} \text{ [грн.];} \quad (5.14)$$

$$B_{овв} = 126000 \cdot 0,25 = 31500 \text{ (грн.)}$$

Вартість контрольно-вимірювальних і регулювальних приладів ( $B_{квт}$ ), не закріплених за окремими робочими місцями і обслуговуючих одночасно всю ділянку, встановлюють пропорційно вартості інструменту і технологічного оснащення в межах 6...12% та розраховують за формулою:

$$B_{квт} = (0,06...0,12) \cdot B_{то} \text{ [грн.];} \quad (5.15)$$

$$B_{квт} = 0,1 \cdot 126000 = 12600 \text{ (грн.)}$$

Загальна вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів ( $B_{осн}$ ) визначається за формулою:



$$B_{осн} = B_{то} + B_{овс} + B_{кит} \text{ [грн.]}; \quad (5.16)$$

$$B_{осн} = 126000 + 31500 + 12600 = 170100 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.9 Вартість виробничого та господарчого інвентарю

Розрахунки не ведуться адже інвентар залишається той самий що і до удосконалення.

### 5.2.10 Вартість програм керування

Вартість програм керування для обладнання з ЧПК ( $B_{пу}$ ) становить 5...10% вартості додатково придбаного технологічного обладнання з ЧПУ і розраховується за формулою:

$$B_{пу} = (0,05...0,1) \cdot B_{обз} \text{ [грн.]}; \quad (5.17)$$

$$B_{пу} = 0,1 \cdot 1260000 = 126000 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.11 Величина передвиробничих витрат

Так як передвиробничі витрати – це частина одноразових (пускових) витрат, що пов'язані із підготовкою та освоєнням виробництва. В даному випадку вони не враховуються, так як виробництво існує і виконується його модернізація.

### 5.2.12 Величина оборотних засобів

Оборотні засоби – це сукупність оборотних фондів виробництва і фондів обігу, що беруть участь у виробничому процесі. В існуючому виробничому процесі вони є в наявності і тому при удосконаленні окремих операцій технологічного процесу дільниці вони можуть не враховуватися.

Отже, величина капітальних вкладень на удосконалення технологічного процесу складе:

$$K = 11681,64 + 1168,16 + 2826,96 + 72000 + 1260000 + 170100 + 126000 = \\ = 1643776,76 \text{ (грн.)}$$

### 5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції

#### 5.3.1 Сировина та матеріали

Для визначення потреби в матеріалах окрім їх номенклатури необхідно мати норми витрат матеріалів на одиницю продукції.

Вартість витрат на матеріал заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В» складає 237,87 грн. (див. розділ 2).

#### 5.3.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію ( $B_e$ ) розраховують за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{\text{снi}}}{\eta_i} \text{ [грн.]}, \quad (5.18)$$

де  $W_{yi}$  – встановлена потужність обладнання на визначеній  $i$ -й технологічній операції, кВт;

$t_i$  – тривалість роботи обладнання на визначеній  $i$ -й технологічній операції при виготовленні одного виробу, год.;

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії,  $C_e = 5,1$  грн.;

$K_{\text{снi}}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності на визначеній  $i$ -й технологічній операції,  $K_{\text{снi}} < 1$ ;

$\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії обладнання,  $\eta_i = 0,96$ .

Проведені розрахунки зведено до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на електроенергію

Найменування операції, верстат	Встановлена потужність, кВт	Тривалість обробки, год.	Сума, грн.
005 Фрезерна з ЧПК, 6550Ф3	8	0,039	1,59
010 Свердлильна з ЧПК, 2Р135Ф2	3,7	0,011	0,21
015 Багатоцільова з ЧПК, 1П420ПФ40	22	0,253	28,39
020 Фрезерна з ЧПК, 6550Ф3	8	0,042	1,71
Всього			Σ 31,9

### 5.3.3 Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ( $Z_p$ ) за відповідними найменуваннями робіт розраховують за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i \text{ [грн.],} \quad (5.19)$$

де  $C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн./год.;

$t_i$  – час роботи робітника на визначеній  $i$ -й технологічній операції при виготовленні одного виробу, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду  $C_i$  можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}} \text{ [грн.],} \quad (5.20)$$

де  $M_M$  – розмір мінімальної місячної заробітної плати,  $M_M = 6000$  грн. (на 01.01.2021 р.);

$K_i$  – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду;

$K_c$  – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань

і підприємств машинобудування до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці, приблизно  $T_p = 22$  дні;

$t_{зм}$  – тривалість зміни, год.

$$C = (6000 \cdot 1,35 \cdot 1,5) / (22 \cdot 8) = 69,03 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.8 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування операцій, верстат	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
005 Фрезерна з ЧПК, 6550Ф3	0,039	3	1,35	69,03	2,69
010 Свердлильна з ЧПК, 2Р135Ф2	0,011	3	1,35	69,03	0,76
015 Багатоцільова з ЧПК, 1П420ПФ40	0,253	3	1,35	69,03	17,47
020 Фрезерна з ЧПК, 6550Ф3	0,042	3	1,35	69,03	2,9
Всього					Σ 23,82

#### 5.3.4 Додаткова заробітна плата робітників

Розраховується як 10...12% від основної заробітної плати робітників:

$$Z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}} \cdot Z_p \text{ [грн.]}, \quad (5.21)$$

де  $H_{\text{дод}}$  – норма нарахування додаткової заробітної плати.

$$Z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 23,82 = 2,38 \text{ (грн.)}$$

#### 5.3.5 Єдиний страховий внесок робітників (ЄСВ)

Єдиний страховий внесок робітників  $Z_n$  розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати виробничих робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_{\text{доод}}) \cdot H_{\text{зн}} \text{ [грн.]}, \quad (5.22)$$

де  $H_{\text{зн}}$  – норма нарахування на заробітну плату робітників.

$$Z_n = (23,82 + 2,38) \cdot 0,22 = 5,76 \text{ (грн.)}$$

### 5.3.6 Розрахунок загальновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

$$B_{\text{заг}} = H_{\text{зн}} \cdot Z_p \text{ [грн.]}; \quad (5.23)$$

$$B_{\text{заг}} = 2,5 \cdot 23,82 = 59,55 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Таблиця 5.9 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.
Витрати на матеріали на одиницю продукції, грн.	$M$	237,87
Витрати на силову електроенергію, грн.	$B_e$	31,9
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	$Z_p$	23,82
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	$Z_{\text{доод}}$	2,38
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	$Z_n$	5,76
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{\text{заг}}$	59,55
Всього	$S_v$	361,28

## 5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу

### 5.4.1 Нижня межа ціни

Ціна реалізації виробу розраховується за формулою:

$$C_{\text{нп}} = S_{\text{с}} \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{w}{100}\right) [\text{грн.}], \quad (5.24)$$

де  $C_{\text{нп}}$  – нижня межа ціни реалізації виробу, грн.;

$S_{\text{с}}$  – виробнича собівартість виробу, грн.;

$P$  – нормативний рівень рентабельності, рекомендується приймати  $P = 5 \dots 20\%$ ;

$w$  – ставка податку на додану вартість, за станом на 01.01.2021 року,  $w = 20\%$ .

Необхідність врахування податку на додану вартість виникає у зв'язку з тим, що коли буде встановлюватись верхня межа ціни, а потім договірна ціна, то ціна базового виробу зазвичай містить цей податок.

$$C_{\text{нп}} = 361,28 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 520,24 \text{ (грн.)}$$

#### 5.4.2 Верхня межа ціни

Верхня межа ціни ( $C_{\text{вп}}$ ) захищає інтереси споживача і визначається тією ціною, яку споживач готовий сплатити за продукцію з кращою споживчою якістю.

Параметри якості продукції закладено в конструкторській документації, тому, при удосконаленні технологічного процесу, якість кінцевого продукту не змінюється  $C_{\text{вп}} = 520,24$  грн.

#### 5.5 Розрахунок величини чистого прибутку

При модернізації технологічного процесу розрахунок величини чистого прибутку, який отримає виробник протягом одного року, розраховується за формулою:

$$\Pi = \left\{ \left[ C_{\text{дог}} - \frac{(C_{\text{дог}} - M) \cdot f}{100} - S_B - \frac{q \cdot S_B}{100} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{h}{100} \right] \right\} \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (5.25)$$

де  $C_{\text{дог}}$  – договірна ціна реалізації виробу, грн.;

$M$  – вартість матеріальних ресурсів, які були придбані виробником для виготовлення одиниці виробу, грн.;

$S_B$  – виробнича собівартість виробу, грн.;

$f$  – зустрічна ставка податку на додану вартість,  $f = 16,67\%$ ;

$h$  – ставка податку на прибуток,  $h = 18\%$ ;

$q$  – норматив, який визначає величину адміністративних витрат, витрат на збут та інші операційні витрати,  $q = 5 \dots 10\%$ ;

$N$  – число виробів, які планується реалізувати за рік, шт.

$$\begin{aligned} \Pi &= \left\{ \left[ 520,24 - \frac{(520,24 - 237,87) \cdot 16,67}{100} - 361,28 - \frac{10 \cdot 361,28}{100} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 6600 = \\ &= 410018,1 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

## 5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення

При оцінці ефективності інноваційних проектів передбачається розрахунок таких важливих показників, як: чистий дисконтований дохід (інтегральний ефект); внутрішня норма дохідності (прибутковості); індекс прибутковості; термін окупності.

### 5.6.1 Розрахунок чистого дисконтованого доходу

Дана модернізація передбачає одноразові капітальні вкладення, тому NPV можна визначити за формулою:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\Pi_t}{(1+d)^t} - K \text{ [грн.],} \quad (5.26)$$

де  $\Pi_t$  – прибуток отриманий від реалізації відповідної кількості нової продукції у  $t$ -му році функціонування проекту, грн.;

$K$  – величина капітальних вкладень у розробку інноваційного рішення (проект), грн.;

$d$  – норма дисконту, величина якої залежить від рівня ризику, рівня банківської ставки по вкладам, рівня інфляції;

$n$  – термін протягом якого продукція реалізовуватиметься на ринку (термін функціонування проекту), років;

$t$  – відповідний рік функціонування проекту, в якому очікується прибуток, грн.

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{410018,1}{(1+0,2)^1} + \frac{410018,1}{(1+0,2)^2} + \frac{410018,1}{(1+0,2)^3} + \frac{410018,1}{(1+0,2)^4} - 1643776,76 = \\ &= 582348,73 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Враховуючи, що  $NPV > 0$ , то проект можна рекомендувати до реалізації.

### 5.6.2 Розрахунок внутрішньої норми доходності

Мінімальне можливе значення внутрішньої норми доходності проекту  $IRR_{MIN}$  розраховується такою формулою:

$$IRR_{MIN} = \sqrt[n]{\frac{\sum_{t=1}^n (\Pi_t + A_t)}{K}} - 1, \quad (5.27)$$

де  $\Pi_t$  – прибуток отриманий від реалізації відповідної кількості нової продукції у  $t$ -му році функціонування проекту, грн.;



$A_t$  – амортизаційні відрахування у  $t$ -му році функціонування проекту на обладнання, яке безпосередньо було використано для розробки інноваційного рішення, грн.;

$K$  – величина капітальних вкладень у розробку інноваційного рішення (проект), грн.;

$n$  – термін протягом якого продукція реалізовуватиметься на ринку (термін функціонування проекту), років;

$t$  – відповідний рік функціонування проекту, в якому очікується прибуток, грн.

$$IRR_{MIN} = \sqrt[4]{\frac{410018,1 + 410018,1 + 410018,1 + 410018,1}{1643776,76}} - 1 = 0,1.$$

### 5.6.3 Розрахунок терміну окупності

Термін окупності капітальних вкладень (або додаткових капітальних вкладень) розраховується за формулою:

$$T_o = \frac{\Delta K(K)}{П} \text{ [років]}, \quad (5.28)$$

де  $K$  – величина капітальних вкладень для розробки нової технології грн.,

$\Delta K$  – величина додаткових капітальних вкладень для модернізації технології, грн.,

$П$  – прибуток, отриманий виробником за 1 рік продажу продукції, виробленої з застосуванням нового технологічного процесу, грн.

$$T_o = \frac{1643776,76}{410018,1} = 3,99 \text{ (року)}.$$

## 5.7 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технології механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В», які включають витрати на основну і додаткову заробітну плату розробників та робітників, амортизацію обладнання, витрати на електроенергію, матеріали тощо.

За результатами всіх розрахунків виявлено, що для впровадження удосконаленого технологічного процесу потрібно 1643776,76 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 410018,1 грн., термін окупності 3,99 року.

Отже, удосконалення технології механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В» доцільне для впровадження.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Дослідження на тему «Удосконалення технології механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В»» відбуватиметься в приміщенні, яке обладнане спеціальними робочими місцями. На дослідника можливий вплив таких небезпечних та шкідливих виробничих факторів (згідно [23, 24]).

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена чи понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; підвищена чи понижена іонізація повітря; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження; розумове перевантаження; емоційні перевантаження.

### **6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи**

#### **6.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця**

Вимоги безпеки мають виконуватися протягом усього технологічного процесу, включаючи операції технічного контролю, транспортування, складування об'єктів оброблення і збирання технологічних відходів виробництва. У технологічній документації на оброблення різанням мають бути вказані засоби захисту працюючих. Режимі різання мають забезпечувати безпеку роботи, відповідати вимогам стандартів і технічних умов для відповідних інструментів. Установка оброблюваних заготовок і зняття готових деталей під час роботи обладнання допускається поза зоною оброблення, при застосуванні спеціальних позиційних пристосувань (наприклад, поворотних столів), що забезпечують безпеку праці робітників. При обробці різанням заготовок, що виходять за краї обладнання, мають бути встановлені переносні огороження і знаки безпеки. Для виключення зіткнення рук верстатників із пристосуваннями, що рухаються, і

інструментом при установці заготовок і знятті деталей мають застосовуватися автоматичні пристрої (механічні руки, револьверні пристосування, бункери). Для охолодження зони різання застосовуються з дозволу МОЗ України масляні мастильно-охолоджувальні рідини (МОР), емульсії, синтетичні та напівсинтетичні рідини з температурою спалаху не нижче 1500С, вільні від кислот. Стружку (відходи виробництва) від металорізальних верстатів і робочих місць варто забирати механізованими способами за допомогою різних транспортерів. Прибирання робочих місць від стружки і пилу має проводитися способом, що виключає пилоутворення. Для контролю розмірів оброблюваних заготовок під час роботи обладнання мають передбачатися спеціальні прилади, що дозволяють здійснювати виміри автоматично, без зняття деталей. Контроль розмірів оброблюваних заготовок на верстатах і зняття деталей мають проводитися лише при відключених механізмах обертання або переміщення заготовок, інструменту і пристосувань.

#### 6.1.2 Електробезпека приміщення

Основне завдання електробезпеки – мінімізувати можливість негативного впливу електричного струму на людину. Досягти цієї мети можна за допомогою таких заходів і засобів: безпечною і надійною конструкцією електроустановок; організаційними та технічними заходами щодо безпечної експлуатації електроустановок та використання електричної енергії; технічними засобами захисту.

За ступенем небезпеки враження електричним струмом приміщення можна класифікувати як таке, що має категорію «без підвищеної небезпеки», оскільки вся зазначена офісна техніка має захисне заземлення, передбачене її конструкцією, і повністю виключає можливість випадкового контакту із частинами, що перебувають під небезпечною для людини напругою [31].

Лінія електромережі для живлення ЕОМ, периферійних пристроїв ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ в досліджуваному приміщенні виконана як окрема групова трипровідна мережа,

шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів.

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

- 1) ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування відповідно з вимогами нормативів;
- 2) захисне заземлення із використанням природних заземлювачів;
- 3) систематичне проходження інструктажу з елетробезпеки.

## 6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 6.2.1 Мікроклімат

Стан навколишнього виробничого середовища характеризується такими метеорологічними умовами: температурою, відносною вологістю, барометричним тиском і швидкістю руху повітря. Вищеназвані параметри, які ще називають параметрами мікроклімату, визначають умови теплообміну організму працівника із довкіллям.

Дослідження згідно гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [23] за енерговитратами відноситься до категорії I б. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [29] наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	40-60	0,1-0,3
Холодний	20-24	75	0,2

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату передбачено система водяного опалення, теплоізолююча обробка зовнішніх стін приміщення та припливно-витяжна вентиляція.

### 6.2.2 Склад повітря робочої зони

Шкідливі речовини, що потрапили в організм людини, спричинюють порушення здоров'я лише в тому випадку, коли їхня кількість у повітрі перевищує граничну для кожної речовини величину. Під гранично допустимою концентрацією (ГДК) шкідливої речовини у повітрі робочої зони розуміють таку максимальну концентрацію даної речовини, яка при щоденній (крім вихідних днів) роботі протягом 8 год чи іншої тривалості (але не більше 40 год на тиждень) не призводить до зниження працездатності й захворювання в період трудової діяльності та у наступний період життя, а також не чинить несприятливого впливу на здоров'я нащадків.

ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Формальдегід	0,035	0,03	2
Фенол	0,01	0,01	3
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,01	1

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено використання механічної вентиляції та систематичне вологе прибирання.

### 6.2.3 Виробниче освітлення

У приміщенні, де відбувалося дослідження використовується природне однобічне бічне освітлення.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 [26]) при природному та сумісному освітленні для розробника зазначені у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової розоро	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, Лк		КПО, %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє бокове	Бокове	Верхнє або верхнє бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи.

- 1) Максимально можливе бічне природне освітлення.
- 2) Штучне освітлення в приміщеннях з робочим місцем, обладнаним ВДТ, має здійснюватись системою загального рівномірного освітлення. Як джерело штучного освітлення мають застосовуватись люмінесцентні лампи ЛБ.
- 3) Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски з поверхні екранів ПК і клавіатури повинні бути передбачені сонцезахисні пристрої, вікна повинні мати жалюзі або штори.

#### 6.2.4 Виробничий шум

Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку відображені в ДСН 3.3.6.037-99 [28]. Для умов виконання роботи допустимі рівні звукового тиску повинні наведені в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Наукова і творча діяльність	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму доцільно використовувати засоби індивідуального захисту.

#### 6.2.5 Виробничі випромінювання

Рівні напруженості електромагнітних полів за електричними складовими та густиною магнітних потоків (індукції) у цих піддіапазонах регламентуються чинним в Україні нормативним актом ДСанПіН 3.3.2.007-98 [27] та загальноєвропейським стандартом MPR II, відомим під назвою «шведський стандарт». Ці ж діапазони розглядаються в універсальному рекомендаційному стандарті TCO'99.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від комп'ютера наведені в табл. 6.5.

Для захисту людини від дії електромагнітних випромінювань передбачаються наступні способи і засоби: зменшення параметрів випромінювання безпосередньо в самому джерелі випромінювання; екранування робочого місця; обмеження часу перебування персоналу в робочій зоні; встановлення раціональних режимів експлуатації установок і роботи працюючого персоналу.

#### 6.2.6 Напруженість праці

У процесі роботи необхідно дотримуватися правильного режиму праці та відпочинку. Інакше у працівників спостерігається незадоволеність роботою,



головний біль, роздратування, порушення сну, втома і больові відчуття в очах, попереку, у ділянці шиї та рук. Для зниження нервово-емоційного напруження і втоми очей, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії доцільно деякі перерви використовувати для виконання комплексу вправ, наведених у додатку 7 до ДСанПіН 3.3.2.007-98 (див. с. 70-71).

Таблиця 6.5 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Види поля	Допустимі параметри поля		Допустима поверхнева щільність потоку енергії (інтенсивність потоку енергії), Вт/м <sup>2</sup>
	за електричною складовою (E), В/м	за магнітною складовою (H), А/М	
Напруженість електромагнітного поля, 6 кГц...3 МГц	50	5	
3 МГц...30МГц	2	-	
30 МГц...5 ГГц	-	-	10
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру: УФ-С (220...280 нм)			0,001
УФ-В (280...320 нм)			0,01
УФ-А (320...400 нм)			10,0
в інфрачервоній частині спектру: 0,76... 10,0 мкм			35,0... 70,0
Напруженість електричного поля ВДТ			20 ВВ/м

### 6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Визначення області працездатності систем ЧПК верстата 6550Ф3 умовах дії небезпечних факторів надзвичайних ситуацій.

### 6.3.1 Визначення області працездатності системи ЧПК верстата 6550Ф3 в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм, що дозволяє оцінити збереження працездатності системи ЧПК верстата 6550Ф3 в умовах дії іонізуючих випромінювань є максимальне значення потужності дози в умовах експлуатації, яка може зумовити виникнення зміни параметрів елементів системи не порушуючи її працездатність в цілому.

Перелік елементів, що входять до складу системи ЧПК верстата 6550Ф3 та граничні значення експозиційних доз іонізуючого випромінювання для них наведені в табл. 6.6.

Згідно даних наведених в таблиці 6.6 граничне значення дози гамма-випромінювання для системи ЧПК верстата 6550Ф3 складає  $D_{гр} = 10^4$  Р.

Таблиця 6.6 – Визначення граничної дози іонізуючих випромінювань для системи ЧПК верстата 6550Ф3

Елементи і матеріали системи	Гранична доза гамма-випромінювання для елементів системи, $D_{гр,і},$ Р	Гранична доза гамма-випромінювання для системи в цілому, $D_{гр},$ Р
Транзистори, діоди	$10^4 \dots 10^6$	10 <sup>4</sup>
Інтегральні схеми	$10^5$	
Конденсатори	$10^7 \dots 10^9$	
Резистори	$10^7 \dots 10^9$	
Діелектричні матеріали	$10^{10}$	
Напівпровідники	$10^5 \dots 10^6$	

Граничне значення потужності дози іонізуючого випромінювання визначається з такої формули

$$D_M = \frac{2p_{1max} (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{пос}},$$

де  $p_{1max}$  – максимальне значення рівня радіації через 1 год. після аварії на радіаційно-небезпечному об'єкті;

$t_n=1$ ,  $t_k=10$  років = 87600 год – відповідно, час початку і кінця опромінення системи ЧПК верстатного обладнання, що визначається його експлуатаційним терміном;

$K_{noc} = 5$  – коефіцієнт послаблення радіації.

Тоді

$$P_{зр. \min} = \frac{D_{зр} \cdot K_{noc}}{2(\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})} = \frac{10^4 \cdot 5}{2(\sqrt{87600} - \sqrt{1})} = 84,5 \text{ (Р/год)}.$$

Згідно проведеного розрахунку область працездатності системи ЧПК верстата 6550Ф3 в умовах постійної дії іонізуючих випромінювань визначена потужністю іонізуючих випромінювань в межах від 0 до 84,5 Р/год.

6.3.2 Визначення області працездатності системи ЧПК верстата 6550Ф3 в умовах дії електромагнітних випромінювань

Критерієм, що визначає збереження працездатності системи ЧПК верстата в умовах дії електромагнітних є коефіцієнт безпеки

$$K_B = 20 \lg \frac{U_D}{U_{B(\Gamma)}},$$

де  $U_D$  – допустима напруга живлення, В;

$U_{B(\Gamma)}$  – напруга наведена електромагнітними випромінюваннями, відповідно, у вертикальних чи горизонтальних струмопровідних частинах системи ЧПК верстата 6550Ф3, В.

Оскільки стійкою, а отже і безпечною, робота системи ЧПК верстата 6550Ф3 в умовах дії електромагнітних випромінювань вважатиметься коли  $K_B \geq 40$  дБ, розрахунок гранично допустимого значення вертикальної складової напруженості електричного поля здійснюється за умови, що  $K_{B \min} = 40$  дБ.

Номінальна напруга живлення системи ЧПК верстата 6550Ф3  $U_{ж} = 12$  В.

Тоді допустима напруга живлення

$$U_{\text{д}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ (В)},$$

де  $N = 5 \%$  – допустиме відхилення напруги.

Максимальна довжина струмопровідних частин системи в горизонтальній площині становить 0,45 м.

Максимально допустиме значення наведеної електромагнітним полем напруги в горизонтальних струмопровідних частинах системи ЧПК верстата 6550Ф3 визначається з рівняння

$$K_{\text{бг}} = 20 \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{г}}}.$$

Тоді

$$40 = 20 \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{г}}}, \quad \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{г}}} = 10^{\frac{40}{20}},$$

$$U_{\text{г}} = \frac{U_{\text{д}}}{10^{\frac{40}{20}}} = \frac{12,6}{100} = 0,126 \text{ (В)}.$$

Тоді вертикальна складова напруженості електричного поля

$$E_{\text{в}} = \frac{U_{\text{г}}}{l_{\text{г}}} = \frac{0,126}{0,45} = 0,28 \text{ (В/м)}$$

Система ЧПК верстатів, що використовуються в технологічному процесі розміщена в захисних корпусах виготовлених із сталі товщина яких складає в середньому  $t = 0,125$  см і вище.

Використання сталевго екрана такої товщини забезпечує перехідне гасіння енергії електричного поля

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f} = 5,2 \cdot 0,125 \cdot \sqrt{15000} = 79,6 \text{ (Дб)}.$$

де  $f = 15000$  – власна частота екрана(корпуса).

Оскільки перехідне гасіння енергії електричного поля також можна розрахувати, як

$$A = 20 \log \frac{E_{\text{вх}}}{E_B} \text{ Дб},$$

де  $E_{\text{вх}}$  – вертикальна складова напруження електричного полі на вході в екран, то

$$E_{\text{вх}} = E_B \cdot 10^{\frac{A}{20}} = 0,28 \cdot 10^{\frac{79,6}{20}} = 2674 \text{ В}.$$

Збереження працездатності системи ЧПК верстата 6550Ф3 в умовах дії електромагнітних випромінювань можлива за умови якщо величина вертикальної складової напруженості електричного поля знаходиться в межах від 0 до 2674 В/м.

6.3.3 Розробка заходів захисту системи ЧПК верстатного обладнання в умовах впливу загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Для захисту обладнання у випадку виникнення інших надзвичайних ситуацій можна вжити такі заходи:

- використання обладнання в потенційних безпечних зонах;
- розміщення обладнання в зміцнених та захищених приміщеннях;
- за можливістю використання бездротової передачі даних та автономного енергозабезпечення;
- фіксація чи розміщення обладнання в місцях з максимальним обмеженням свободи руху та доступу повітря чи вологи;
- забезпечення можливості швидкого демонтажу та переміщення в безпечні місця;

- при необхідності герметизація приміщень або місць розташування обладнання;

- використання меблів та стін приміщень з негорючих та екрануючих матеріалів та захист іншими покриттями.

Щодо конструктивних рішень, то для захисту обладнання можна використати такі:

- використання в конструкції елементів, що є нечутливими до дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу, стрибків напруги спричинених іншими подіями;

- виготовлення корпусних деталей з екрануючих матеріалів;
- використання герметичних корпусів та блоків;
- створення блочних конструкцій з взаємозамінними блоками;
- використання дублюючих блоків або паралельних блоків;
- використання елементів автоматичного відключення блоків чи системи в цілому у випадку надзвичайних подій.

За результатами проведеного розрахунку можна зробити такі висновки:

- область працездатності системи ЧПК верстата 6550Ф3 в умовах постійної дії іонізуючих випромінювань визначена потужністю іонізуючих випромінювань в межах від 0 до 84,5 Р/год.;

- область працездатності системи ЧПК верстата 6550Ф3 в умовах дії електромагнітних випромінювань визначена вертикальною складовою напруженості електричного поля в межах від 0 до 2674 В/м;

- для захисту системи ЧПК верстатного обладнання від впливу інших небезпечних чинників можна використати заходи запропоновані в останньому підрозділі.

## ВИСНОВКИ

В магістерській роботі удосконалено технологію механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В». При виконанні роботи поставлено і виконано такі завдання.

1. В розділі огляду технології виготовлення деталі типу «Корпус» проведено аналіз типових технологічних процесів, базового технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В», проаналізовано їх позитивні сторони, внесені пропозиції щодо удосконалення технології механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В».

2. Для виготовлення заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В» запропоновано два способи лиття – в піщано-глинисті форми та оболонкові форми. Встановлено, що економічно доцільніше виготовляти заготовку литтям в піщано-глинисті форми, оскільки вартість заготовки складає 237,87 грн., що менше у порівнянні з литтям в оболонкові форми – 317,32 грн.

3. Спроектовано варіанти удосконаленого ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В» з використанням верстатів з ЧПК. Їх порівняння за мінімумом приведених витрат дозволило вибрати дешевший варіант. Виконано розмірно-точнісне моделювання ТП, розрахунки припусків, режимів різання, норм часу по операціям.

4. За допомогою математичного планування експерименту проведено дослідження впливу глибини  $t$ , подачі  $S$  та швидкості  $v$  різання на шорсткість  $Ra$  оброблюваного центрального отвору деталі «Корпус підшипника 04.15.008В» при розточуванні на токарно-револьверному верстаті з ЧПК.

5. Спроектовано верстатний пристрій для обробки паза шириною 35 мм та виконання отвору  $M10 \times 1-7H$  на 020 операції на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК моделі 6550Ф3.

6. Для удосконаленого ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В» спроектовано дільницю; встановлено

приведену програму ( $N_{прис} = 6600$  шт.) для роботи в дрібносерійному виробництві; розраховано необхідну кількість верстатів – 4 верстати; кількість основних робітників – 4 чоловіка.

7. Проведено економічні розрахунки доцільності впровадження запропонованих рішень, визначено капітальні вкладення – 1643776,76 грн., одержаний прибуток – 412913,77 грн., термін окупності вкладень – 3,98 року.

8. Розроблені заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях на ділянці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В».



**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения : учебное пособие / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – М. : ООО ИД «Альянс», 2007. – 256 с.
2. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм [и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
3. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум / Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, В. В. Савуляк, О. В. Сердюк. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 148 с.
4. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.
5. Руденко П. О. Вибір, проектування і виробництво заготовок деталей машин / Руденко П. О., Харламов Ю. О., Шустик О. Г. – К. : ІСДО, 1993. – 304 с.
6. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки: навчальний посібник / Ж. П. Дусанюк, О. П. Шиліна, С. В. Репінський, С. В. Дусанюк. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 199 с.
7. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку : ГОСТ 26645-85. – [Чинний від 1987-07-01] М. : Изд-во стандартов, 1987. – 53 с.
8. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування / В. Д. Рудь. – К. : ІСДО, 1996. – 300 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / В. Б. Борисов, Е. И. Борисов, В. Н. Васильев [и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.
10. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / Ю. А. Абрамов, В. Н. Андреев, Б. И. Горбунов [и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

11. Кирилович В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ / В. А. Кирилович, П. П. Мельничук, В. А. Яновський ; під заг. ред. В. А. Кириловича. – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 600 с.

12. Барановський Ю. В. Режимы резания металлов: Справочник. Ю. В. Барановський, Л. А. Брахан, Ц. З. Бродский [и др.] ; / под ред. Ю. В. Барановського. – М. : Машиностроение, 1972. – 407 с.

13. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с программным управлением. Часть I. Нормативы времени. – М. : Экономика, 1990. – 206 с.

14. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с программным управлением. Часть II. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 473 с.

15. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 280 с.

16. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.

17. Грановский Г. И. Обработка результатов экспериментальных исследований резания металлов / Г. И. Грановский. – М. : Машиностроение, 1982. – 112 с.

18. Застосування математичного планування експерименту для мінімізації шорсткості при розточуванні центрального отвору заготовки деталі «Корпус підшипника» / Ю. А. Буренніков, С. В. Репінський, В. Н. Лукаш // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)», м. Вінниця, 11-13 травня 2022 р. – 2022. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2022/paper/view/14194>.

19. Станочные приспособления. Справочник. / Под ред. В. Н. Вардашкина. – М. : Машиностроение, 1984. – Т.1 – 625 с., Т.2 – 573 с.

20. Розмірний розрахунок верстатних пристроїв на точність. Методичні вказівки до самостійної роботи з курсового та дипломного проектування для студентів спеціальностей 1201, 1202 всіх форм навчання / А. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. І. Савуляк. – Вінниця : ВПІ, 1990. – 20 с.

21. Мельников Г. Н. Проектирование механосборочных цехов. Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / Г. Н. Мельников, В. П. Вороненко ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Машиностроение, 1990. – 352 с.

22. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

23. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>.

24. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

25. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [Електронний ресурс] - Режим доступу : <http://vsegost.com/Catalog/31/31970.shtml>.

26. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. – Мінбуд України. – К.: 2006.

27. ДСан Пін 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ - [Електронний ресурс] - Режим доступу : <http://document.ua/derz-nor4881.html>.

28. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу : <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

29. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу : <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

30. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу : [http://sop.zp.ua/norm\\_praop\\_0\\_00-7\\_15-18\\_01\\_ua.php](http://sop.zp.ua/norm_praop_0_00-7_15-18_01_ua.php).

31. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу : <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>.

## ДОДАТОК А

(обов'язковий)

### ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення технології механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус підшипника 04.15.008В»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (зазначити))

Підрозділ Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Науковий керівник Буренніков Юрій Анатолійович, к.т.н., професор

(прізвище, ініціали, посада)

#### Показники звіту подібності

Plagiat.pl (StrikePlagiarism)		Unicheck	
КП1		Оригінальність	<b>95,5</b>
КП2			
Тривога/Білі знаки	/	Схожість	<b>4,5</b>

#### Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор \_\_\_\_\_

(підпис)

Лукаш В.Н.

(прізвище, ініціали)

#### Опис прийнятого рішення

Робота може бути допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_ Сердюк О.В.

(прізвище, ініціали)

Експерт \_\_\_\_\_

(підпис)

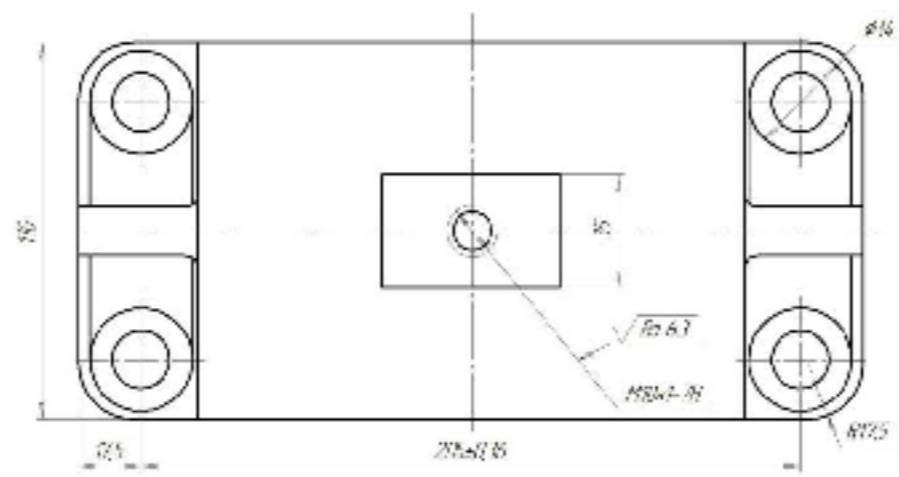
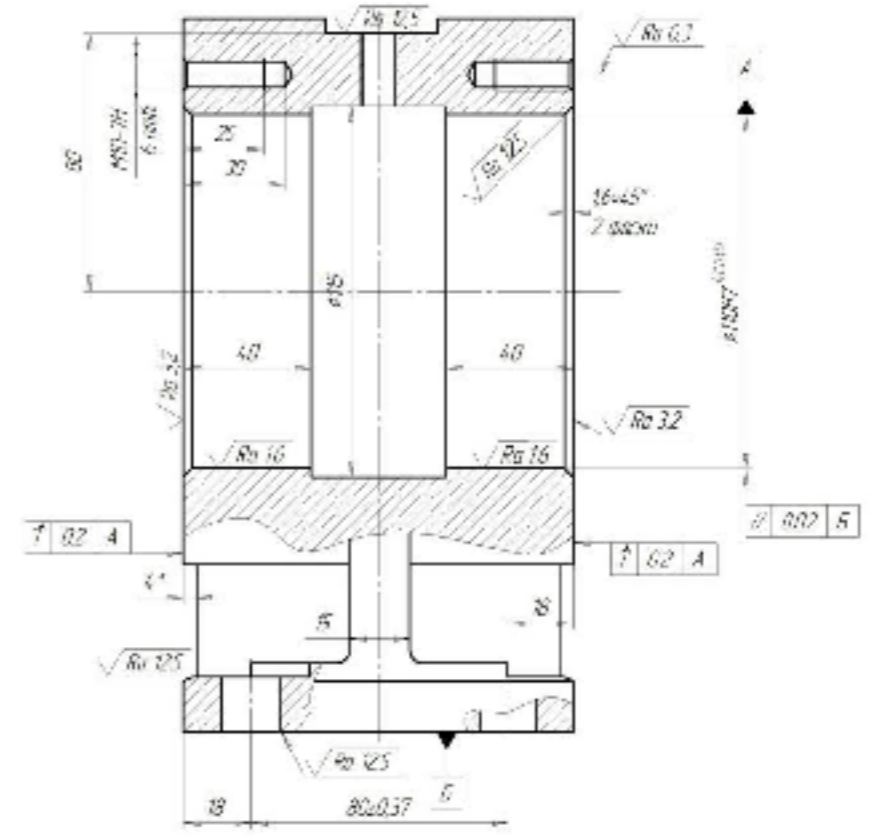
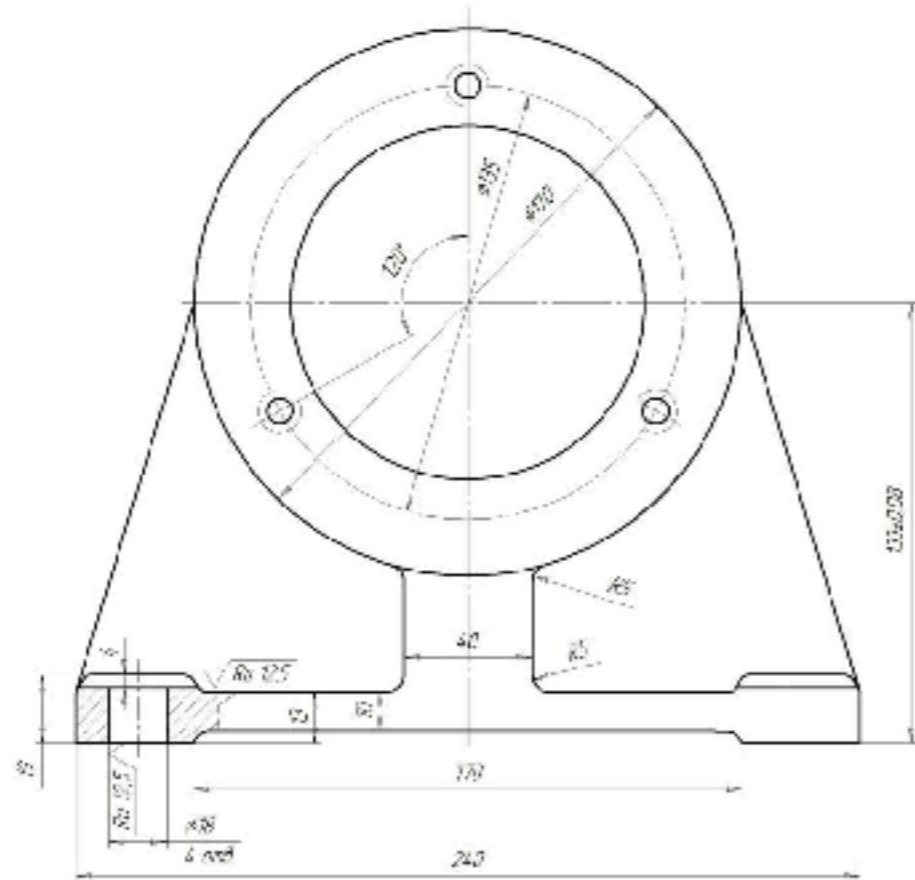
д.т.н., проф. зав.кафедри Козлов Л.Г.

(прізвище, ініціали, посада)

Додаток Б  
(обов'язковий)

**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ  
ДЕТАЛІ ТИПУ “КОРПУС ПІДШИПНИКА 04.15.008В”

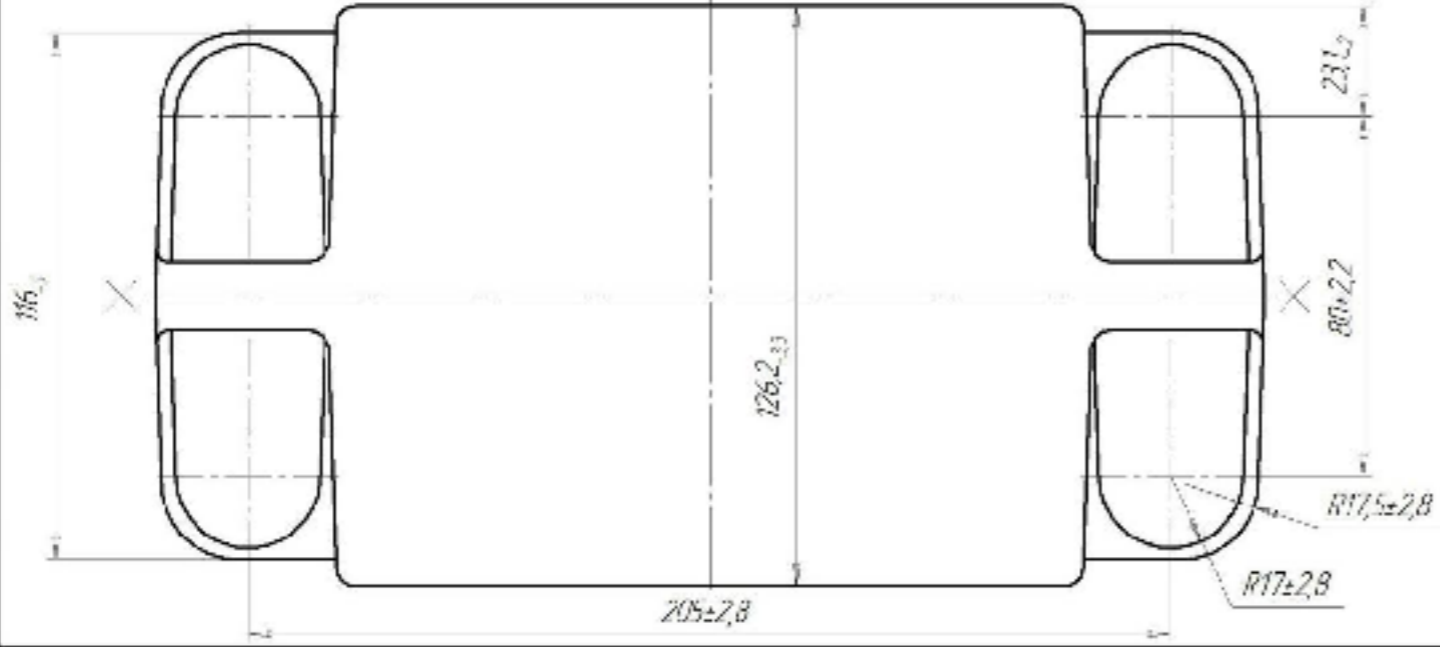
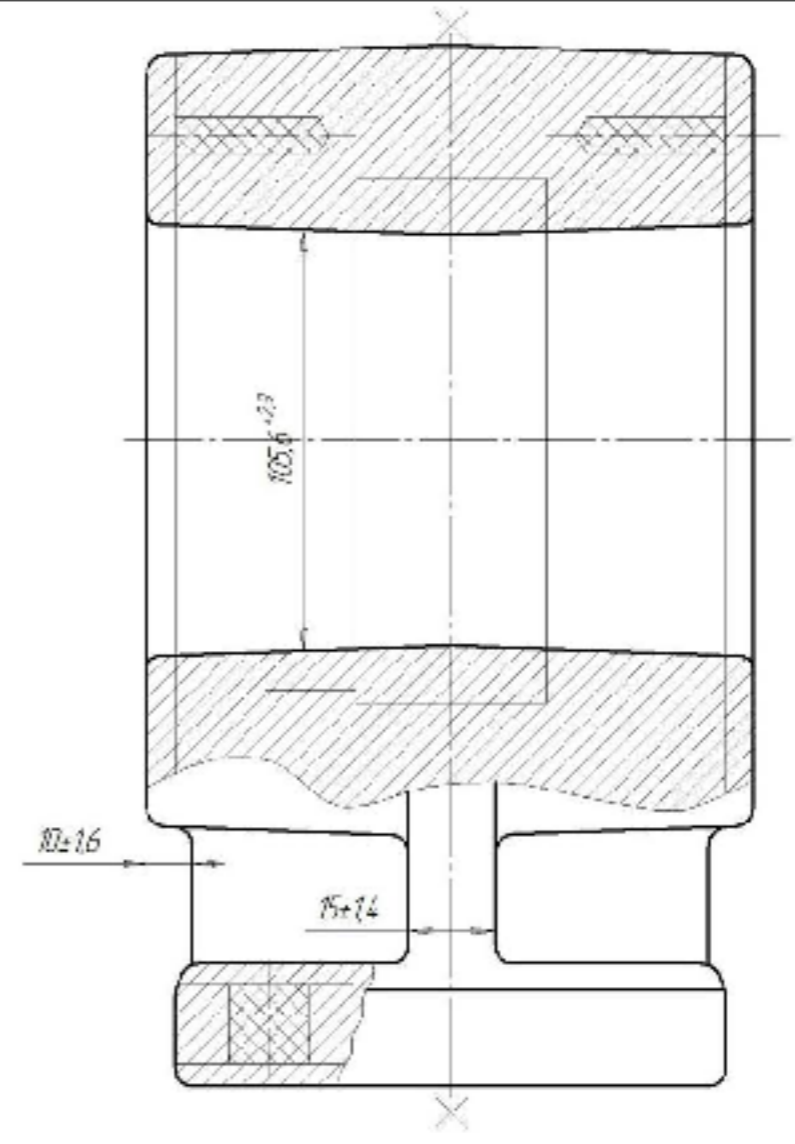
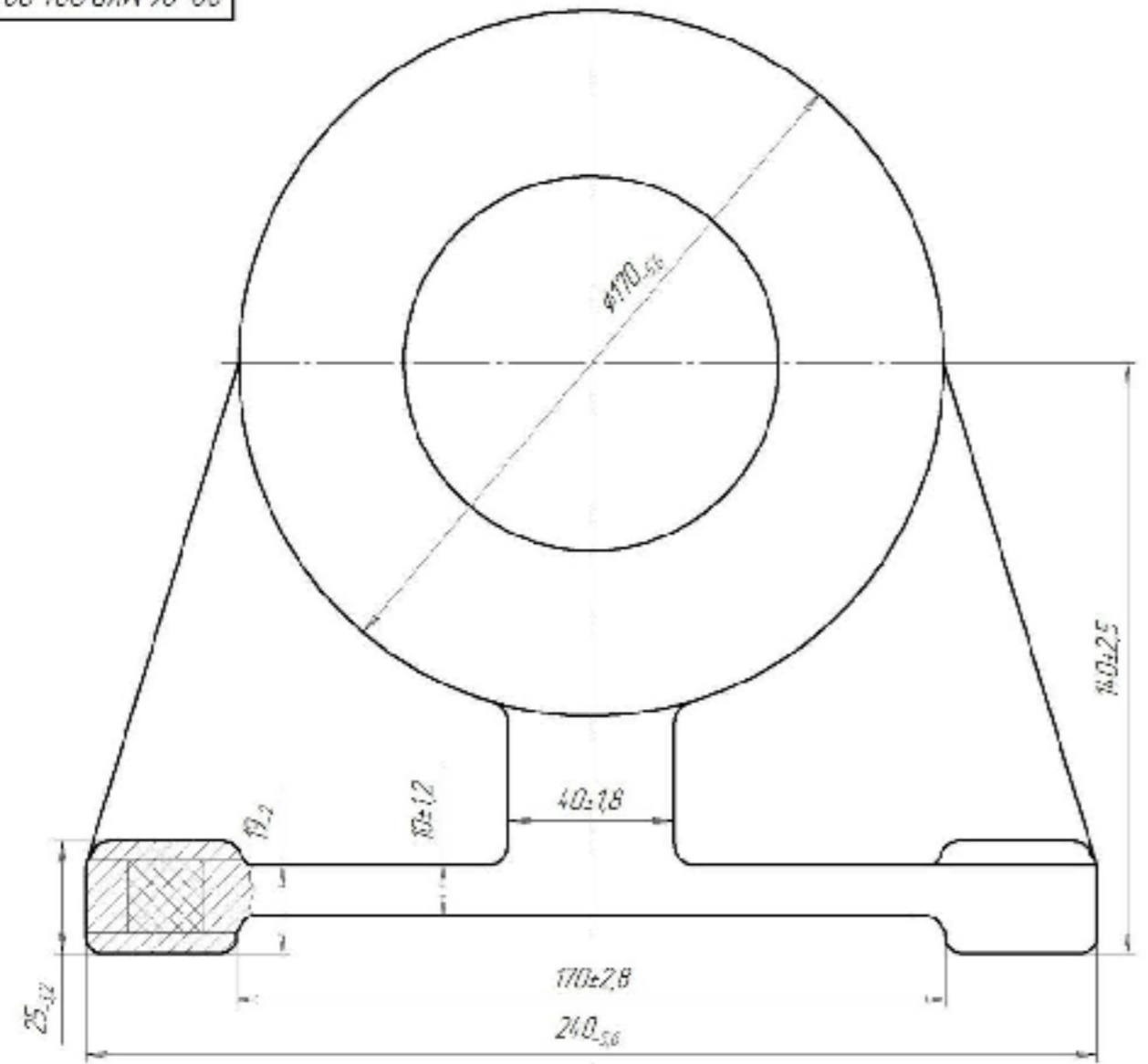


1. Неказані либарні нахили 1-2°.
2. Неказані либарні радіуси 3-4 мм.
3. Н14, Н14, ±Н14/2.
4. \* Розміри для довідок.

		08-26.MKP.001.00.001			
№	Вид	№	Вид	№	Вид
1	Черт.	1	Черт.	1	Черт.
Карту підписи		14.15.0000		14.15.0000	
С415 ГОСТ 14.12-85		14.15.0000		14.15.0000	

08-26.МКР.004.00.002

$\sqrt{Ra\ 80}$



1. Точність вилівка 11-7-17-11 ГОСТ 26645-85.
2. Маса 119-7,563-0,237-19,7.
3. Допускається раковина, пупокати  $\varnothing 3.8$  мм на глибини 4 мм.
4. Невказані радіуси заокруглень  $R\ 2.5.5$  мм.
5. Невказані нахили  $0^\circ 54' 5''$ .

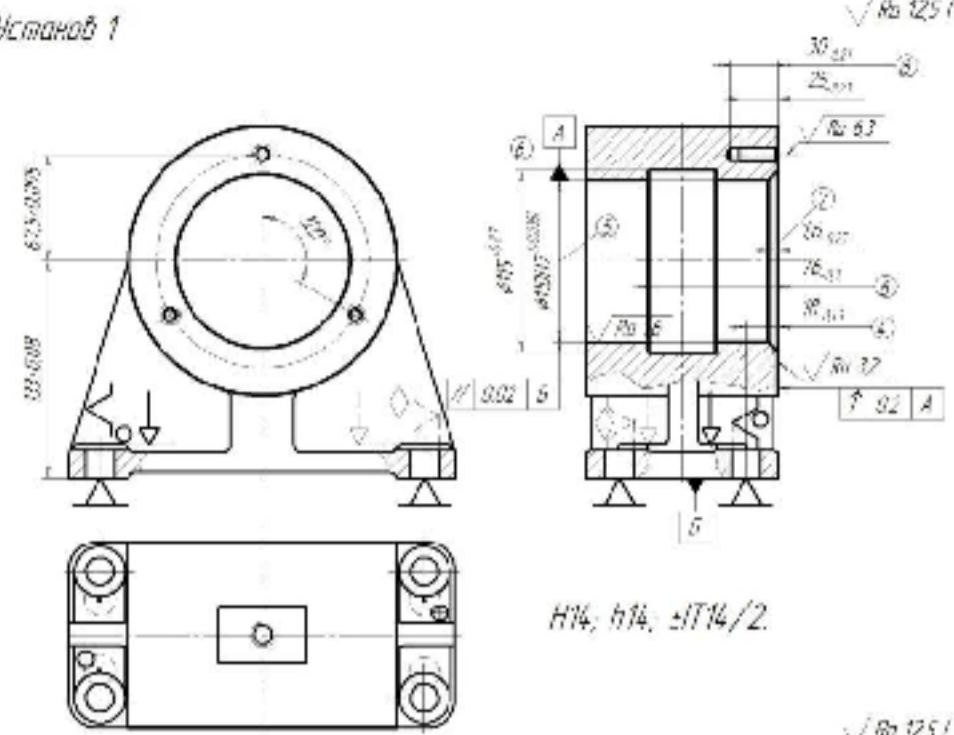
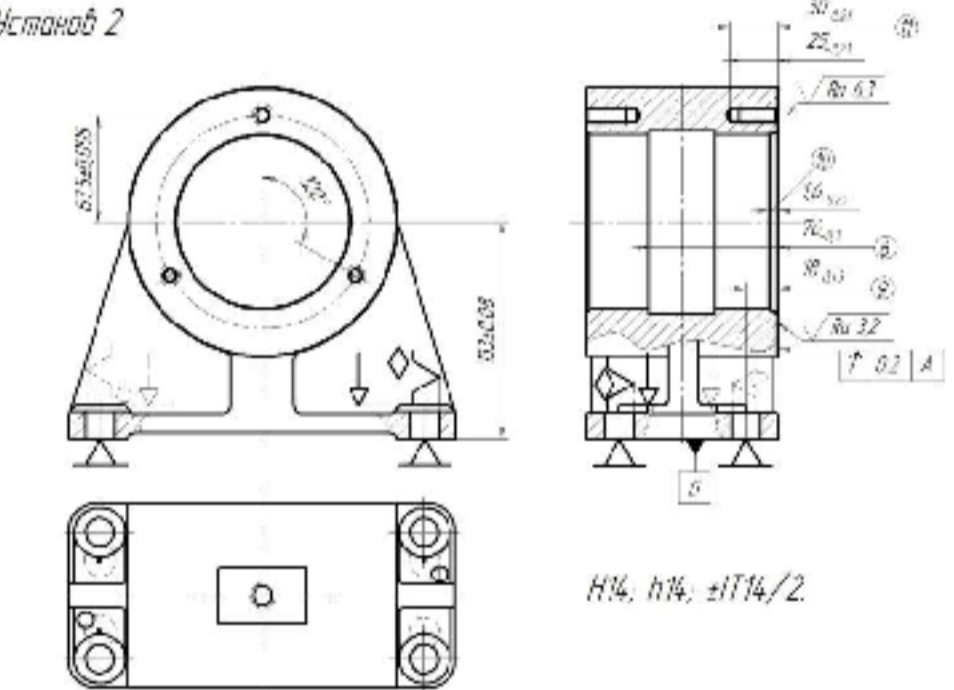
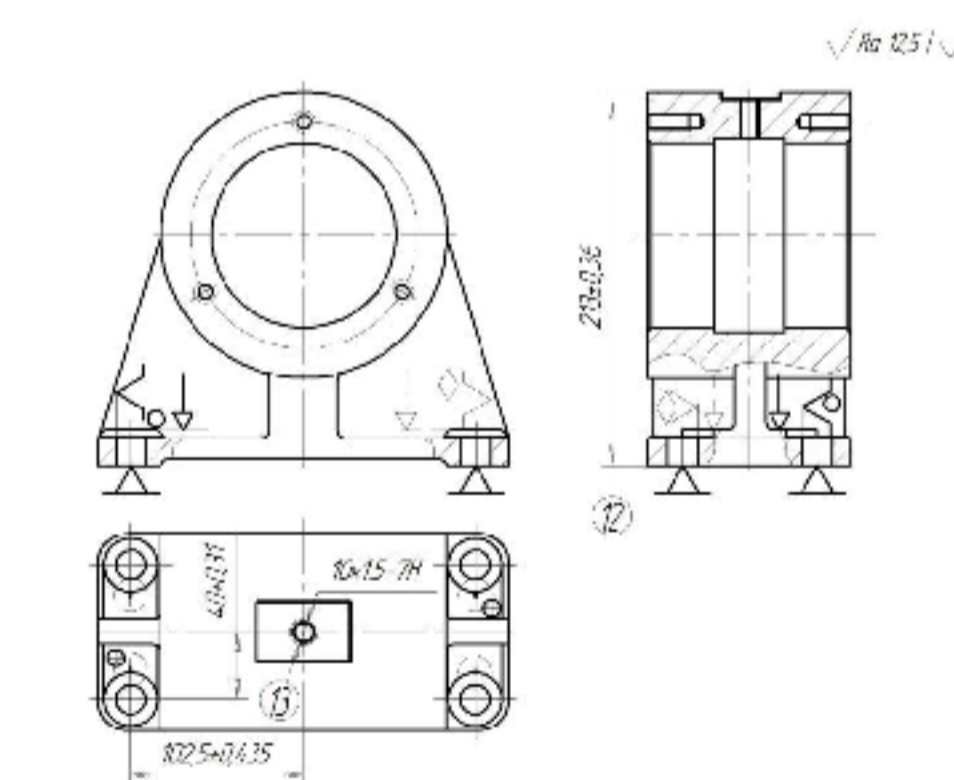
				<b>08-26.МКР.004.00.002</b>				
Мат. Діаг.	Мат. Діаг.	Мат. Діаг.	Мат. Діаг.	<b>Корпус підшипника (заготовка)</b>		Лист	Мас.ч.	Мас.шт.
Розроб.	Листів ДІТ	Листів ДІТ	Листів ДІТ			15,7	11	
Технік				<b>СЧ15 ГОСТ 1412-85</b>		Лист	Мат.ч.	Мат.шт.
Мастер	Серія ДІТ	Серія ДІТ	Серія ДІТ			ВНТУ	ст. гр. 11М-20м	
						Інженер		Лист 12



## Маршрут механічної обробки

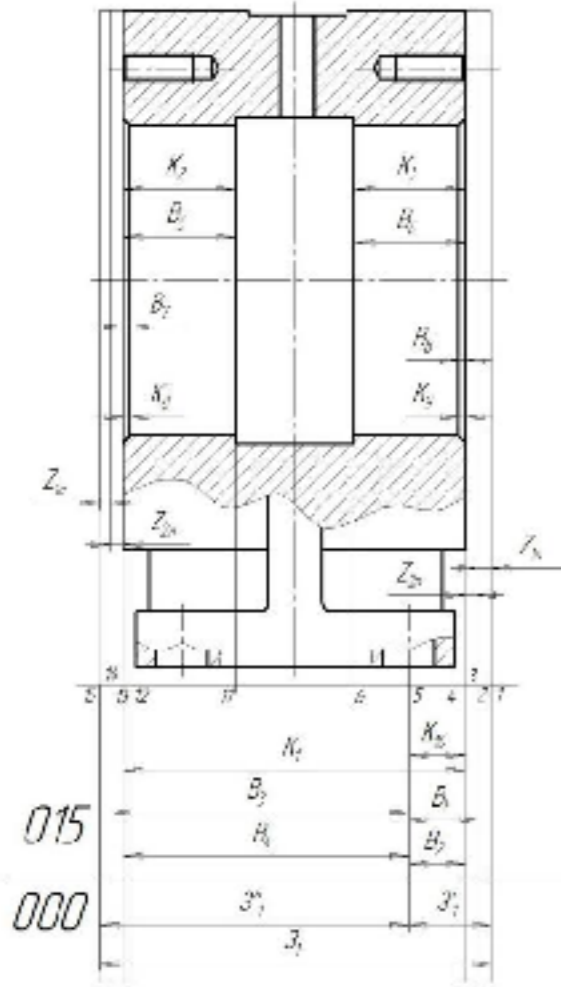
№ операції	Операція, перехід	Ескіз обробки, схема установки	Верстат
005	<p style="text-align: center;"><b>Фрезерна з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати поверхню 1.</li> <li>3. Центрувати 4 отвори 2 в розмірі <math>\phi 5</math> мм, <math>l=2</math> мм.</li> <li>4. Свердлити 4 отвори 2 в розмірі <math>\phi 17,2^{+0,08}</math> мм.</li> <li>5. Зенкерувати 4 отвори 2 в розміри згідно ескізу.</li> <li>6. Зняти заготовку.</li> </ol>	<p style="text-align: right;"><math>H14; h14; \pm IT14/2.</math></p>	<p style="text-align: center;">Вертикально-фрезерний з ЧПК 6550Ф3</p>
010	<p style="text-align: center;"><b>Свердлильна з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Цекувати 4 поверхні 3 в розміри згідно ескізу.</li> <li>3. Зняти заготовку.</li> </ol>	<p style="text-align: right;"><math>H14; h14; \pm IT14/2.</math></p>	<p style="text-align: center;">Вертикально-свердлильний з ЧПК 2P135Ф2 з спецприспособленням</p>

## Маршрут механічної обробки (продовження)

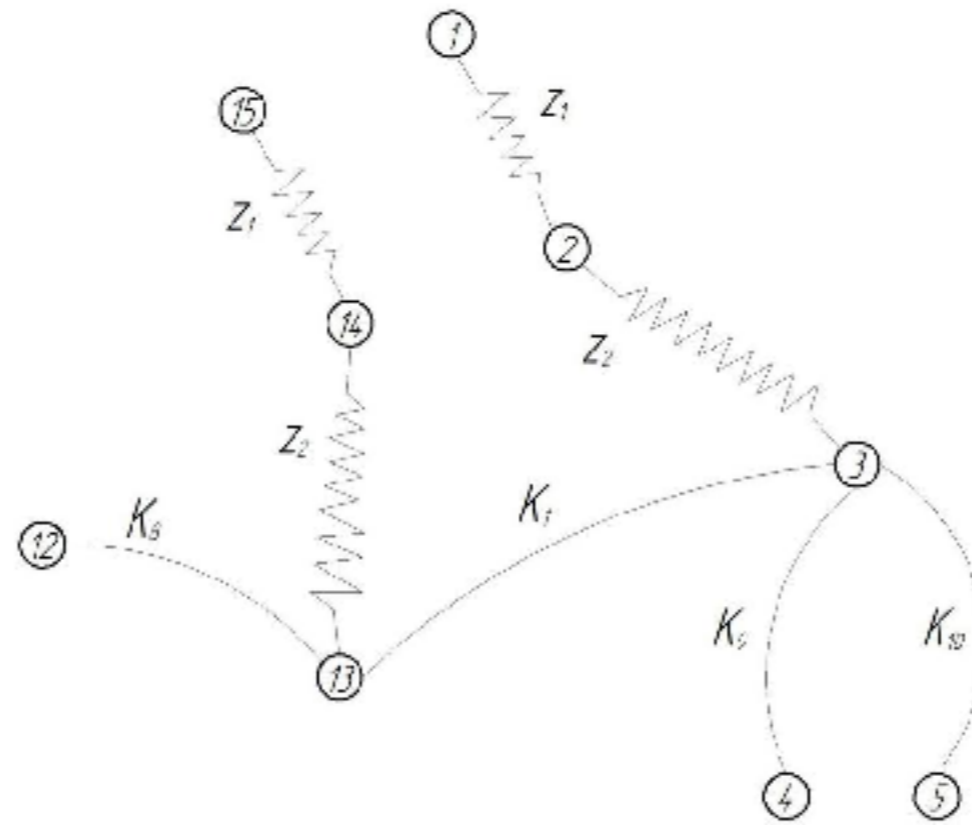
№ операції	Операція, перехід	Ескіз обробки, схема установки	Верстат
015	<p style="text-align: center;"><b>Багатоцільова з ЧПК</b> <b>1 установ</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Підрізати торець 4 в розмір <math>19,65_{-0,25}</math> мм, розточити поверхню 5 попередньо в розмір <math>\phi 109,1_{-0,22}</math> мм, розточити поверхню 6 однократно.</li> <li>3. Підрізати торець 4 остаточно, розточити поверхню 5 попередньо в розмір <math>\phi 109,7_{-0,037}</math> мм, точити фаску 7 остаточно в розмірі згідно ескізу.</li> <li>4. Розточити поверхню 5 остаточно.</li> <li>5. Центрувати 3 отвори в розмірі <math>\phi 5</math> мм, <math>l=2</math> мм.</li> <li>6. Свердлити 3 отвори 8 в розмір <math>\phi 9_{-0,05}</math> мм.</li> <li>8. Нарізати різь М10-7Н в 3 отворах 8.</li> <li>9. Зняти заготовку.</li> </ol> <p style="text-align: center;"><b>2 установ</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Підрізати торець 9 попередньо в розмір <math>19,65_{-0,25}</math> мм.</li> <li>3. Підрізати торець 9 остаточно, точити фаску 10.</li> <li>5. Центрувати 3 отвори 11 в розмірі <math>\phi 5</math> мм, <math>l=2</math> мм.</li> <li>6. Свердлити 3 отвори в розмір <math>\phi 7_{-0,05}</math> мм.</li> <li>7. Нарізати різь М10-7Н в 3 отворах 11.</li> <li>8. Зняти заготовку.</li> </ol>	<p style="text-align: center;">Установ 1</p>  <p style="text-align: center;">Установ 2</p> 	Токарний багатоцільовий з спеціальною обладнанням 114.201Ф4.0
020	<p style="text-align: center;"><b>Фрезерна з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати поверхню 12.</li> <li>3. Центрувати отвір 13 в розмірі <math>\phi 5</math> мм, <math>l=2</math> мм.</li> <li>4. Свердлити отвір 13 в розмір <math>\phi 9_{-0,05}</math> мм.</li> <li>5. Нарізати різь в отворі 13 в розмір згідно ескізу.</li> <li>6. Зняти деталь.</li> </ol>		Вертикально- фрезерний з ЧПК 6550Ф3

# Розмірний аналіз технологічного процесу

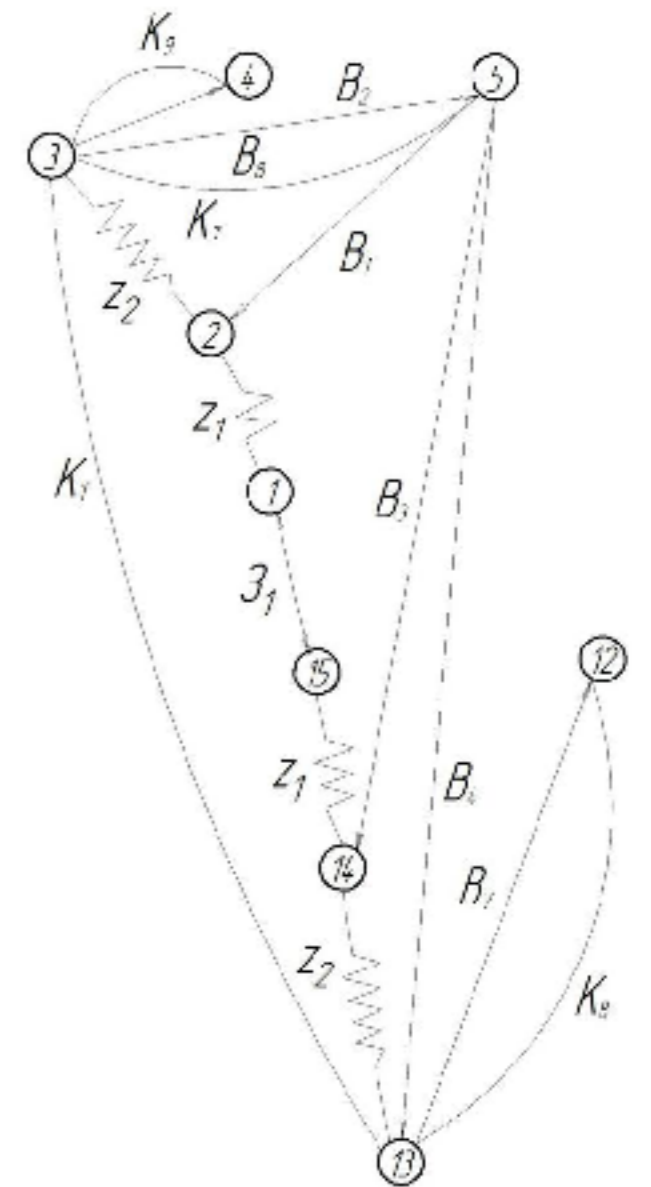
Розмірна схема технологічного процесу



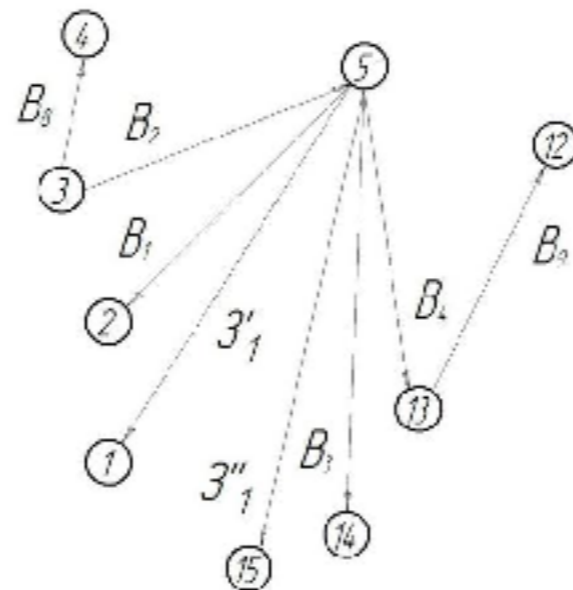
Вихідний граф-дерево



Суміщений граф-дерево

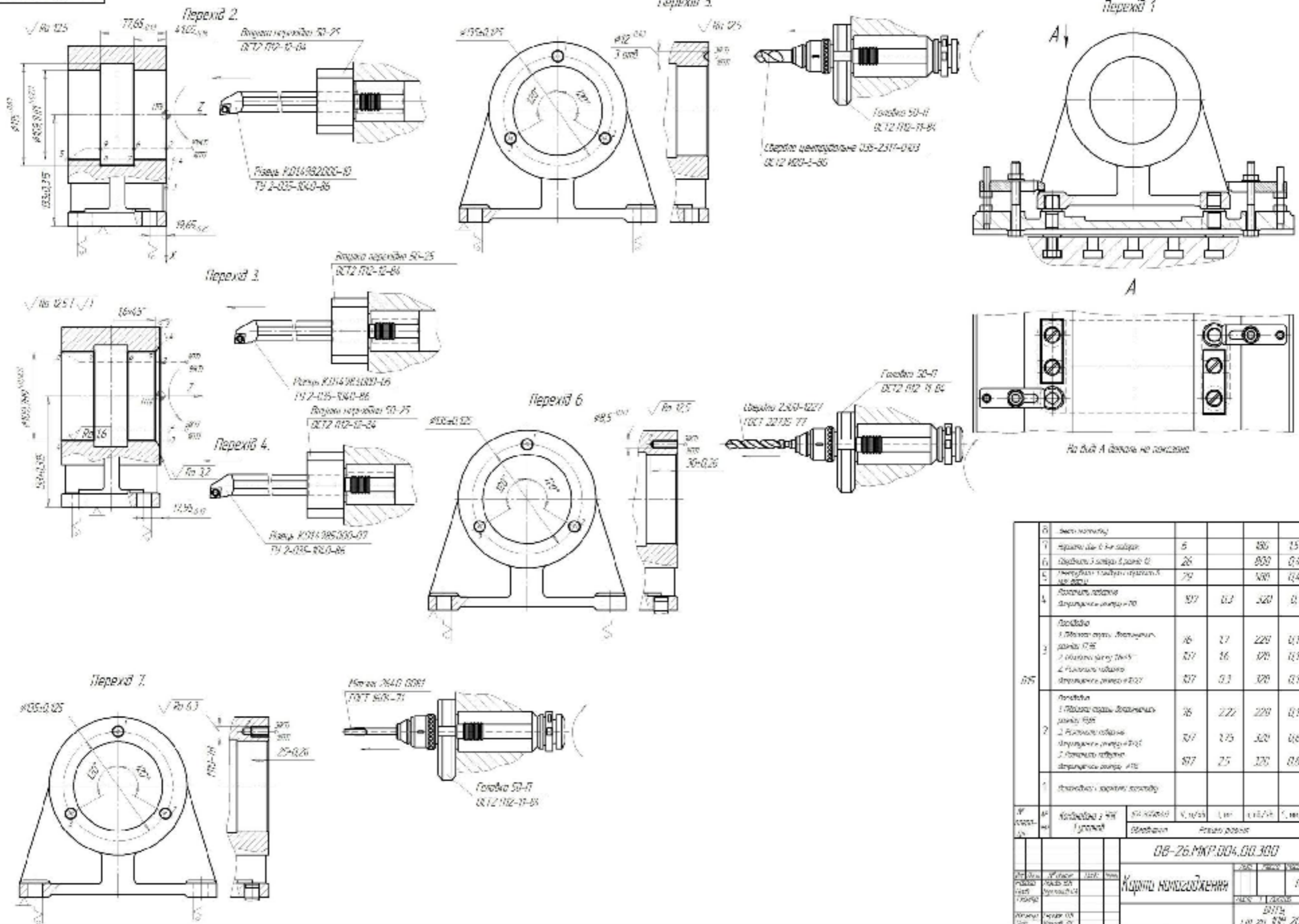


Похідний граф-дерево



Значення припусків, мм

Припуск	$Z_4$	$Z_{25}$	$Z_6$	$Z_{20}$	
Граничне значення	$Z_{max}$	2,22	1,62	2,22	1,62
	$Z_{min}$	3,62	1,7	3,62	1,7



8	Болт нормальний				
7	Гайка діа 6-16 стандарт	6		380	15
6	Шпатель 3-серія 3-парні 02	26		800	0,17
5	Шпатель центральний 105-2311-0103	79		500	0,41
4	Болт нормальний Діаметр номінальний = 10	87	0,3	320	0,1
3	Гайка діа 6-16				
	1. Болт нормальний діаметр номінальний = 10	16	1,7	220	0,1
	2. Болт нормальний діаметр номінальний = 10	87	16	320	0,1
2	Гайка діа 6-16				
	1. Болт нормальний діаметр номінальний = 10	87	0,3	320	0,1
	2. Болт нормальний діаметр номінальний = 10	87	2,5	320	0,8
1	Гайка діа 6-16				
	1. Болт нормальний діаметр номінальний = 10	87	2,5	320	0,8

№	Код	Назва	К-ть	Висота	Ширина	Глибина	Маса
1	08-26.MKP.004.00.300	Корпус насосно-заборний	1				17
08-26.MKP.004.00.300							
Корпус насосно-заборний							
D175							
100 20 50 20							



**ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ШОРСТКОСТІ  
ПРИ РОЗТОЧУВАННІ ЦЕНТРАЛЬНОГО ОТВОРУ ДЕТАЛІ «КОРПУС ПІДШИПНИКА 04.15.008В»**

(продовження)

Для оцінки впливу обраних факторів на параметр оптимізації і математичного опису розглядуваного процесу математична модель має вигляд

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \quad (1)$$

Після розрахунку всіх коефіцієнтів і нехтування статистично незначущих коефіцієнтів отримано

$$\begin{aligned} \hat{y} &= b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 = \\ &= 4,506 - 1,794x_1 + 2,416x_2 + 1,34x_3 - 0,684x_1x_2 - 0,236x_1x_3 + 1,179x_2x_3 - 0,358x_1x_2x_3. \end{aligned} \quad (2)$$

або у розгорнутому вигляді з використанням натуральних значень факторів

$$\begin{aligned} Ra &= 4,506 - 1,794 \frac{v - 224,51}{120,89} + 2,416 \frac{S - 0,45}{0,35} + 1,34 \frac{t - 1,55}{1,45} - 0,684 \left( \frac{v - 224,51}{120,89} \right) \left( \frac{S - 0,45}{0,35} \right) - 0,236 \left( \frac{v - 224,51}{120,89} \right) \left( \frac{t - 1,55}{1,45} \right) + \\ &+ 1,179 \left( \frac{S - 0,45}{0,35} \right) \left( \frac{t - 1,55}{1,45} \right) - 0,358 \left( \frac{v - 224,51}{120,89} \right) \left( \frac{S - 0,45}{0,35} \right) \left( \frac{t - 1,55}{1,45} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Оскільки  $F_p = 0,01 < F_{табл} = 4,49$ , то модель є адекватною.

Рівняння (3) адекватне, тому його можна використовувати як інтерполяційну формулу для обчислення величини  $Ra$ , а також для визначення раціональних значень режимів різання. Отримані за рівнянням (3), апроксимовані лінійні залежності шорсткості  $Ra$  від режимів різання показано на рис. 1-3.

**ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ШОРСТКОСТІ  
ПРИ РОЗТОЧУВАННІ ЦЕНТРАЛЬНОГО ОТВОРУ ДЕТАЛІ «КОРПУС ПІДШИПНИКА 04.15.008В»  
(продовження)**

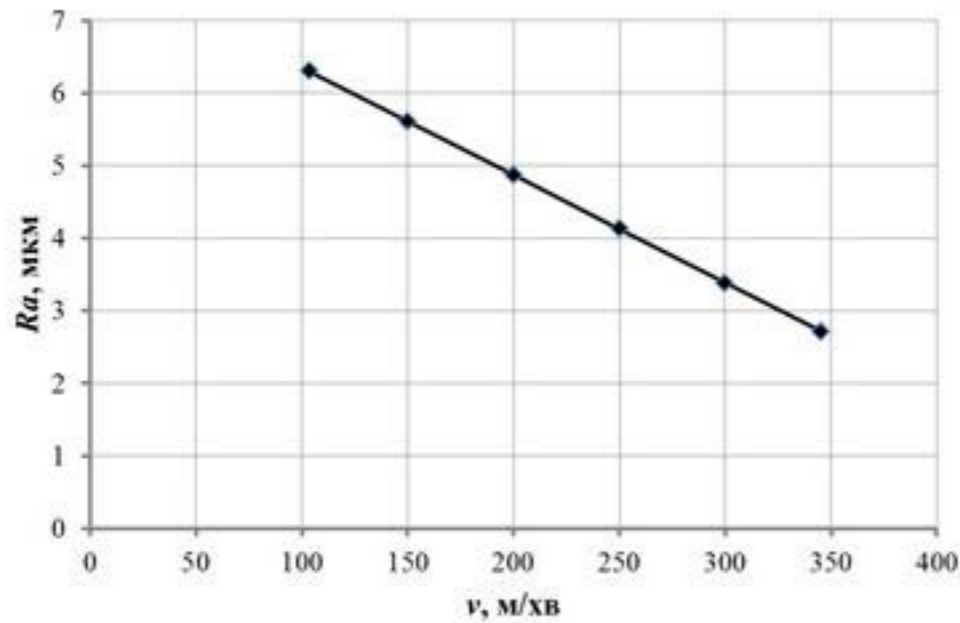


Рисунок 1 – Залежність шорсткості  $Ra$  від швидкості різання  $v$

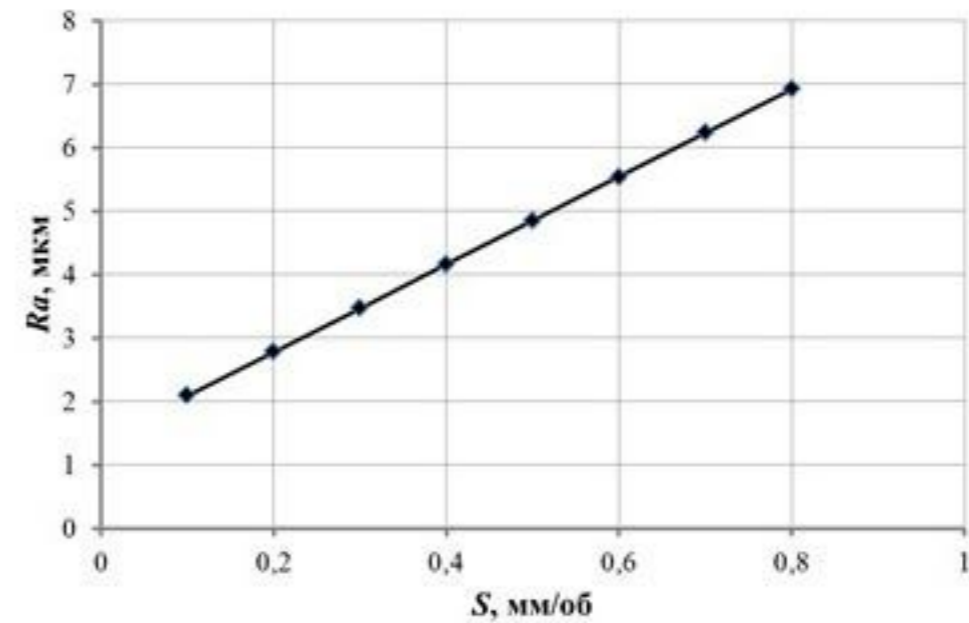


Рисунок 2 – Залежність шорсткості  $Ra$  від подачі  $S$

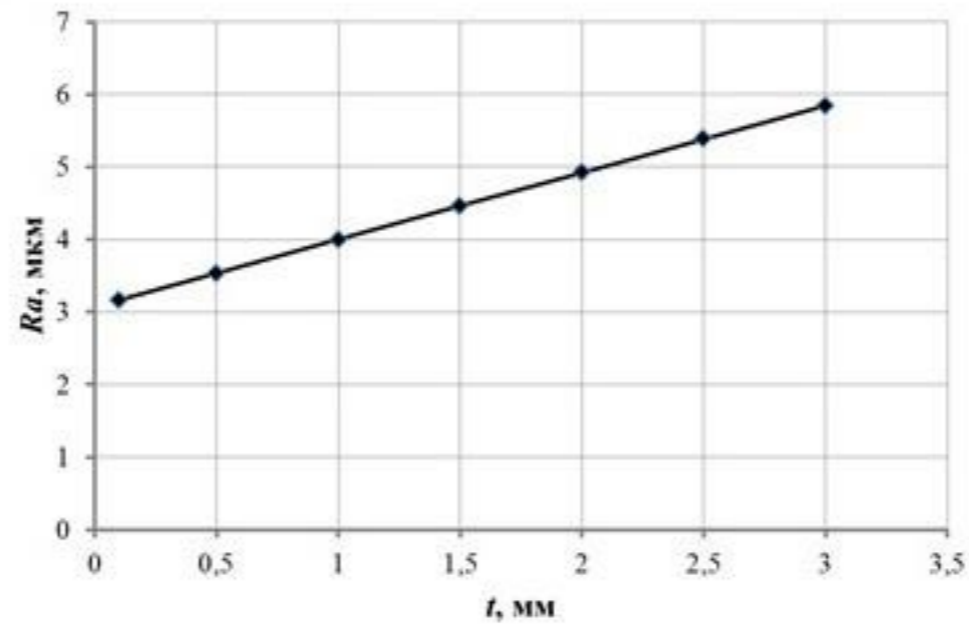
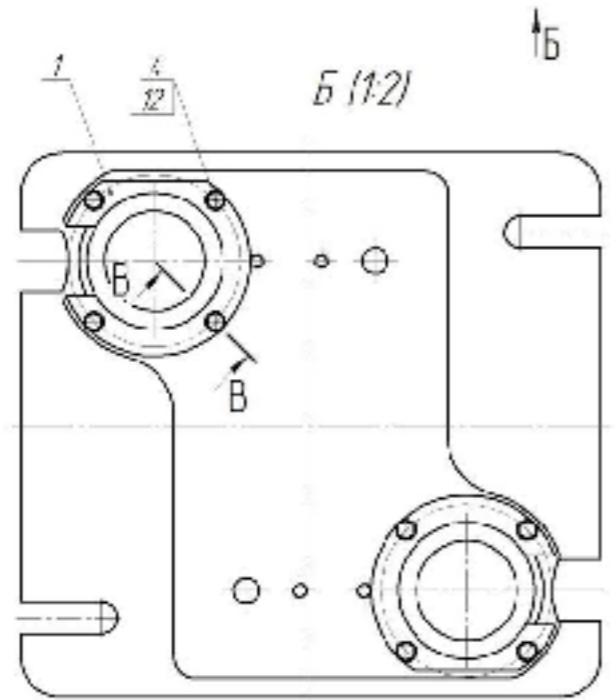
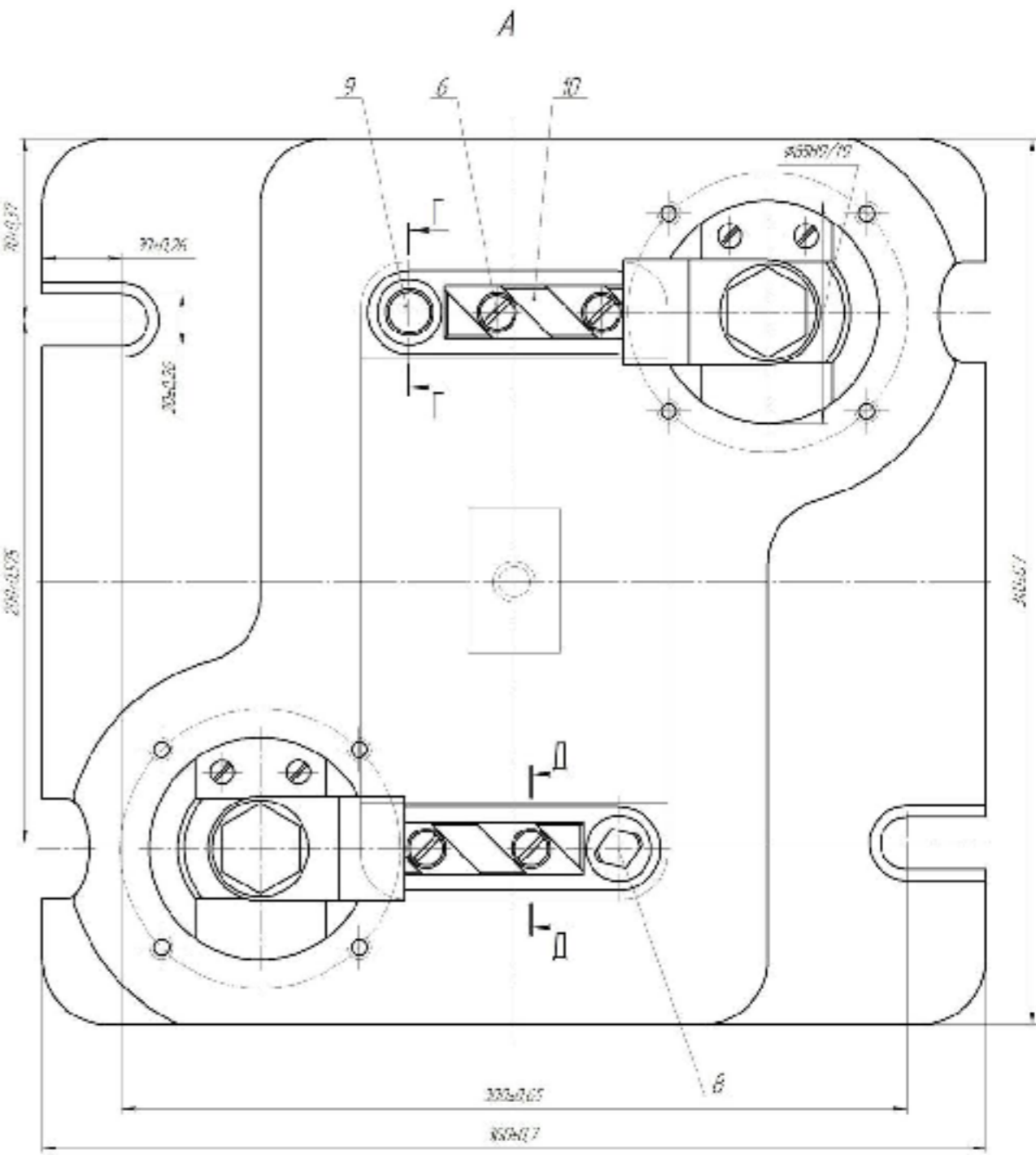
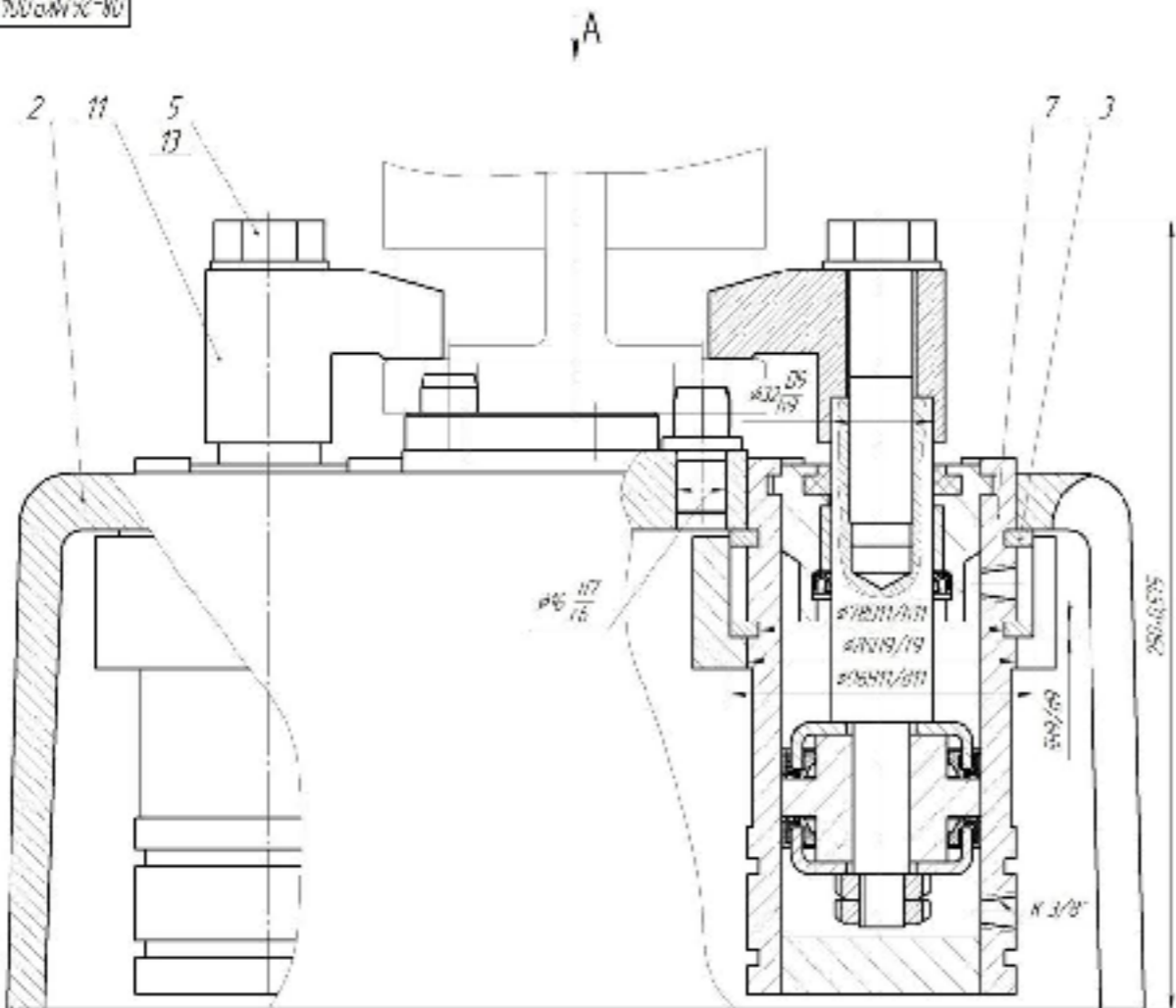
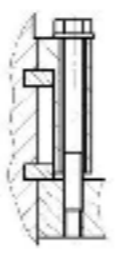


Рисунок 3 – Залежність шорсткості  $Ra$  від глибини різання  $t$

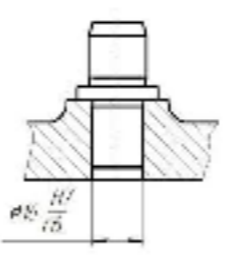
КД 000107000-01/002-80



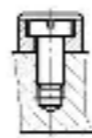
B-B



F-F



D-D

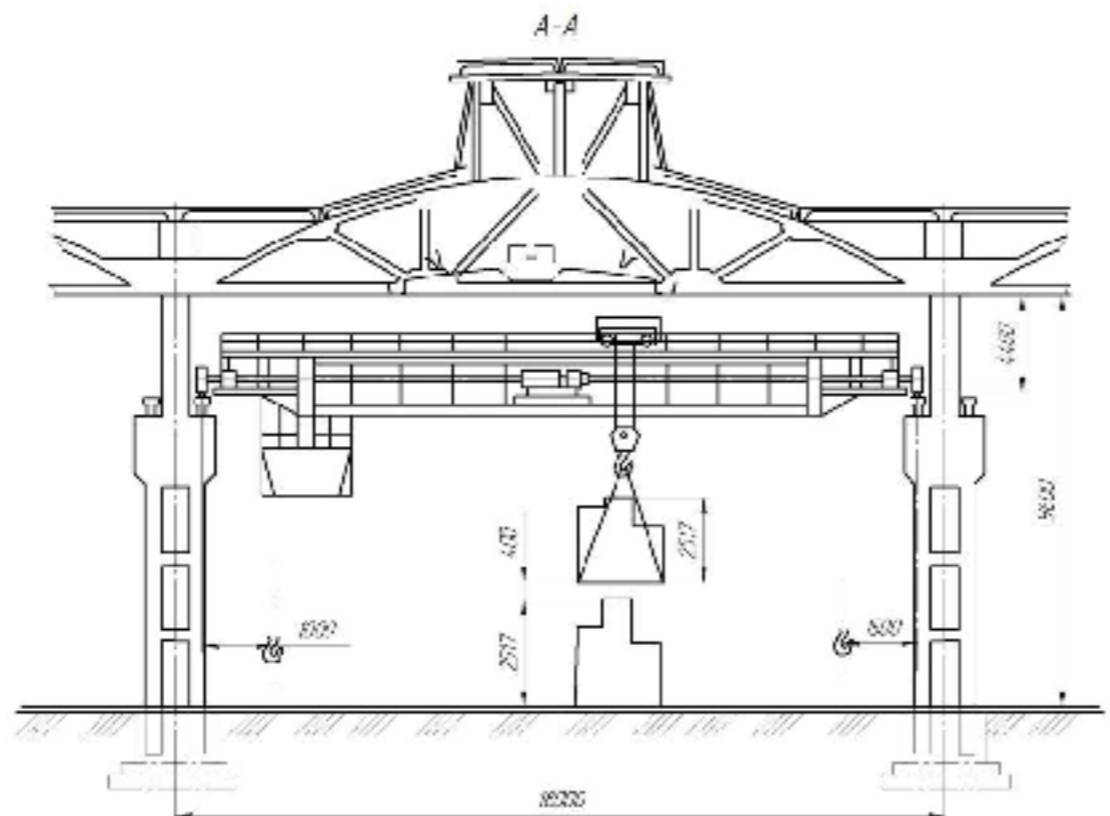
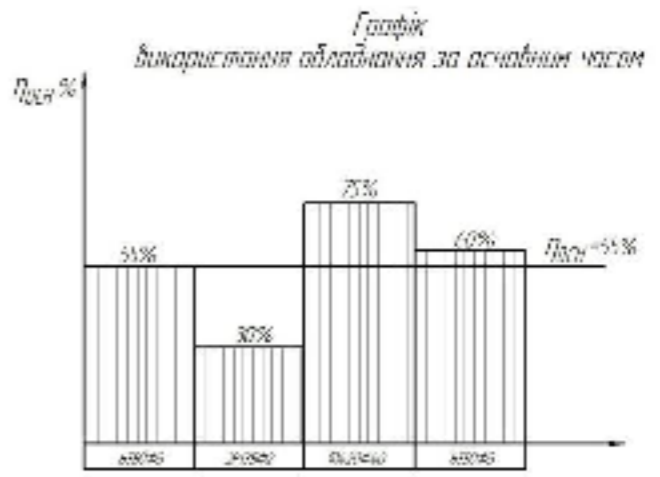
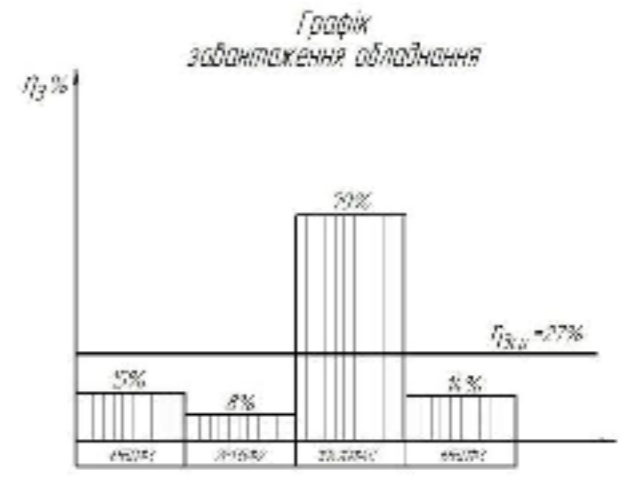
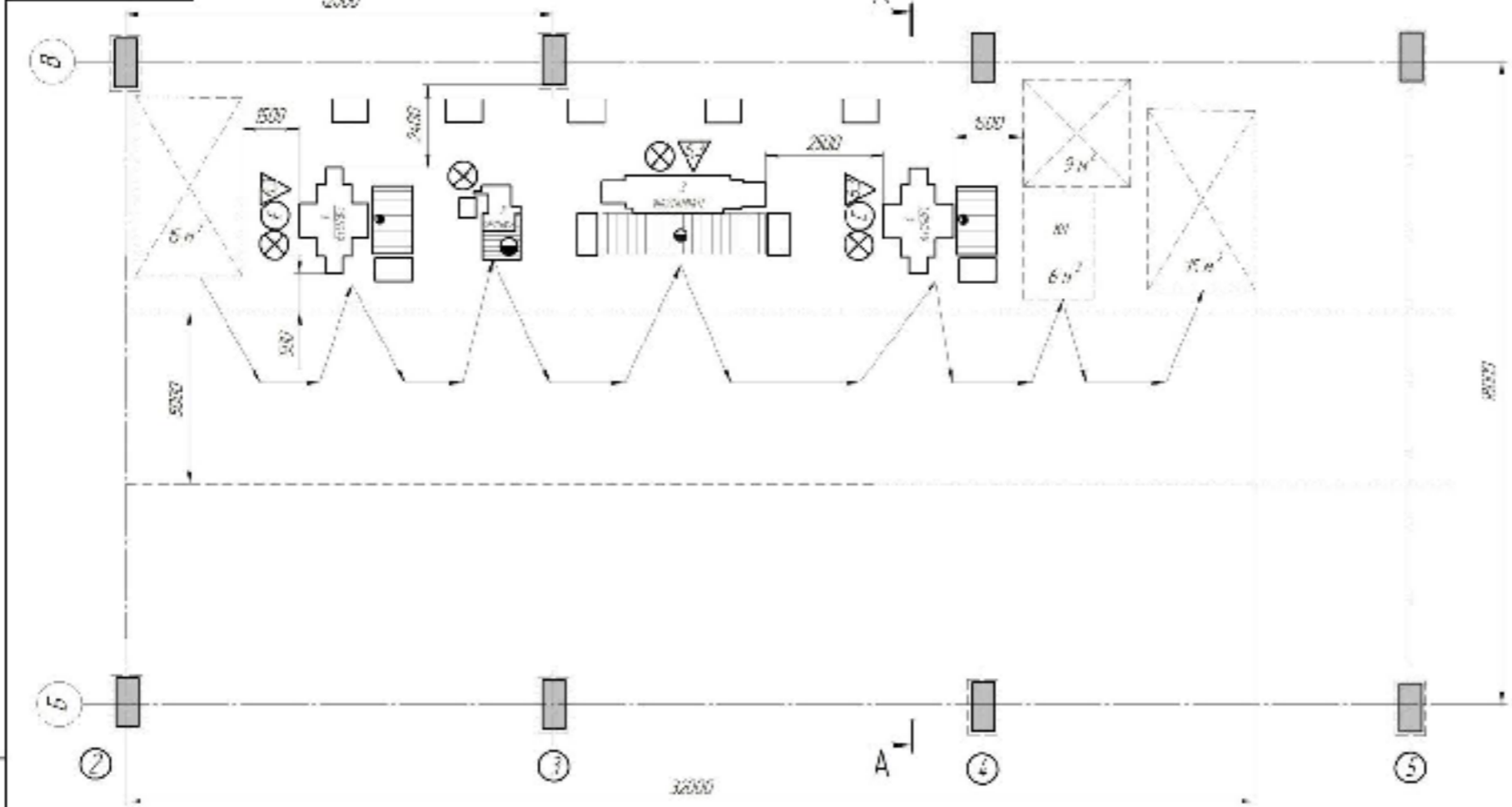


1. Прикладана використовуватися на сталі фрезерованої верстата з ЧФ метал СТ20П1
2. Початковий пази в зображенні: Н12 - 12
3. Товщина паза в пазах:  $\tau = 0,73$
4. Відстань, перпендикулярна площині паза:  $h/c = 0,5$
5. Максимальна кількість витків:  $m = 12$

				09-26.МКР.004.01000 ЕК			
дт	дв	дп	дт	дт	дт	дт	дт
дт	дт	дт	дт	дт	дт	дт	дт
дт	дт	дт	дт	дт	дт	дт	дт
Прикладана використовується на сталі фрезерованої верстата з ЧФ метал СТ20П1							11
0112							10 20 30 40 50
10 20 30 40 50							10 20 30 40 50



08-26.MK.004.00.500 B.3



- Технічні характеристики обладнання
1. Понар. Вантажі:
    - затяжний - 85 м<sup>3</sup>
    - баранівна - 125 м<sup>3</sup>
    - дерева - 45 м<sup>3</sup>
  2. Кількість працівників:
    - робочий особняк - 6
    - дільничний - 1
    - ІП - 1
    - середній - 1
  3. Виробничий час - 4

08-26.MK.004.00.500 B.3		Відомості про виконавця		175
№ проєкту	№ стадії	№ аркуша	№ аркуша	№ аркуша
1	1	1	1	1
01/17				1/17
1.01.2017				1/17

*Техніко-економічні показники удосконаленої технології механічної  
обробки та дільниці*

<i>Показники</i>	<i>По базовому варіанту</i>	<i>По удосконаленому технологічному процесу</i>
<i>Маса деталі кг</i>	<i>11,9</i>	<i>11,9</i>
<i>Маса заготовки кг</i>	<i>14,03</i>	<i>15,7</i>
<i>Коефіцієнт точності маси заготовки</i>	<i>0,85</i>	<i>0,76</i>
<i>Собівартість заготовки грн.</i>	<i>317,32</i>	<i>237,87</i>
<i>Основний час обробки деталі хв.</i>	<i>34,6</i>	<i>20,72</i>
<i>Штучно-калькуляційний час обробки деталі хв.</i>	<i>87</i>	<i>30,914</i>
<i>Середній розряд робітників</i>	<i>5,5</i>	<i>3</i>
<i>Кількість верстатів шт.</i>	<i>10</i>	<i>4</i>
<i>Основна площа, зайнята верстатами м<sup>2</sup></i>	<i>300</i>	<i>120</i>
<i>Кількість робітників чол.</i>	<i>10</i>	<i>4</i>
<i>Капітальні вкладення, грн.</i>	<i>-</i>	<i>1643776,76</i>
<i>Собівартість деталі, грн.</i>	<i>520,24</i>	<i>361,28</i>
<i>Прибуток, грн.</i>	<i>-</i>	<i>410018,1</i>
<i>Термін окупності капітальних вкладень, років</i>	<i>-</i>	<i>3,99</i>