

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

**Пояснювальна записка**

до магістерської кваліфікаційної роботи  
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

на тему:

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ  
ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КУЛАЧКІВ У6.02027А»**

08-26.МКР.001.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, гр. 1ПМ-18м  
спеціальності 131 – Прикладна механіка

Басистюк Р. Ю. \_\_\_\_\_

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТАМ

Дусанюк Ж. П. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ р.

Рецензент: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ р.

Вінниця ВНТУ – 2019 рік

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень – «Магістр»  
Спеціальність 131 – «Прикладна механіка»

ПОГОДЖЕНО  
Директор \_\_\_\_\_  
(назва підприємства)  
\_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище директора)  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Зав. кафедри ТАМ  
д.т.н., проф. Л.Г.Козлов  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

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

Басистюку Роману Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи (МКР): Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А»

керівник МКР Дусанюк Жанна Павлівна, к.т.н., доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року №\_\_.

2. Строк подання студентом МКР: \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до МКР: креслення деталі «Корпус кулачків У6.02027А»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 4500 шт.; довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А»; порівняльний аналіз точності обробки отвору розточуванням на токарному верстаті з ручним та числовим програмним керуванням; розрахунок елементів дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А»; економічна доцільність удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А»; охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): деталь «Корпус кулачків У6.02027А» (А3); 3D-модель деталі (А1); заготовка деталі (А4); маршрут механічної обробки (2А1); розмірний аналіз технологічного процесу (А1); карта налагоджень на 010 операцію (А1); порівняльний аналіз точності обробки отвору розточуванням на токарному верстаті з ручним та числовим програмним керуванням (4А1); план дільниці механічного цеху (А1); техніко-економічні показники (А1)

## 6. Консультанти розділів МКР

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Дусанюк Ж. П., доцент кафедри ТАМ		
Економічна частина	Руда Л. П., доцент кафедри ЕПВМ		
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Віштак І. В., доцент кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Басистюк Р. Ю.

Керівник МКР

\_\_\_\_\_

(підпис)

Дусанюк Ж. П.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	8
ABSTRACT	9
ВСТУП	10
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»	13
1.1 Сутність технічної проблеми	13
1.2 Характеристика об'єкту виробництва, його службове призначення та технічні умови на виготовлення	13
1.3 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Корпус»	15
1.4 Вибір та критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	17
1.5 Характеристика удосконаленого технологічного процесу	18
1.6 Економічна доцільність розробки удосконаленого технологічного процесу	20
1.7 Розробка технічного завдання на МКР	22
1.8 Висновки	22
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КУЛАЧКІВ У6.02027А»	24
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі	24
2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт	28
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки	38
2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь	50
2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз	51
2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу	58



2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат	62
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу	64
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів	71
2.10 Призначення режимів різання	75
2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання	80
2.12 Визначення технічних норм часу	81
2.13 Висновки	85
3 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ОТВОРУ РОЗТОЧУВАННЯМ НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ З РУЧНИМ ТА ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ	87
3.1 Мета, завдання дослідження	87
3.2 Результати дослідження	88
3.3 Висновки	100
4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КУЛАЧКІВ У6.02027А»	102
4.1 Розрахунок приведеної програми	102
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження	106
4.3 Побудова графіків завантаження обладнання	109
4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці	110
4.5 Висновки	112
5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КУЛАЧКІВ У6.02027А»	113
5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки	113
5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А»	120
5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції	126

5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу	130
5.5 Розрахунок величини чистого прибутку	131
5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення	132
5.7 Висновки	134
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	135
6.1 Аналіз умов праці	135
6.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	135
6.3 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи	141
6.4 Пожежна безпека	142
6.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях	143
6.6 Висновки	148
ВИСНОВКИ	149
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	151
ДОДАТКИ	154

## АНОТАЦІЯ

Басистюк Р. Ю. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» : дисертація на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістр за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» / Р. Ю. Басистюк. – Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2019.

Метою роботи є удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» на основі прийняття прогресивних рішень при проектуванні технологічного процесу механічної обробки з використанням сучасного автоматизованого, високопродуктивного обладнання, що забезпечує необхідну точність, якість продукції при зменшенні її собівартості.

Для досягнення поставленої мети проведено огляд технологій виготовлення деталей класу «Пустотілі циліндри»; виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» з використанням сучасних верстатів з ЧПК та вибір кращого з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки; визначено режими різання та норми часу; розраховано кількість обладнання та працівників; удосконалено ділянку механічної обробки.

В науковій частині роботи проведено дослідження та порівняльний аналіз показників точності (сумарної похибки) при остаточній обробці розточуванням головного отвору деталі «Корпус кулачків У6.02027А» на верстаті з ручним керуванням та з числовим програмним керуванням, що дозволило зробити відповідні висновки.

В економічній частині роботи розраховані капітальні вкладення, собівартість механічної обробки заготовки деталі, термін окупності та економічний ефект, одержаний в результаті удосконалення технологічного процесу та ділянки механічної обробки.

В роботі також розроблено заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

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

## ABSTRACT

Basystiuk R. Yu. Improvement of the technological process of mechanical processing of a workpiece of the type «Cam body U6.02027A» : dissertation for the educational qualification level master's degree in specialty 131 «Applied mechanics» / Basystiuk R. Yu. – Vinnitsia National Technical University. – Vinnytsia, 2019.

The purpose of the work is to improve the technological process of machining workpiece type «Cam body U6.02027A» on the basis of making progressive decisions in the design of technological process of machining using modern automated, high-performance equipment that provides the required accuracy, quality of production while reducing its cost.

To achieve this goal, a review of technologies for manufacturing parts of the class «Hollow cylinders»; made a variant choice and feasibility study of the method of manufacturing the workpiece; variants of a route of mechanical processing of details of the type «Cam body U6.02027A» using modern machine tools with a CNC and the choice of the best of them at the minimum of the resulted costs are developed; dimensional-accurate modeling of advanced technological process of machining is carried out; cutting modes and time limits are defined; the amount of equipment and workers is calculated; machining section has been improved.

In the scientific part of the study, a study and comparative analysis of the accuracy (total error) at the final machining of the main hole of the «Cam body U6.02027A» on a machine with manual control and numerical control, which allowed us to draw appropriate conclusions.

In the economic part of the work capital investments, cost of machining workpiece details, payback period and economic effect obtained as a result of improvement of technological process and machining section are calculated.

Occupational health and safety measures have also been developed.

The graphic part illustrates, in an illustrative way, the materials presented in the explanatory note.

## ВСТУП

**Актуальність.** Сучасний стан машинобудування України потребує суттєвого оновлення матеріально-технічної бази і впровадження нових сучасних високопродуктивних технологічних процесів, у т. ч., механічної обробки. Актуальною задачею є забезпечення конкурентноздатності виробів і наближення їх номенклатури до світового рівня. Розв'язання цих задач вимагає значних інвестицій і впровадження нових технологічних процесів на основі застосування верстатів з ЧПК та іншого автоматизованого обладнання, різальних інструментів з нових надтвердих інструментальних матеріалів, розширення сфери використання роботизованих верстатних комплексів з керуванням від ЕОМ. Це дозволяє підвищити точність обробки, скоротити витрати часу та знизити собівартість машинобудівних виробів.

Тільки сучасні технології, побудовані на основі прогресивних підходів та рішень, забезпечують можливість виготовлення якісної продукції, високої продуктивності праці та низької собівартості виробів.

**Мета і завдання дослідження.** Мета магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» на основі прийняття прогресивних рішень при проектуванні технологічного процесу механічної обробки з використанням сучасного автоматизованого, високопродуктивного обладнання, що забезпечує необхідну точність, якість продукції при зменшенні її собівартості.

Для досягнення поставленої мети повинні бути вирішені наступні **завдання:**

- провести огляд технології виготовлення деталей класу «Пустотілі циліндри»;
- на основі робочого креслення деталі виконати якісний та кількісний аналіз технологічності конструкції деталі;
- встановити тип виробництва та форму організації роботи;
- вибрати метод та оптимальний спосіб виготовлення заготовки, виконавши відповідне техніко-економічне обґрунтування;
- вибрати методи обробки поверхонь деталі «Корпус кулачків У6.02027А»;
- обґрунтувати вибір чистових та чорнових технологічних баз;



- розробити удосконалені варіанти маршруту механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А»;
- вибрати кращий з розроблених маршрутів механічної обробки за мінімумом приведених витрат;
- провести розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу механічної обробки деталі;
- розрахувати режими різання;
- виконати нормування операцій технологічного процесу;
- виконати порівняльний аналіз показників точності, що забезпечуються тонким розточуванням на токарному верстаті з ЧПК;
- встановити приведену програму виробів;
- розрахувати кількість обладнання та працюючих, що необхідні для забезпечення механічної обробки деталі;
- провести розрахунок економічної доцільності впровадження удосконаленого ТП;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

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

**Предмет дослідження** – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А».

**Методи дослідження.** Метод теорії розмірних ланцюгів, який дозволив виконати розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А»; метод лінійного програмування (симплекс-метод), який дозволив визначити оптимальні режими різання.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Отримав подальший розвиток метод дослідження та порівняльного аналізу показників точності, які забезпечуються остаточним розточуванням головного отвору на токарному верстаті з ручним керуванням та верстаті з числовим програмним керуванням.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» на основі прийняття прогресивних рішень при проектуванні



технологічних процесів механічної обробки, впровадження сучасного автоматизованого обладнання, що забезпечує необхідну точність, якість оброблених деталей, зменшує їх собівартість при суттєвому скороченні виробничих площ. При цьому запропоновані такі рішення:

- варіантним вибором встановлено, що найбільш доцільними способами виготовлення заготовки є штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП) та виготовлення заготовки із прокату. Техніко-економічні розрахунки показали, що економічно доцільніше виготовляти заготовку із прокату, оскільки вартість заготовки при цьому складає 66,63 грн., що менше у порівнянні з штампуванням на КГШП – 67,1 грн.;

- розроблено удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» з використанням високопродуктивних верстатів з ЧПК; техніко-економічний аналіз показав, що впровадження удосконаленого технологічного процесу в виробництво є економічно доцільним;

- для удосконаленого маршруту механічної обробки спроектовано ділянку механічної обробки; розраховано приведену програму для роботи ділянки в середньосерійному виробництві, яка складає 51068 шт.; ділянка механічної обробки повинна містити 6 верстатів, кількість основних робітників, що її обслуговують – 8 чол., всього працівників на ділянці – 13 чол.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення і результати роботи доповідалися й обговорювалися на конференції:

- XLVIII науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ (м. Вінниця, ВНТУ, 13-15 березня 2019 р.).

*Публікації.* Опубліковано тезу доповіді:

- Порівняльний аналіз точності обробки отвору остаточним розточуванням на токарному верстаті з ручним та числовим програмним керуванням / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, Р. Ю. Басистюк, К. Ю. Казарян // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. – Електрон. текст. дані. – 2019. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/view/7410>.

## 1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»

### 1.1 Сутність технічної проблеми

Темою МКР є удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А». В процесі виконання роботи поставлена також задача проектування дільниці механічного цеху для виготовлення деталей типу «Корпус кулачків У6.02027А». Недоліком в організації робіт на базовій дільниці механічного цеху є великий об'єм ручних робіт, низький рівень механізації та автоматизації, відсутність розробленої технологічної документації, використання застарілого, зношеного універсального обладнання, оснащення. Тому актуальним є вирішення задачі удосконалення технологічного процесу з урахуванням сучасних досягнень в галузі технології машинобудування, з використанням сучасних засобів проектування та оформлення документації. Це дасть можливість підвищити якість виготовляємих деталей, підвищити продуктивність праці, знизити собівартість продукції, організувати ефективну дільницю механічного цеху.

### 1.2 Характеристика об'єкту виробництва, службове призначення та технічні умови на виготовлення

Розглядувана деталь «Корпус кулачків У6.02027А» виготовляється із Сталі 45 ГОСТ 1050-88, маса деталі 1,76 кг. Службове призначення – приєднання кулачків по фасонному пазу.

Основні конструкторські бази деталі – це зовнішня циліндрична поверхня  $\varnothing 74,9d8_{(-0,146)}^{-0,100}$  та торцева поверхня (правий торець).

Допоміжні конструкторські бази деталі – це  $M64 \times 2-7H$ ,  $\varnothing 60H9_{(0)}^{+0,074}$   $паз10H8$ ,  $паз12H9$ , фасонний паз.

Кріпильні отвори:  $M6-7H$ ;  $M4-7H$ .

Вільними поверхнями є: фаски ( $1 \times 45^\circ, 2 \times 45^\circ$ ), канавки для виходу інструмента (3,4).

У відповідності з призначенням поверхонь до них ставляться такі вимоги:

- Радіальне биття  $\varnothing 56H9(+0,074)_0, \varnothing 60H9(+0,074)_0$  –  $\sqrt{\text{0,08}} \text{ Б}$ .
- Симетричність розташування паза 12H8 –  $\sqrt{\text{0,1}} \text{ Б}$ .
- Паралельність розташування паза 10H8 –  $\sqrt{\text{0,1}} \text{ Б}$ .
- Симетричність та паралельність розташування паза 10H8 –  $\sqrt{\text{0,1}} \text{ Д}$ ,  $\sqrt{\text{0,1}} \text{ Д}$ .

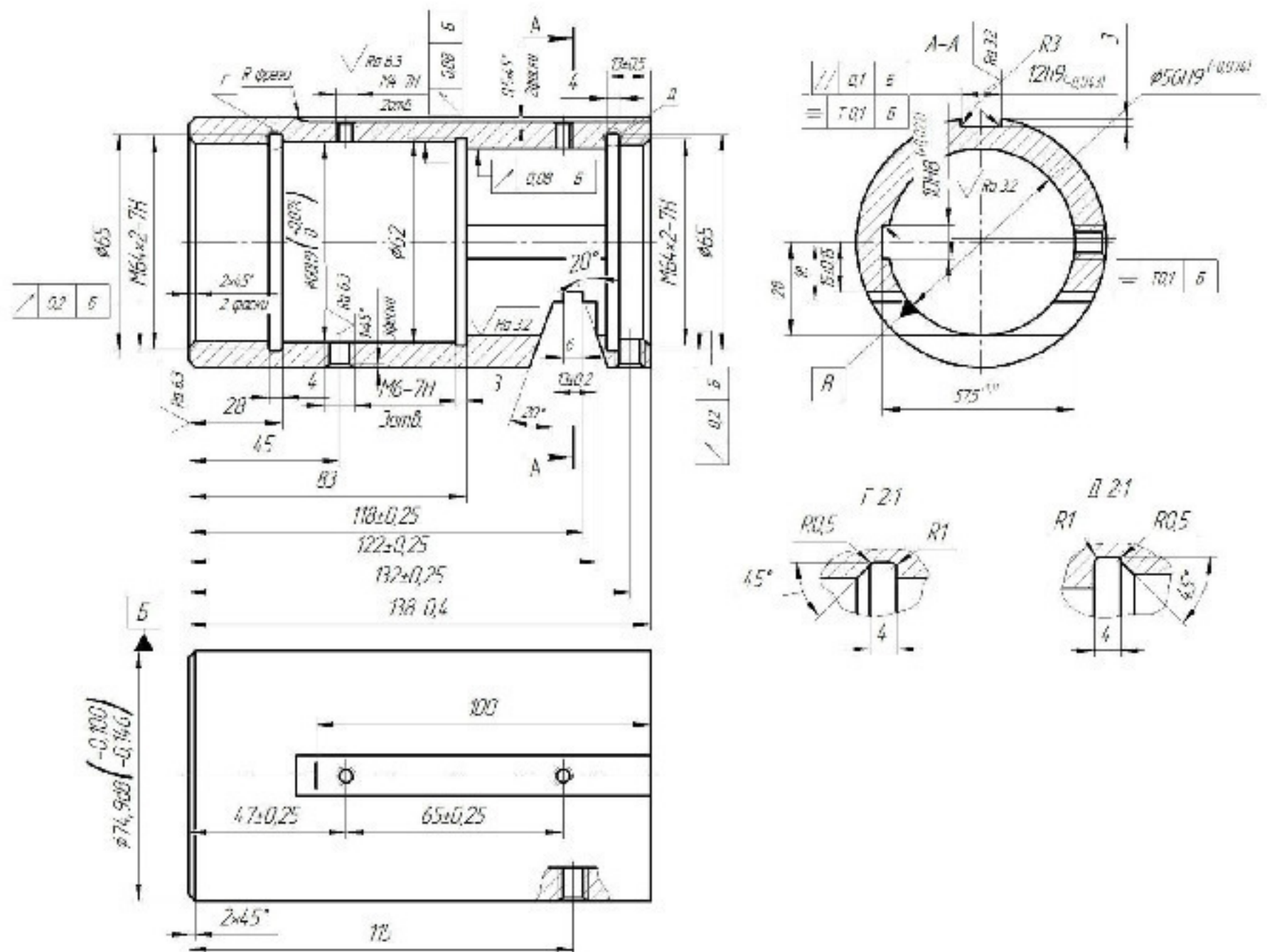


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі «Корпус кулачків У6.02027А»



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

Технологічний процес механічної обробки деталі «Корпус кулачків У6.02027А» розробляємо на основі типових або групових ТП обробки подібних деталей в залежності від типу виробництва [1].

Задана деталь «Корпус кулачків У6.02027А» за своєю конфігурацією відноситься до класу «Пустотілі циліндри», який включає в себе втулки різноманітної конфігурації, а також гільзи, стакани, циліндри гідро- та пневмосистем, пустотілі корпусні деталі типу розглядуваної і т. п. Тип виробництва середньосерійний.

При розробленні планів і методів обробки поверхонь, розробляємо маршрут механічної обробки користуючись типовим ТП обробки подібних деталей. Типізація технологічного процесу механічної обробки вносить одноманітність в технологію виготовлення деталей даного класу, скорочує кількість різних варіантів обробки до мінімуму в залежності від типу виробництва, скорочує термін проектування і покращує якість розробленого ТП.

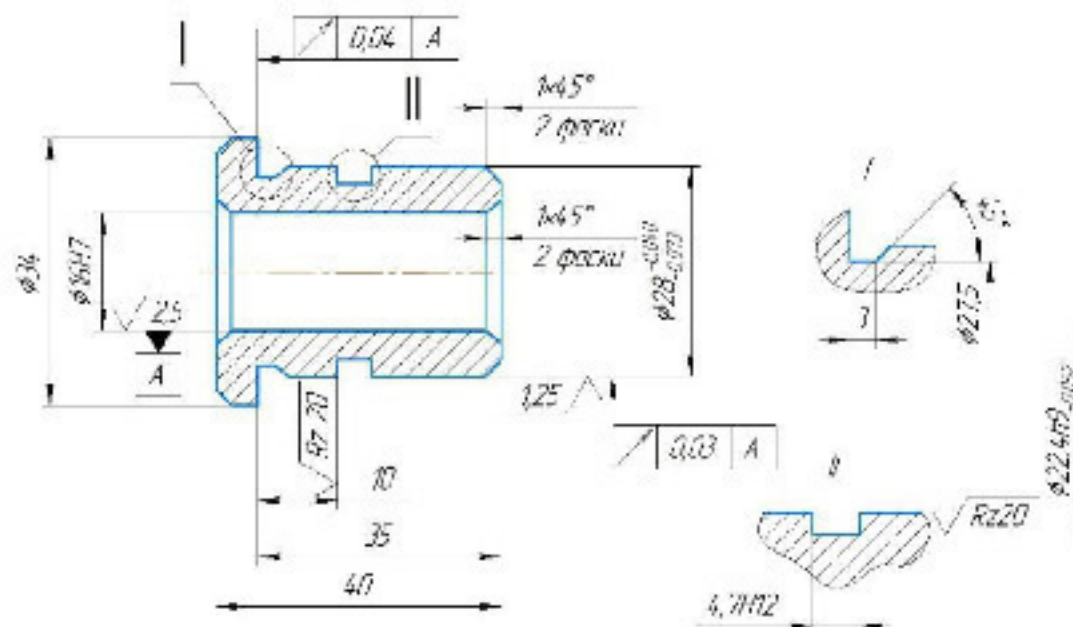


Рисунок 1.2 – Ескіз деталі типу «Втулка» (клас «Пустотілі циліндри»)

Таблиця 1.1 – Маршрут механічної обробки типового представника [1]

Операція	Зміст та найменування операції	Верстат, обладнання	Пристосування
1	2	3	4
005	Правити пруток		
010	Відрізати групову заготовку $\varnothing 34$ в розмір 2000		

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
015	Центрувати торець під свердління, свердли́ти і зенкерувати отвір $\varnothing 16H7$ до $\varnothing 15,76+0,11$ під розвертування, точити поверхню $\varnothing 28e7$ до $\varnothing 28-0,13$ під шліфування, проточити канавки $b=3$ і $b=4,7H12$ , фаску остаточно. Відрізати деталь в розмір 40,5.	Токарний автомат 1E140	Наладка
020	Підрізати другий торець в розмір 40, точити і розточити фаски. Розвернути отвір $\varnothing 16H7(+0,018)$ остаточно.	Токарно-револьверний 1П340ПЦ	Патрон цанговий. Вкладиш $\varnothing 28$
025	Шліфувати поверхню $\varnothing 28e8\begin{matrix} -0,040 \\ -0,073 \end{matrix}$ , шліфувати торець остаточно.	Круглошліфувальний 3М153Е	Оправка, центри, хомут
030	Промити деталь	Миюча машина	
035	Технічний контроль		
040	Нанесення антикорозійного покриття		
045	Технічний контроль		
050	Нанесення антикорозійного покриття		

Порівнюючи конструкцію деталі типової та розглядуваної «Корпус кулачків У6.02027А», можна зробити наступні висновки:

- розглядувана деталь має значно більші габаритні розміри;
- по точності оброблюваних поверхонь розглядувана деталь, по внутрішній поверхні має нижчу точність ніж типова, що зменшить кількість ступенів механічної обробки, а значить і собівартість обробки, по зовнішній поверхні вимоги точності (8 квалітет) є однаковими;
- найнижча шорсткість зовнішньої оброблюваної поверхні  $Ra 1,25$  мкм, в розглядуваної деталі  $Ra 1,6$  мкм, по внутрішній поверхні в типової деталі  $Ra 2,5$  мкм, в розглядуваної  $Ra 3,2$  мкм. Це відповідно вплине на вибір режимів різання (подачі). При обробці розглядуваної деталі подачу можна призначити трохи більшу, що приведе до скорочення часу обробки, а значить і собівартості;
- по конструкції розглядувана деталь є складнішою (наявність шпонкового паза по внутрішній поверхні, фасонного і шпонкового паза, різьбових отворів в радіальному і осьовому напрямках по зовнішній поверхні), що відповідно призводить до необхідності виконання операцій по їх обробці, а значить збільшується час і собівартість обробки;

- верстати, що використовуються в типовому технологічному процесі (токарний автомат, токарно-револьверний, шліфувальний) недоцільно використовувати для розглядуваної деталі. Пропонується використання верстатів з ЧПК для токарної, фрезерної, свердлильної обробки та протягувальний верстат для обробки пазів.

#### 1.4 Вибір та критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

Базовий технологічний процес механічної обробки деталі «Корпус кулачків У6.02027А», що використовується на підприємстві наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Маршрут механічної обробки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» (базовий)

№ операції	Назва операції	Верстат
1	2	3
005	Токарна	Токарний напівавтомат 1А720
010	Токарно-револьверна	Токарно-револьверний 1341
015	Токарно-револьверна	Токарно-револьверний 1341
020	Токарно-револьверна	Токарно-револьверний 1341
025	Токарно-револьверна	Токарно-револьверний 1341
030	Довбальна	Довбальний 7А420
035	Фрезерна	Вертикально-фрезерний 6А12Р
040	Свердлильна	Настольно-свердлильний НС-12
045	Свердлильна	Настольно-свердлильний НС-12
050	Свердлильна	Настольно-свердлильний НС-12
055	Різьбонарізна	Різьбонарізний 5А05
060	Різьбонарізна	Різьбонарізний 5А05
065	Токарна	Токарно-гвинторізний 1К62
070	Слюсарна	Верстак
075	Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3160
080	Контроль	

Позитивними сторонами даного технологічного процесу можна назвати використання недорогих і досить поширених металорізальних верстатів.



Але такий технологічний процес обробки можна охарактеризувати як верстатоемкий, бо використовуються верстати з ручним керуванням (всі верстати універсальні, крім токарного напівавтомата 1А720), часто виникає необхідність зміни баз, що в свою чергу викликає появу похибки установлення і зменшує продуктивність праці. Використання універсальних верстатів робить неможливим багатOVERSTATNE обслуговування і збільшує кількість робітників. Також виникає необхідність у використанні спеціальних пристосувань, так як у базовому варіанті технологічного процесу використовуються пристосування з ручним закріпленням деталі, що також призводить до збільшення штучно-калькуляційного часу обробки, а значить і собівартості виконання операцій.

## 1.5 Характеристика удосконалених технологічних процесів

### 1.5.1 Пропозиції щодо удосконалення технологічного процесу

Базовий технологічний процес включає 15 операцій, які побудовані за принципом диференціації, що вимагає використання великої кількості верстатів, робітників, площ.

Пропонується застосувати принцип концентрації операцій з використанням автоматизованого обладнання, а саме верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Це дасть можливість зменшити кількість операцій, верстатів, робітників, площ, підвищити якість оброблюваних деталей, зменшити їх собівартість.

Для токарної обробки пропонується застосувати верстати 16К20Т1, 1П420ПФ30, 160НТ, МК6801Ф3, для фрезерної – ЛТ260МФ3, протягування пазу виконати на горизонтально-протягувальному верстаті 7Б55У.

Удосконалений технологічний маршрут механічної обробки приведений в таблиці 1.3 – перший варіант. Другий варіант маршруту відрізняється тим, що на завершальному етапі обробки деталі для досягнення необхідної точності, шорсткості поверхонь використовується внутрішньо шліфувальний верстат

3A228Б та круглошліфувальний верстат з ЧПК 3М151Ф2 замість токарних верстатів з ЧПК підвищеної точності 160НТ та МК6801Ф3.

Таблиця 1.3 – Удосконалений маршрут механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А»

№ операції	Назва операції	Верстат
005	Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК 16К20Т1
010	Токарно-револьверна з ЧПК	Токарно-револьверний з ЧПК 1П420ПФ30
015	Токарно-револьверна з ЧПК	Токарно-револьверний з ЧПК 1П420ПФ30
020	Вертикально-фрезерна з ЧПК	Вертикально-фрезерний з ЧПК ЛТ260МФ3
025	Горизонтально-протягувальна	Горизонтально-протягувальний 7Б55У
030	Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК 160НТ
035	Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК МК6801Ф3
040	Контроль	

Недоліком запропонованих варіантів удосконаленого маршруту механічної обробки є необхідність придбання верстатів більшої вартості. Але це може швидко окупитися за рахунок зменшення собівартості обробки.

### 1.5.2 Характеристика ділянки механічної обробки

Згідно базового технологічного процесу на ділянці встановлено 15 верстатів. Їх обслуговування вимагає між операційного переміщення оброблюваних деталей, що призводить до збільшення допоміжних операцій (транспортування), а значить зростає об'єм роботи допоміжних робітників, що збільшує їх кількість. Крім того, необхідна більша кількість транспортних засобів, витрати на їх обслуговування зростають.

Велика кількість операцій, використовуваних верстатів, переустановлення деталей з одного робочого місця на інше призводить до виникнення похибки установлення та зниження точності обробки. В базовому технологічному процесі і, відповідно, на ділянці механічної обробки лише на першій операції (005)

використано автоматизований верстат – токарний напівавтомат 1A720, де вимагається від робітника лише встановлення, закріплення її, розкріплення, зняття деталі ручним способом та включення верстата, а решта роботи виконується в автоматичному режимі. На операціях 010-025 (4 операції) використовуються верстати токарно-револьверні 1341 з ручним керуванням. Операція 030 виконується на малопродуктивному довбальному верстаті з ручним керуванням 7A420. На операції 035 також використано універсальний фрезерний верстат 6A12P. Для виконання операцій 040-050 (3 операції) використано настольно-свердлильні верстати НС-12, операцій 050-055 (2 операції) – різьбонарізний 5A05, 065 – токарний 1K62, 070 – слюсарний верстак, 075 – круглошліфувальний 3160. Як показує аналіз використовуваного обладнання на ділянці механічної обробки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» моделі верстатів є досить застарілими. Виробнича площа, яку вони займають 300 м<sup>2</sup>. Витрати на утримання, експлуатацію цього обладнання (амортизаційні відрахування, затрати на електроенергію, ремонт, на змащувальні матеріали тощо) і площа, що вони займають значні.

Удосконалений маршрут механічної обробки передбачає використання всього 6 верстатів, з них 5 з ЧПК. З'являється можливість ввести багатOVERстатне обслуговування, зменшиться кількість робітників, площі, транспортні витрати. Ділянка буде значно компактнішою, робота ефективнішою.

## 1.6 Економічна доцільність розробки удосконаленого технологічного процесу

### 1.6.1 Визначення величини зменшення собівартості одиниці продукції

Величину зменшення собівартості одиниці продукції  $\Delta S$  при удосконаленні технологічного процесу можна розрахувати за формулою [2]:

$$\Delta S = \frac{(B_a - B_n \cdot K_n) \cdot 100}{П} \text{ [грн.]}, \quad (1.1)$$

де  $B_o$  – величина однієї із статей прямих витрат в одиниці продукції, що визнана аналогом (технологічна собівартість обробки),  $B_o = 129,6$  грн.;

$B_n$  – величина цієї ж статті прямих витрат на матеріал заготовки в одиниці нової продукції,  $B_n = 36$  грн.;

$K_n$  – коефіцієнт, що враховує конструктивні та технологічні особливості нової розробки,  $K_n = 1...1,2$ ;

$\Pi$  – питома вага цієї статті витрат в собівартості продукції, яка є аналогом;

$$\Delta S = \frac{(129,6 - 36 \cdot 1,1)}{35} \cdot 100 = 114,29 \text{ (грн.)}$$

#### 1.6.2 Визначення величини додаткових капітальних вкладень

Додаткові капітальні вкладення  $\Delta K$ , необхідні для здійснення налагодження нового технологічного процесу, розраховуються за формулою [2]:

$$\Delta K = (2...4) \cdot \Delta B_{обл} \text{ [грн.],} \quad (1.2)$$

де (2...4) – коефіцієнт, що враховує витрати на проектування, оренду приміщення, тощо;

$\Delta B_{обл}$  – вартість додаткового обладнання, яке необхідно придбати для удосконалення технологічного процесу (6 верстатів – 16К20Т1, 1П420ПФ30, ЛТ260МФ3, 7Б55У, 160НТ, МК6801Ф3), грн.

$$\Delta K = 2 \cdot (350000 + 450000 + 400000 + 250000 + 400000 + 500000) = 4700000 \text{ (грн.)}$$

З урахуванням проданих верстатів, на яких виконувався базовий технологічний процес (1485000 грн.)

$$\Delta K = 4700000 - 1485000 = 3215000 \text{ (грн.)}$$

1.6.3 Визначення терміну окупності удосконаленого технологічного процесу

Термін окупності визначаємо за формулою [3]:

$$T_o = \frac{\Delta K}{\Delta S \cdot N_2} \text{ [років]}, \quad (1.3)$$

де  $N_2$  – обсяг виробництва продукції за рік при застосуванні модернізованого технологічного процесу, шт.

$$T_o = \frac{3215000}{114,29 \cdot 4500} = 6,25 \text{ (року)}.$$

З урахуванням приведеної програми

$$T_o = \frac{3215000}{114,29 \cdot 51068} = 0,55 \text{ (року)}.$$

Так як термін окупності менше рекомендованих значень 3...5 років, то удосконалення технологічного процесу є доцільним.

## 1.7 Розробка технічного завдання на МКР

Розроблене технічне завдання на МКР представлено в додатку.

## 1.8 Висновки

В даному розділі проаналізовано проблему удосконалення дільниці при виконанні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу

«Корпус кулачків У6.02027А». По базовому варіанту механічної обробки використовується застаріле обладнання, яке не забезпечує необхідної якості продукції. Процес є трудомістким, із значною кількістю ручної роботи, кваліфікація робітників при цьому вимагається висока. Використання обладнання з ручним керуванням вимагає збільшення його кількості, відповідно ділянкою зайнята значна площа.

Проведено розгляд характеристик об'єкту виробництва, його службове призначення, технічні вимоги на виготовлення. Детально проаналізовано типовий, базовий технологічні процеси, що дозволило сформулювати пропозиції по удосконаленню існуючого процесу.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що дана розробка є перспективною для впровадження в виробництво як з технічної, так і з економічної точки зору, так як вона має відносно низьку вартість, кращі, ніж аналог технічні параметри.

Попередні розрахунки показали, що термін окупності удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» складає 0,55 років, що значно менше за нормативні значення – 3...5 років. Отже, впровадження розробленого маршруту є економічно доцільним.



## **2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КУЛАЧКІВ У6.02027А»**

### 2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі

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

Деталь «Корпус кулачків У6.02027А» має форму тіла обертання і за своєю конфігурацією відноситься до класу «Пустотілі циліндри».

Задані на кресленні квалітети точності та шорсткість оброблюваних поверхонь деталі можуть бути забезпечені при застосуванні відповідних методів обробки та кількості переходів. Взаємне розміщення поверхонь може бути забезпечене за рахунок застосування відповідних схем базування при механічній обробці та правильної організації змісту операцій.

У зв'язку з відсутністю складального креслення зробити висновки про можливість спрощення конструкції, заміни її зварною, збірною – зробити неможливо.

Можливе застосування високопродуктивних методів обробки. Практично в конструкції деталі нетехнологічних немає, усі поверхні доступні для обробки лише поверхня для встановлення кулачків є складної форми і вимагає використання кількох переходів механічної обробки або фасонного інструменту.

При виконанні обробки можливе суміщення технологічних і вимірювальних баз. Точність і шорсткість оброблюваних поверхонь можуть бути забезпечені при використанні відповідних методів обробки та верстатів, наприклад з ЧПК. Розміри оброблюваної деталі можуть бути виміряні безпосередньо, завад для цього не існує.

Серед поверхонь деталі є такі, які можуть бути використані при базуванні і тому застосування штучних технологічних баз є недоцільним.

Специфічних вимог до оброблюваних поверхонь немає і тому необхідність додаткових технологічних операцій відпадає. Термічна обробка деталі відсутня.

Нетехнологічним є фасонний паз, оскільки його обробка трудомістка і потребує використання трьох різних кінцевих фрез. Це суттєво збільшує основний час на виконання відповідної операції. Одна з цих фрез, має бути спеціальною.

Решта поверхонь не потребують для обробки спеціального інструменту, тому їх можна вважати технологічними.

Заготовка деталі може бути одержана з стандартного трубного прокату.

### 2.1.2 Кількісний аналіз технологічності [3, 4]

Визначимо показники технологічності конструкції деталі по: коефіцієнту уніфікації ( $K_{ун}$ ), коефіцієнту точності обробки ( $K_{т.о}$ ), коефіцієнту шорсткості поверхні ( $K_{ш.п.}$ ).

Коефіцієнт уніфікації визначається за формулою:

$$K_y = \frac{Q_{ye}}{Q_e} \geq 0,6, \quad (2.1)$$

де  $Q_{ye}$  – кількість уніфікованих елементів;

$Q_e$  – загальна кількість елементів.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнт уніфікації

Лінійні розміри	Діаметральні розміри	Кутові розміри	Різьбові розміри	Шорсткість
1	2	3	4	5
138 <sub>-0,4</sub>	Ø65(2 пов.)	20°(2 пов.)	M64×2-7H (2отв).	1,6*(1 пов)
83	Ø60H9 <sup>(+0,074)</sup> *	45°*(2 пов.)	M4-7H (2 отв).	3,2*(10 пов)
45*	Ø62	45°*(10 пов.)	M6-7H* (3отв).	6,3*(9 пов.)
28*	Ø74,9d8 <sup>(-0,100)</sup> <sub>(-0,146)</sub>			12,5*(46 пов.)
4*(канавка)	Ø56H9 <sup>(+0,074)</sup>			
3*(канавка)	R3*(2 пов.)			
2*(фаска)	R1*(2 пов.)			
6*	R0,5*(2 пов.)			

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
118±0,25(паз)				
122±0,25(паз)				
6*(паз)				
13*±0,2(паз)				
132*±0,25(паз)				
4*(канавка)				
1*(фаска)				
0,5*(фаска)				
100*				
32*				
65±0,25				
2*(фаска)				
57,5 <sup>+0,12</sup>				
28*				
18*				
15±0,15*				
10H8( <sup>+0,022</sup> *)(паз)				
12h9( <sub>-0,043</sub> *)(паз)				
115				
3*(паз)				
Σ <sub>заг.</sub> = 32	Σ <sub>заг.</sub> = 12	Σ <sub>заг.</sub> = 14	Σ <sub>заг.</sub> = 7	Σ <sub>заг.</sub> = 66
Σ <sub>уніф.</sub> = 24	Σ <sub>уніф.</sub> = 8	Σ <sub>уніф.</sub> = 14	Σ <sub>уніф.</sub> = 3	Σ <sub>уніф.</sub> = 66

Примітка: \* – позначені уніфіковані розміри.

$$K_y = \frac{Q_{ey}}{Q_y} = \frac{113}{130} = 0,87 > 0,6,$$

Отже, за даним показником деталь є технологічною.

Коефіцієнт шорсткості визначається за формулою:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{ф}} \leq 0,32. \quad (2.2)$$

Таблиця 2.2 – Коефіцієнт шорсткості

Шорсткість, мкм	Кількість поверхонь	Розрахунок
1,6 ( $\varnothing 74,9d8_{-0,146}^{-0,100}$ );	1	$1,6 \cdot 1 = 1,6$
3,2 ( $\varnothing 60H9^{+0,074}$ , $\varnothing 56H9^{+0,074}$ , $57,5^{+0,12}$ , $10H8^{+0,022*}$ ) - 2 поверхні, $12h9_{-0,043}$ - 2 поверхні, R3-2 поверхні, 3)	10	$3,2 \cdot 10 = 32$
6,3 ( $138_{-0,4}$ -2 поверхні, M64×2-7H-2 поверхні, M4-7H-2 поверхні, M6- 7H- 3 поверхні)	9	$6,3 \cdot 9 = 56,7$
12,5 (всі інші)	46	$12,5 \cdot 46 = 575$
Всього:	66	664,95

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} \text{ [мкм]}, \quad (2.3)$$

де  $Ш_i$  – шорсткість  $i$ -ої поверхні;

$n_i$  – кількість поверхонь з шорсткістю  $Ш_i$ .

Відповідно до наведених вище даних отримаємо:

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{664,95}{66} = 10,075 \text{ (мкм)},$$

$$K_w = \frac{1}{Ш_{cp}} = \frac{1}{10,075} = 0,1 < 0,32 \text{ (1/мкм)}.$$

Отже, за даним показником деталь є також технологічною.

Коефіцієнт точності визначається:

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} \quad (2.4)$$

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{n_i} \quad (2.5)$$

де  $T_i$  – квалітет точності  $i$ -го розміру;

$n_i$  – кількість розмірів з квалітетом  $T_i$ . Дані для розрахунку наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт точності

Квалітет	Кількість розмірів	Розрахунок
8 ( $\varnothing 74,9d8^{(-0,100)}_{-0,146}$ )- 1 поверхня; $10H8^{+0,022}_-$ - 2 поверхні, $15\pm 0,15$ -1 поверхня)	4	$8 \cdot 4 = 32$
9 ( $\varnothing 60H9^{+0,074}_-$ -1 поверхня; $12h9_{-0,043}$ – 2 поверхні; $\varnothing 56H9^{+0,074}_-$ –1 поверхня; R3-2 поверхні)	6	$9 \cdot 6 = 54$
10 ( $57,5^{+0,12}$ )	1	$10 \cdot 1 = 10$
12 ( $138_{-0,4}$ )	2	$12 \cdot 2 = 24$
13 ( $118\pm 0,25$ ; $122\pm 0,25$ ; 65)	3	$13 \cdot 3 = 39$
14 ( всі інші поверхні)	50	$14 \cdot 49 = 700$
Всього	66	859

Відповідно отримаємо:

$$T_c = \frac{\sum T}{\sum n_i} = \frac{859}{66} = 13,01 ,$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{13,01} = 0,92 .$$

За даним показником деталь є також технологічною.

Отже, деталь технологічна за якісними і кількісними показниками.

## 2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт

Тип виробництва визначається за коефіцієнтом закріплення операцій [3, 4]:

$$K_{z.o.} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i}, \quad (2.6)$$

де  $\Sigma O_i$  – кількість операцій, які виконуються на дільниці;  $\Sigma P_i$  – кількість робочих місць на дільниці.

Вихідними даними для визначення  $K_{3,0}$ , а значить і типу виробництва, є робоче креслення і річна програма випуску деталі.

Найбільш характерні переходи механічної обробки поверхонь деталі.

Точити  $\varnothing 74,9d8_{-0,146}^{-0,100}$  попередньо (згідно 12 квалітету).

Точити  $\varnothing 74,9d8_{-0,146}^{-0,100}$  попередньо (згідно 9 квалітету).

Точити  $\varnothing 74,9d8_{-0,146}^{-0,100}$  остаточно (згідно 8 квалітету).

Розточити  $\varnothing 60H9_0^{+0,074}$  попередньо (згідно 14 квалітету).

Розточити  $\varnothing 60H9_0^{+0,074}$  попередньо (згідно 11 квалітету).

Розточити  $\varnothing 60H9_0^{+0,074}$  остаточно (згідно 9 квалітету).

Фрезерувати паз 12 попередньо (згідно 11 квалітету).

Фрезерувати паз 12 остаточно (згідно 9 квалітету).

Норми основного часу  $T_{осн}$ , необхідного для обробки вказаних поверхонь визначається за формулами наближеного нормування:

Точити  $\varnothing 74,9d8_{-0,146}^{-0,100}$  попередньо (згідно 12 квалітету).

$$T_{осн1} = 0,17dl \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 74,9 \cdot 138 \cdot 10^{-3} = 1,757 \text{ (хв)}.$$

Точити  $\varnothing 74,9d8_{-0,146}^{-0,100}$  попередньо (згідно 9 квалітету).

$$T_{осн2} = 0,18dl \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 74,9 \cdot 138 \cdot 10^{-3} = 1,86 \text{ (хв)}.$$

Точити  $\varnothing 74,9d8_{-0,146}^{-0,100}$  остаточно (згідно 8 квалітету).

$$T_{осн3} = 0,2 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,2 \cdot 74,9 \cdot 138 \cdot 10^{-3} = 2,067 \text{ (хв)}.$$



Розточити  $\varnothing 60\text{H}9\left(\begin{smallmatrix} +0,074 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$  попередньо (згідно 14 квалітету).

$$T_{\text{осн}4} = 0,18dl \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 60 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 0,86 \text{ (хв)}.$$

Розточити  $\varnothing 60\text{H}9\left(\begin{smallmatrix} +0,074 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$  попередньо (згідно 11 квалітету).

$$T_{\text{осн}5} = 0,2dl \cdot 10^{-3} = 0,2 \cdot 60 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 0,96 \text{ (хв)}.$$

Розточити  $\varnothing 60\text{H}9\left(\begin{smallmatrix} +0,074 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$  попередньо (згідно 9 квалітету).

$$T_{\text{осн}6} = 0,3dl \cdot 10^{-3} = 0,3 \cdot 60 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 1,44 \text{ (хв)}.$$

Фрезерувати паз 12 попередньо (згідно 11 квалітету).

$$T_{\text{осн}7} = 7l \cdot 10^{-3} = 7 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 0,7 \text{ (хв)}.$$

Фрезерувати паз 12 остаточно (згідно 9 квалітету).

$$T_{\text{осн}8} = 3,5l \cdot 10^{-3} = 3,5 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 0,35 \text{ (хв)}.$$

де  $d$  – діаметр оброблюваної поверхні;  $l$  – довжина оброблюваної поверхні, мм.

Визначаємо штучно-калькуляційний час  $T_{\text{шт-к}}$  за формулою:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{осн}} \cdot \varphi_k \text{ [хв]}, \quad (2.7)$$

де  $\varphi_k$  – коефіцієнт, який залежить від типа виробництва, верстатів, що використовуються для обробки.

При програмі випуску  $N = 4500$  шт. і масі деталі – 1,76 кг згідно таблиці 2.4 виробництво середньосерійне. Для серійного виробництва вибрано  $\varphi_k$ .

Точити  $\varnothing 74,9d8\left(\begin{smallmatrix} -0,100 \\ -0,146 \end{smallmatrix}\right)$  попередньо (згідно 12 квалітету).

$$T_{\text{шт-к1}} = T_{\text{осн1}} \cdot \varphi_k = 1,757 \cdot 1,36 = 2,39 \text{ (хв)}.$$

Точити  $\varnothing 74,9d8\left(\begin{smallmatrix} -0,100 \\ -0,146 \end{smallmatrix}\right)$  попередньо (згідно 9 квалітету).

$$T_{\text{шт-к2}} = T_{\text{осн2}} \cdot \varphi_k = 1,86 \cdot 1,36 = 2,52 \text{ (хв)}.$$

Точити  $\varnothing 74,9d8\left(\begin{smallmatrix} -0,100 \\ -0,146 \end{smallmatrix}\right)$  остаточно (згідно 8 квалітету).

$$T_{\text{шт-к3}} = T_{\text{осн3}} \cdot \varphi_k = 2,067 \cdot 1,36 = 3,3 \text{ (хв)}.$$

Розточити  $\varnothing 60H9\left(\begin{smallmatrix} +0,074 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$  попередньо (згідно 14 квалітету).

$$T_{\text{шт-к4}} = T_{\text{осн4}} \cdot \varphi_k = 0,86 \cdot 1,36 = 1,17 \text{ (хв)}.$$

Розточити  $\varnothing 60H9\left(\begin{smallmatrix} +0,074 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$  попередньо (згідно 11 квалітету).

$$T_{\text{шт-к5}} = T_{\text{осн5}} \cdot \varphi_k = 0,96 \cdot 1,36 = 1,3 \text{ (хв)}.$$

Розточити  $\varnothing 60H9\left(\begin{smallmatrix} +0,074 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$  попередньо (згідно 9 квалітету).

$$T_{\text{шт-к6}} = T_{\text{осн6}} \cdot \varphi_k = 1,44 \cdot 1,36 = 1,95 \text{ (хв)}.$$

Фрезерувати паз 12 попередньо (згідно 11 квалітету).

$$T_{\text{ит-к7}} = T_{\text{осн7}} \cdot \varphi_k = 0,7 \cdot 1,51 = 1,057 \text{ (хв)}.$$

Фрезерувати паз 12 остаточно (згідно 9 квалітету).

$$T_{\text{ит-к8}} = T_{\text{осн8}} \cdot \varphi_k = 0,35 \cdot 1,51 = 0,53 \text{ (хв)}.$$

Кількість верстатів для виконання кожного переходу механічної обробки визначається за формулою:

$$C_{pi} = \frac{N \cdot T_{\text{ит.к.}}}{60 F_d \cdot \eta_{з.н.}}, \quad (2.8)$$

де  $F_d$  – ефективний річний фонд часу роботи верстата, год ( $F_d = 3890$  год при роботі в 2 зміни для верстатів з ЧПК);  $\eta_{з.н.}$  – нормативний коефіцієнт завантаження.

Точити  $\varnothing 74,9d8_{(-0,146)}^{(-0,100)}$  попередньо (згідно 12 квалітету).

$$C_{p1} = \frac{N \cdot T_{\text{ит-к1}}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_z} = \frac{4500 \cdot 2,39}{60 \cdot 3890 \cdot 0,8} = 0,057.$$

Точити  $\varnothing 74,9d8_{(-0,146)}^{(-0,100)}$  попередньо (згідно 9 квалітету).

$$C_{p2} = \frac{N \cdot T_{\text{ит-к2}}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_z} = \frac{4500 \cdot 2,52}{60 \cdot 3890 \cdot 0,8} = 0,06.$$

Точити  $\varnothing 74,9d8_{(-0,146)}^{(-0,100)}$  остаточно (згідно 8 квалітету).

$$C_{p3} = \frac{N \cdot T_{\text{ит-к3}}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_z} = \frac{4500 \cdot 3,3}{60 \cdot 3890 \cdot 0,8} = 0,08.$$

Розточити  $\varnothing 60\text{H9}({}_0^{+0,074})$  попередньо (згідно 14 квалітету).

$$C_{p4} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к4}}}{60 \cdot F_q \cdot \eta_z} = \frac{4500 \cdot 1,17}{60 \cdot 3890 \cdot 0,8} = 0,03.$$

Розточити  $\varnothing 60\text{H9}({}_0^{+0,074})$  попередньо (згідно 11 квалітету).

$$C_{p5} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к5}}}{60 \cdot F_q \cdot \eta_z} = \frac{4500 \cdot 1,3}{60 \cdot 3890 \cdot 0,8} = 0,03.$$

Розточити  $\varnothing 60\text{H9}({}_0^{+0,074})$  попередньо (згідно 9 квалітету).

$$C_{p6} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к6}}}{60 \cdot F_q \cdot \eta_z} = \frac{4500 \cdot 1,95}{60 \cdot 3890 \cdot 0,8} = 0,04.$$

Фрезерувати паз 12 попередньо (згідно 11 квалітету).

$$C_{p7} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к7}}}{60 \cdot F_q \cdot \eta_z} = \frac{4500 \cdot 1,057}{60 \cdot 3890 \cdot 0,8} = 0,025.$$

Фрезерувати паз 12 остаточно (згідно 9 квалітету).

$$C_{p8} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к8}}}{60 \cdot F_q \cdot \eta_z} = \frac{4500 \cdot 0,53}{60 \cdot 3890 \cdot 0,8} = 0,012.$$

Переходи 1-3 виконуються на одному верстаті:  $P_{1-3} = 1$ .

Переходи 4-5 виконуються також на одному верстаті:  $P_{4-5} = 1$ .

Перехід 6 виконується на окремому верстаті:  $P_6 = 1$ .

Переходи 7-8 виконуються також на одному верстаті:  $P_{7-8} = 1$ .

Тобто прийнятих верстатів – 4.

Коефіцієнт завантаження фактичний визначається за формулою:

$$\eta_{зфi} = \frac{C_{p_i}}{P_i}, \quad (2.9)$$

де  $C_{p_i}$  – розрахункова кількість верстатів;  $P_i$  – найближче більше число.

Точити  $\varnothing 74,9d8_{-0.146}^{-0.100}$  (попередньо – остаточно).

$$\eta_{зф1-3} = \frac{C_{p1-3}}{P_{1-3}} = \frac{0,2}{1} = 0,2.$$

Розточити  $\varnothing 60H9_{0}^{+0.074}$  попередньо.

$$\eta_{зф4-5} = \frac{C_{p4-5}}{P_{4-5}} = \frac{0,07}{1} = 0,07.$$

Розточити  $\varnothing 60H9_{0}^{+0.074}$  остаточно.

$$\eta_{зф6} = \frac{C_{p6}}{P_6} = \frac{0,04}{1} = 0,04.$$

Фрезерувати паз 12 (попередньо – остаточно).

$$\eta_{зф7-8} = \frac{C_{p7-8}}{P_{7-8}} = \frac{0,037}{1} = 0,037.$$

Кількість операцій закріплених за кожним робочим місцем визначається за формулою 1.4 [3]. Одержане число округляється до найближчого більшого цілого, яке є прийнятною кількістю робочих місць Р.

$$O_1 = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{зф}}, \quad (2.10)$$

де  $\eta_{зф}$  – фактичний коефіцієнт завантаження обладнання.

Точити  $\varnothing 74,9d8 \begin{smallmatrix} -0,100 \\ -0,146 \end{smallmatrix}$  (попередньо – остаточно).

$$O_{1-3} = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{зф1-3}} = \frac{0,8}{0,2} = 4.$$

Розточити  $\varnothing 60H9 \begin{smallmatrix} +0,074 \\ 0 \end{smallmatrix}$  попередньо.

$$O_{4-5} = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{зф4-5}} = \frac{0,8}{0,07} = 11,43.$$

Розточити  $\varnothing 60H9 \begin{smallmatrix} +0,074 \\ 0 \end{smallmatrix}$  остаточно.

$$O_6 = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{зф6}} = \frac{0,8}{0,04} = 20.$$

Фрезерувати паз 12 (попередньо – остаточно).

$$O_{7-8} = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{зф7-8}} = \frac{0,8}{0,037} = 21,62.$$

Коефіцієнт закріплення операцій визначається за формулою:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i} \quad (2.11)$$



Таким чином, коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i} = \frac{4+11,43+20+21,62}{1+1+1+1} = 14,26,$$

коефіцієнт знаходиться в межах  $10 < K_{з.о.} < 20$  – виробництво серійне.

Визначаємо добовий випуск виробів за формулою:

$$N_{\partial} = \frac{N}{254} \text{ [шт.]}, \quad (2.12)$$

$$N_{\partial} = \frac{N}{254} = \frac{4500}{254} = 17,71 \text{ (шт.)}. \text{ Приймаємо } N_{\partial} = 18 \text{ (шт.)}.$$

Добова продуктивність потокової лінії визначається за формулою:

$$Q_{\partial} = \frac{F_{\partial}}{T_{шт-к.сп}} \cdot \eta_{з.л} \text{ [шт.]}, \quad (2.13)$$

$$Q_{\partial} = \frac{F_{\partial}}{T_{шт-к.сп}} \cdot \eta_{з.л} = \frac{3890}{1,77} \cdot 0,8 = 1758,2 \text{ (шт.)}. \text{ Приймаємо } Q_{\partial} = 1758 \text{ (шт.)}.$$

де  $T_{шт-к.сп}$  – середній штучно-калькуляційний час, який визначається за формулою:

$$T_{шт-к.сп} = \frac{\sum_i^n T_{шт-к.i}}{n} \text{ [хв]}, \quad (2.14)$$

$$T_{шт-к.сп} = \frac{\sum_i^n T_{шт-к.i}}{n} = \frac{2,39+2,52+3,3+1,17+1,3+1,95+1,057+0,53}{8} = 1,77 \text{ (хв)}.$$

де  $T_{шт-к.i}$  – штучний час  $i$ -ої основної операції;

$n$  – кількість основних переходів механічної обробки.

Так як  $N_{\partial} \leq Q_{\partial}$ , то організація потової лінії недоцільна.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску допускається визначати спрощеним способом за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{254} \text{ [шт.]}, \quad (2.15)$$

$$n = \frac{N \cdot a}{254} = \frac{4500 \cdot 6}{254} = 206,29 \text{ (шт.)}.$$

де  $a$  – періодичність запуску в днях (прийнято  $a = 6$ )

Розрахункове число змін на обробку всієї партії деталей на основних робочих місцях визначається за формулою:

$$c = \frac{T_{\text{шт-к.сп}} \cdot n}{476 \cdot 0,8}; \quad (2.16)$$

$$c = \frac{T_{\text{шт-к.сп}} \cdot n}{476 \cdot 0,8} = \frac{1,77 \cdot 206}{476 \cdot 0,8} = 0,95. \text{(зміни)}$$

Визначаємо кількість деталей у партії, які необхідні для завантаження обладнання на основних операціях протягом цілого числа змін за формулою:

$$n_{\text{пр}} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot c_{\text{пр}}}{T_{\text{шт-к.сп}}} \text{ [шт.]}, \quad (2.17)$$

$$n_{\text{пр}} = \frac{476 \cdot 0,75 \cdot c_{\text{пр}}}{T_{\text{шт-к.сп}}} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot 1}{1,77} = 215,14 \text{ (шт.)}.$$

Приймаємо кількість деталей у партії 215 шт.

Висновок: тип виробництва серійний, форма організації роботи групова, кількість деталей в партії, що запускається на обробку одночасно  $n = 215$  штук.

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

### 2.3.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки

Початкові дані.

Тип виробництва – серійний.

Кількість оброблюваних деталей –  $N = 4500$  шт.

Маса деталі –  $m = 1,76$  кг.

Орієнтуючись на робоче креслення деталі, масу та серійність виробництва встановлюємо метод виготовлення заготовки – пластичне деформування та прокат, так як деталь виготовляється з матеріалу Сталь 45.

Можливі способи виготовлення поковки:

- кування;
- штампування на молотах;
- штампування на гвинтових пресах;
- штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП);
- штампування на гідравлічних пресах;
- штампування на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ);
- прокат.

Проаналізувавши різні способи виготовлення заготовок [5, 6], і врахувавши серійність виробництва, не дуже складну форму деталі, шорсткість поверхонь, обираємо такі способи: штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах і прокат.

Штампування на КГШП способом, що забезпечує високу точність і низьку шорсткість поверхонь, низькі припуски і, як наслідок високий коефіцієнт точності маси заготовки. При використанні цього способу технологічний процес виготовлення заготовки легко автоматизується.

При виготовлення заготовки із прокату можливо, що в стружку відійде більше металу, ніж при штампуванні на КГШП. Але процес виготовлення заготовки є значно простішим, ніж при штампуванні.

2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки для двох способів її виготовлення (призначення припусків на механічну обробку та розрахунок граничних розмірів)

Вибір конструктивних елементів заготовки.

Вибір норм точності штампованої заготовки [5, 6].

Клас точності Т вибирається в залежності від обладнання і типу виробництва: КГШП – Т4.

Група сталі М призначається по заданому матеріалу деталі, вмісту вуглецю та легуючих елементів (вуглецю 0,45%, легуючих елементів – 0%) – М2.

Ступінь складності визначається в залежності від співвідношення маси поковки, яка рахується попередньо, і маси найменшої простої геометричної фігури, яка описує деталь. Цією фігурою є пустотілий циліндр, розміри якого дорівнюють габаритним розмірам деталі, збільшеним на 5% з урахуванням припуску:

$$Q_{\phi} = V_{\phi} \cdot \rho \text{ [кг]}, \quad (2.18)$$

$$Q_{\phi} = \frac{\pi(D_1^2 - D_2^2)}{4} \cdot H \cdot \rho = \frac{3,14 \cdot (61,85 - 28,3)}{4} \cdot 14,49 \cdot 7,8 = 3242,79 = 3,24(\text{кг})$$

$$D_1^2 = 1,05^2 \cdot 7,49^2 = 61,85(\text{мм})$$

$$D_2^2 = 0,95^2 \cdot 5,6^2 = 28,3(\text{мм})$$

$$H_1 = 1,05 \cdot 13,8 = 14,49(\text{мм})$$

$$Q_{\phi} = 0,654 \cdot 7,8 = 3,24 \text{ (кг)};$$

$$Q_n = Q_{дет} \cdot K_p = 1,76 \cdot 2 = 3,52 \text{ (кг)}.$$

де  $K_p$  – коефіцієнт, що залежить від конфігурації деталі.

В нашому випадку  $K_p=(1,8\dots2,2)$ , приймаємо  $K_p=2$ .

$$C = \frac{Q_n}{Q_{\phi}} = \frac{3,52}{3,24} = 1,086 \text{ (кг)}.$$

Призначаємо ступінь складності С1.

Оскільки деталь є простої конфігурації, без вигинів, то поверхня роз'єму буде плоскою буде плоскою *П*.

Вихідний індекс – визначається в залежності від маси, марки сталі, ступеня складності та класу точності поковки, необхідний для наступного призначення основних припусків, допусків та допустимих відхилень: КГШП – 12.

Вибір припусків.

Основні припуски вибираються в залежності від розміру, шорсткості і індексу, причому якщо розмір пов'язує поверхні з різними шорсткостями то необхідно на ці поверхні призначити різні припуски.

Додаткові припуски призначаються для врахування зміщення по площині роз'єму штампа і врахування вигнутості, відхилення від площинності і прямолінійності.

При розрахунку розмірів заготовки основні і додаткові припуски сумуються.

Розрахунок розмірів штампованої заготовки.

Штампкування на КГШП:

$$\varnothing 74,9 + (2 \cdot 2,4) = \varnothing 79,38 \text{ (мм)}$$

$$\varnothing 56 - (2 \cdot 2) = \varnothing 52 \text{ (мм)}$$

$$138 + (2 \cdot 2,4) = 142,8 \text{ (мм)}$$

$$26 - (2 \cdot 1,8) = 22,8 \text{ (мм)}$$

$$19 - (2 \cdot 1,6) = 15,8 \text{ (мм)}$$

Вибір допусків.

Допуски розмірів вибираються в залежності від розміру і індексу.

Для конструювання штампу і призначення його допустимого зносу вибираються допуски зміщення, залишкового облою, заусениці, відхилення від концентричності пробитого отвору, вигнутості, між осьової відстані, кутових елементів, радіусів закруглень. Ці допуски вибираються в залежності від класу точності і маси поковки.

Вибір конструктивних елементів.



Радіуси заокруглень. Радіуси заокруглень призначаються для уникнення тріщин, зменшення залишкових напружень для розміру  $\varnothing 74,9 - R = 1$  (мм), для розміру  $\varnothing 56 - R = 1$  (мм).

Нахили. Нахили призначаються для полегшення виймання заготовки з матриць і запобігання заклинювання пуансона при штампуванні. КГШП: зовнішні –  $4^\circ$ , внутрішні –  $6^\circ$ .

Положення лінії роз'сму. Для КГШП лінія роз'сму буде проходити горизонтально по осі заготовки.

Дані розрахунків приведені в таблиці 2.4.

Для вибору параметрів прокату необхідно знати зовнішній діаметр який має бути у заготовки, внутрішній діаметр та довжину заготовки.

Зовнішній  $\varnothing 74,9d8$ . По даному діаметру вибираємо кількість ступенів та припуски для забезпечення точності оброблюваної деталі [7], для 8 квалітету – 3 ступені механічної обробки, а саме:

- точіння попереднє 1,7 мм;
- точіння остаточне 0,3 мм;
- тонке точіння 0,1 мм.

Тоді загальний припуск складає – 2,1 мм. Отже зовнішній розмір складає  $\varnothing 74,9 + (2 \cdot 2,1) = \varnothing 79,1$  (мм).

Для розміру  $\varnothing 56H9$  необхідно виконати три переходи:

- розточування попереднє 2 мм;
- розточування чистове 1 мм;
- тонке розточування 0,2 мм.

Тоді загальний припуск складає – 3,2 мм. Отже внутрішній діаметр складає  $\varnothing 56 - (2 \cdot 3,2) = \varnothing 49,6$  (мм).

Тоді внутрішній діаметр труби складає  $\varnothing 83 - 36 = \varnothing 47$  (мм).

Згідно [7] вибираємо трубу розмірами  $83 \times 18$  мм.

Довжина деталі в готовому вигляді  $138_{-0,3}$ , вибираємо ступені механічної обробки [6]: чорнове точіння 1,5 мм; чистове точіння 1,2 мм.

Таблиця 2.4 – Розрахунок розмірів штапованої заготовки [5, 6]

Вхідні дані (норми точності)	Штапування на КГШП				
	Згідно з ГОСТ 7505-89			Прийнято	
Клас точності	Т4-Т5			Т4	
Марка матеріалу	М1-М3			М2	
Ступінь складності	С1-С4			С1	
Індекс	12			12	
Конфігурація поверхні роз'єднання штапа	П			П	
	Розрахункові розміри, мм				
Припуски: основні	Ø74,9d8	Ø56H9	138 <sub>-0,3</sub>	26	19
	1,9	1,7	1,8	1,3	1,3
додаткові на зміщення по поверхні роз'єднання штапа	0,2	-	0,2	-	-
для врахування вигнутості і відхилення від площинності, прямолінійності	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
	Розміри заготовки, мм				
	Ø79,7	Ø52	143,2	22,8	15,8
Допуски: розмірів	2.2 <sup>+1.4</sup> <sub>-0.8</sub>	2.2 <sup>+1.4</sup> <sub>-0.8</sub>	2.5 <sup>+1.6</sup> <sub>-0.9</sub>	2.2 <sup>+1.4</sup> <sub>-0.8</sub>	2.0 <sup>+1.3</sup> <sub>-0.7</sub>
на зміщення по поверхні роз'єднання штапа	0,7	-	0,7	-	-
по вигнутість, відхилення від площинності і прямолінійності	0,8				
радіусів заокруглень	1,0	1,0	-	-	-
величини залишкового облою	0,9				

Тоді розмір заготовки буде складати  $138 + (2 \cdot 2,7) = 143,4$  (мм).

Приймаємо довжину 144 мм.

1,5 мм – припуск на однократну обробку торців [7]. Таким чином розміри заготовки виготовленої з прокату Ø83 мм, довжина 144 мм.

Приймаємо дискову фрезу 3 мм для відрізання заготовок прокату:

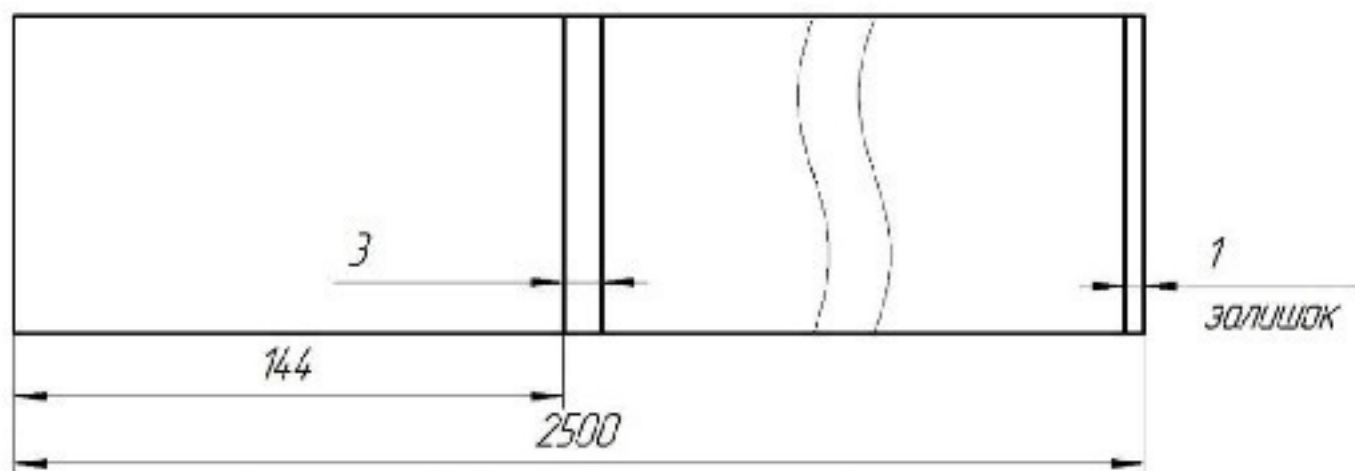


Рисунок 2.1 – Заготовка трубного прокату

Таблиця 2.5 – Всі можливі довжини труби прокату до 11500 мм [8]

Сортамент, довжина, мм	Кількість заготовок, шт.	Залишок, мм
1500	10	30
2000	13	89
2500	17	1
3000	20	60
3500	23	119
4000	27	31
4500	30	90
5000	34	2
5500	37	61
6000	40	120
6500	44	32
7000	47	91
7500	51	3
8000	54	62
8500	57	121
9000	61	33
9500	64	92
10000	68	4
10500	71	63
11000	74	122
11500	78	34

Отже, Труба  $\frac{83 \times 18 \text{ГОСТ} 8734 - 75}{\text{АСт.45ГОСТ} 8731 - 74}$  довжиною 2500 мм, є найкращим варіантом прокату, оскільки при розрізанні на заготовки буде мінімальний залишок.

### 2.3.3 Оформлення ескізів обох варіантів заготовок

Після виконання розрахунку розмірів заготовки, вибору конструктивних елементів заготовки (для двох найбільш доцільних способів її виготовлення) зображено ескіз заготовки для штампування на КГШП та прокату (рис. 2.2-2.3).

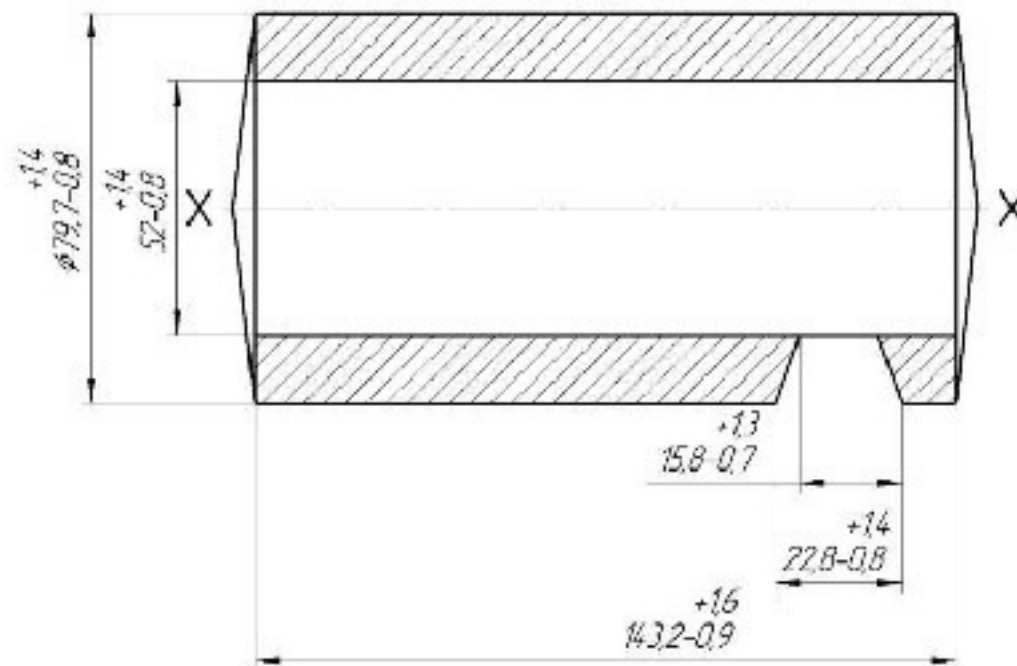


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки виготовленої на КГШП

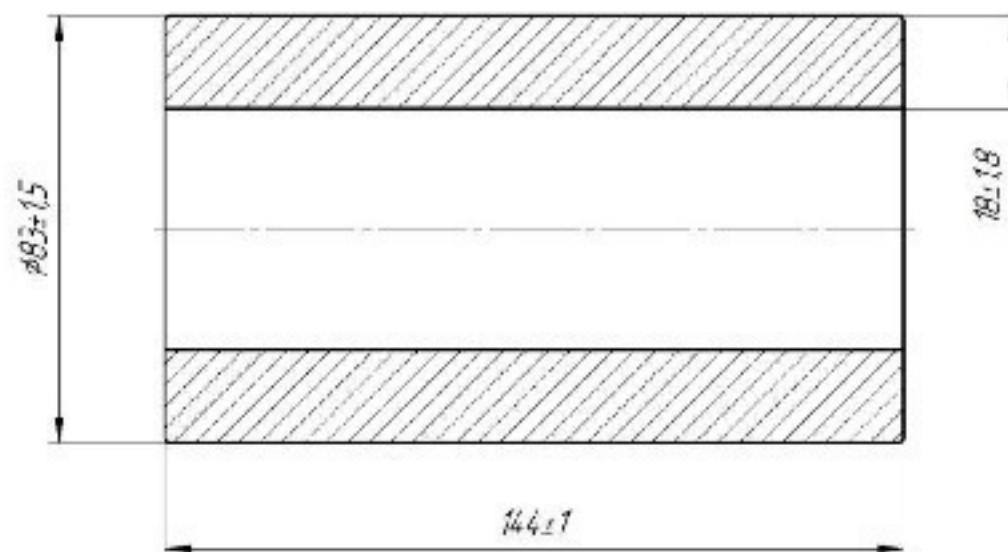


Рисунок 2.3 – Ескіз заготовки виготовленої з трубного прокату

### Призначення технічних вимог на заготовки

Технічні вимоги призначаються для кожного з альтернативних способів отримання заготовки.

#### Штамповка на КГШП [5, 6].

1. Клас точності – Т4, група сталі – М2, ступінь складності – С1.
2. Невказані штампувальні радіуси 1 мм.



3. Нахили: зовнішні –  $4^\circ$ , внутрішні  $6^\circ$ .
4. Допустиме зміщення по площині роз'єму  $0,7$ .
5. Невказані допуски радіусів заокруглень  $1,0$  мм.
6. Допустиме відхилення від площинності та прямолінійності  $0,8$  мм.

Заготовка із трубного прокату [8]

1. Питома кривизна  $0,6$  мкм/мм.

2.3.4 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси для обох варіантів заготовки

Розрахунок маси і коефіцієнта точності маси заготовки

Масу заготовки визначаємо за формулою:

$$G = V_{заг} \cdot \rho \text{ [кг]}, \quad (2.19)$$

де  $V_{заг}$  – загальний об'єм заготовки;

$\rho$  – густина матеріалу заготовки (Сталь 45  $\rho = 7820$  кг/м<sup>3</sup>).

Штампування на КГШП:

Об'єм	$V = 404,0206$ см <sup>3</sup>
Матеріал	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013
Густина	$\rho = 0,007820$ кг/см <sup>3</sup>
Маса	$G = 3,159$ кг

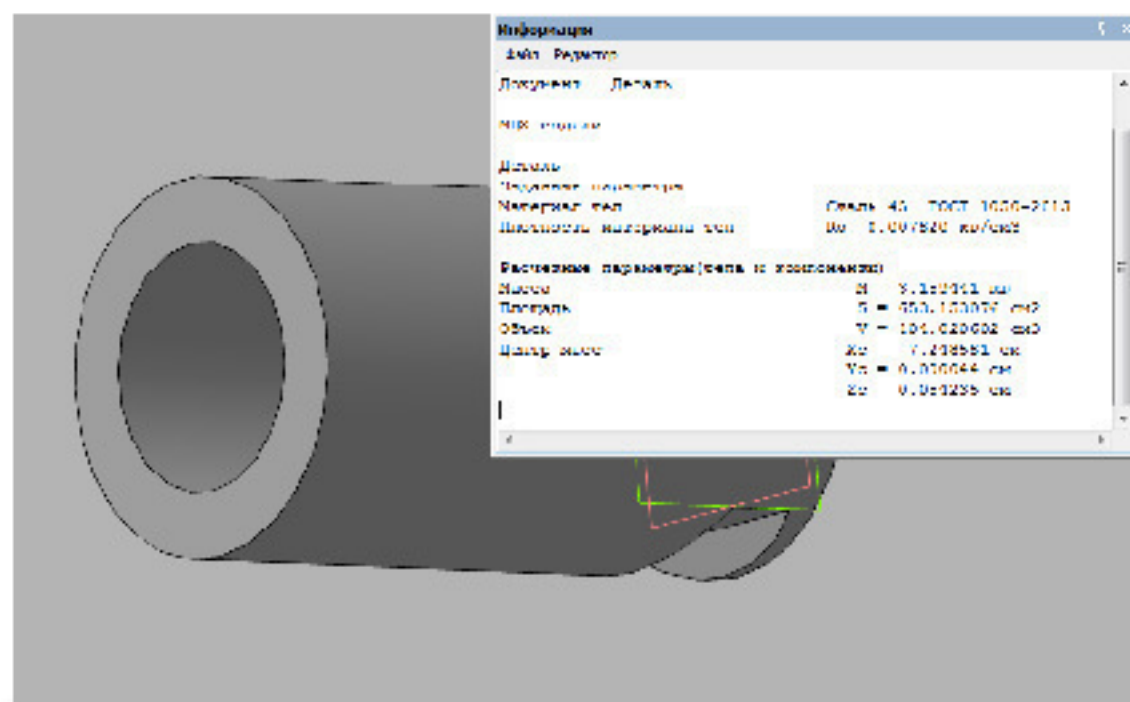


Рисунок 2.4 – 3D-модель заготовки виготовленої штампуванням на КГШП



Коефіцієнт точності маси заготовки:

$$\gamma = G_{\text{дет}}/G_{\text{заг}}, \quad (2.20)$$

де  $G_{\text{дет}}$  – маса деталі, кг;  $G_{\text{заг}}$  – маса заготовки, кг.

$$\gamma_1 = 1,76/3,159 = 0,557.$$

Прокат:

Об'єм	$V = 529,2955 \text{ см}^2$
Матеріал	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013
Густина	$R_0 = 0,007820 \text{ кг/см}^3$
Маса	$G = 4,139 \text{ кг}$

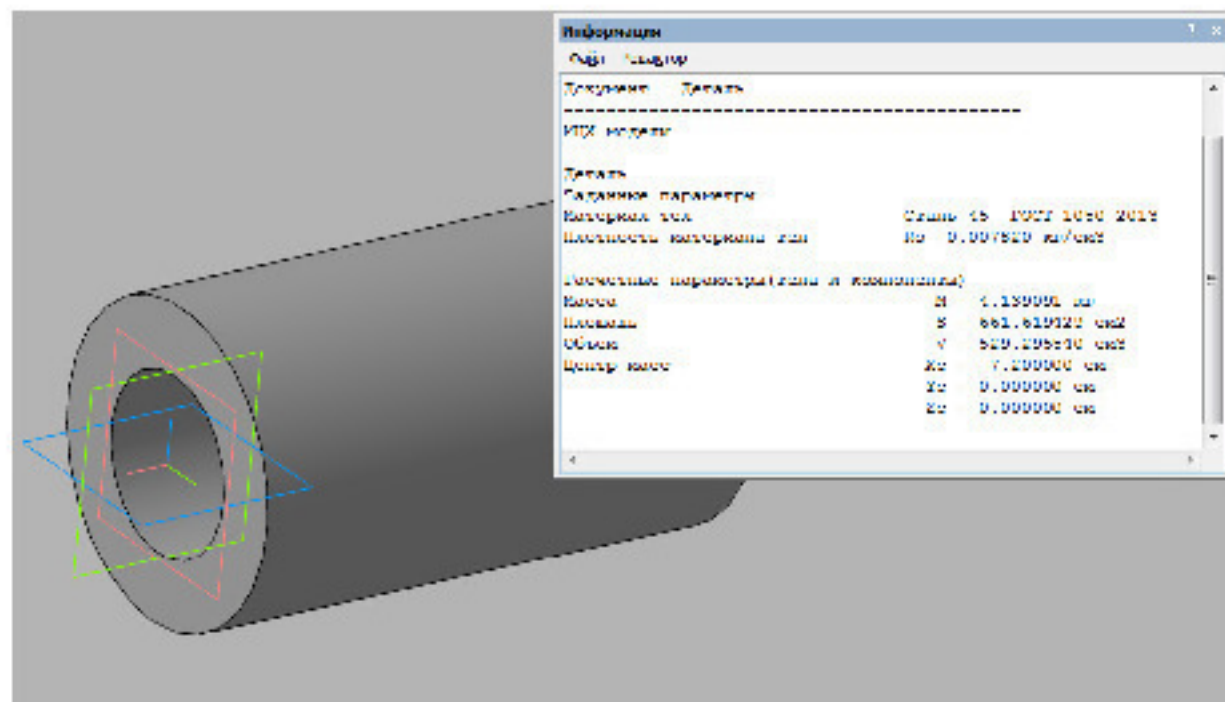


Рисунок 2.5 – 3D-модель заготовки виготовленої трубним прокатом

Коефіцієнт точності маси заготовки:

$$\gamma_2 = 1,76/4,139 = 0,425.$$

Коефіцієнт точності маси при штампуванні на КГШП більший ніж при прокаті.

2.3.5 Техніко-економічне порівняння двох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого [4, 5]

Вартість заготовки визначаємо за формулою:

$$C_{заг.} = \left( \frac{G_{заг.}}{1000} \cdot C_{шт.} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{II} \right) - \left( \frac{G_{заг.} - G_{дет.}}{1000} \right) \cdot C_{відх.} \text{ [грн.]}, \quad (2.21)$$

де  $C_{шт.}$  – базова вартість 1т штамповки грн;

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовок;

$K_M$  – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки;

$K_C$  – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки;

$K_B$  – коефіцієнт, що враховує масу заготовки, вибираємо згідно;

$K_{II}$  – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва;

$C_{відх.}$  – вартість 1 т. стружки, для сталі  $C_{відх.} = 2000$  грн/т.

Призначаємо коефіцієнти:  $K_T = 1$ ,  $K_M = 1$ ,  $K_C = 0,75$ ,  $K_B = 1$ ,  $K_{II} = 1$ .

Штапування на КГШП:

$$C_{заг.шт.} = \frac{3,159 \cdot 29500 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1}{1000} - \frac{(3,159 - 1,76)}{1000} \cdot 2000 = 67,094 \text{ (грн.)}$$

Прокат:

$$C_{заг.пр.} = \frac{G_{заг.} \cdot C_{пр.}}{1000} - \frac{(G_{заг.} - G_{дет.}) \cdot C_{відх.}}{1000} \text{ [грн.]}, \quad (2.22)$$

де  $C_{пр.}$  – базова вартість 1т прокату грн.

$$C_{заг.пр.} = \frac{4,19 \cdot 16800}{1000} - \frac{(4,139 - 1,76) \cdot 2000}{1000} = 65,634 \text{ (грн.)}$$

Для прийняття остаточного рішення щодо вибору варіанта виготовлення заготовки крім вартості заготовок, коефіцієнтів точності маси заготовки потрібно

порівняти маршрути механічної обробки деталі. Якщо є операції, які відрізняються внаслідок різних способів виготовлення заготовки, то собівартість їх виконання потрібно включити у вартість відповідної заготовки. Тобто, тоді повна собівартість заготовки, виготовленої з прокату:

$$C_{\Sigma \text{заг.пр}} = C_{\text{заг.пр}} + \Sigma C_{\text{обр}} \text{ [грн]}, \quad (2.23)$$

де  $\Sigma C_{\text{обр}}$  – технологічна собівартість виконання тих операцій, якими відрізняється маршрут механічної обробки деталі внаслідок різних способів виготовлення заготовки [9].

$$C_{\text{обр}} = C_{\text{п.-в}} \cdot T_{\text{шт-к(шт)}} / 60 K_{\text{в}} \text{ [грн]}, \quad (2.24)$$

де  $C_{\text{п.-в}}$  – хвилинні приведені витрати, грн.

Приймаємо для верстата 16К20Т1 – 38,0 грн., для 1П420ПФ3 – 42,5 грн., ЛТ260МФ3 – 80,7 грн.

$T_{\text{шт-к(шт)}}$  – штучно-калькуляційний чи штучний час на операцію, хв;

$K_{\text{в}}$  – коефіцієнт виконання норм,  $K_{\text{в}} \approx 1,3$ .

$T_{\text{шт-к}}$  – наближено визначено за формулою [8]:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{o}} \cdot \varphi_{\text{к}} \text{ [хв]}, \quad (2.25)$$

$$T_{\text{o}} = T_{\text{o}_1} + T_{\text{o}_2} + T_{\text{o}_3} \text{ (хв)}. \quad (2.26)$$

Додаткові переходи обробки заготовки із прокату:

$T_{\text{o}_1}$  – точіння зовнішнього діаметру з  $\varnothing 83$  до  $\varnothing 79,7$  мм.

$T_{\text{o}_2}$  – розточування отвору з  $\varnothing 47$  до  $\varnothing 52$  мм,

$T_{\text{o}_3}$  – фрезерування паза.

$\varphi_{\text{к}}$  – приймаємо для токарного верстату 1,3, для вертикально-фрезерного 1,4.

$$T_{0_1} = 0,000075Dl = 0,000075 \cdot 79,7 \cdot 144 = 0,86 \text{ (хв)};$$

$$T_{\text{шт-к1}} = 0,86 \cdot 1,3 = 1,118 \text{ (хв)};$$

$$T_{0_2} = 0,000068Dl = 0,000068 \cdot 47 \cdot 144 = 0,46 \text{ (хв)};$$

$$T_{\text{шт-к2}} = 0,46 \cdot 1,3 = 0,598 \text{ (хв)};$$

$$T_{0_3} = 0,0059Dl = 0,0059 \cdot 13,85 = 0,082 \text{ (хв)};$$

$$T_{\text{шт-к3}} = 0,082 \cdot 1,4 = 0,115 \text{ (хв)}.$$

Знаходимо собівартість додаткової обробки:

$$C_{\text{обр}_1} = \frac{38 \cdot 1,118}{60 \cdot 1,3} = 0,545 \text{ (грн)};$$

$$C_{\text{обр}_2} = \frac{42,5 \cdot 0,598}{60 \cdot 1,3} = 0,33 \text{ (грн)};$$

$$C_{\text{обр}_3} = \frac{80,7 \cdot 0,115}{60 \cdot 1,4} = 0,11 \text{ (грн)};$$

$$\Sigma C_{\text{обр}} = 0,545 + 0,33 + 0,11 = 0,99 \text{ (грн)};$$

$$C_{\text{заг}_{\text{прок.}}} = 65,634 + 0,99 = 66,625 \text{ (грн)};$$

$$C_{\text{заг}_{\text{шт}}} = 67,094 \text{ грн.}$$

Економічний ефект при використанні заготовки із прокату буде складати:

$$E = (67,094 - 66,625) \cdot 4500 = 2111,25 \text{ (грн)}.$$

Після розрахунку вартості заготовок бачимо, що вартість заготовки виготовленої на КГШП більша ніж заготовки із прокату. Коефіцієнт точності маси заготовки виготовленої із прокату менший ніж при виготовленні її на КГШП, але в незначній мірі. Виходячи з вище сказаного виготовлення заготовки із прокату є більш економічним навіть з врахуванням додаткової механічної обробки.

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

Визначення кількості ступенів механічної обробки виконується на основі розрахунків за формулою [9]:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_D} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \dots \frac{T_{i-1}}{T_i} \dots \frac{T_n}{T_D} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \dots \varepsilon_i \dots \varepsilon_n = \prod_1^n \varepsilon_i, \quad (2.27)$$

де  $\varepsilon$  – загальне уточнення;  $\varepsilon_i$  – окремі ступені уточнення;  $n$  – число ступенів обробки;  $T_D$ ,  $T_3$ ,  $T_i$  – допуски параметра, що розглядається відповідно для деталі, заготовки та окремого ступеня обробки.

Відповідно до наведених вище вимог для усіх поверхонь визначена кількість переходів і способи та методи попередньої та остаточної обробки.

Встановимо загальне уточнення для найбільш точного розміру  $\varnothing 74,9d8 \begin{smallmatrix} -0,100 \\ -0,146 \end{smallmatrix}$ , враховуючи, що допуск заготовки на даний розмір при використанні трубного прокату  $\varnothing 83$  з допуском 3 мм.

Визначимо загальне уточнення для заданої циліндричної поверхні  $\varnothing 74,9d8 \begin{smallmatrix} -0,100 \\ -0,146 \end{smallmatrix}$ :

$$\varepsilon_\Sigma = \frac{T_1}{T_{дет}} = \frac{3000}{46} = 65,217, \quad (2.28)$$

де  $T_1 = 3000$  мкм – допуск заготовки по IT14;  $T_{дет} = 46$  мкм – допуск деталі;  $T_1, T_2, T_3, T_4 \dots$  – проміжні допуски;  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4 \dots$  – проміжні уточнення.

Приймаємо  $n = 4$  ступеня механічної обробки даної поверхні, призначивши  $\varepsilon_1 = 5$ ;  $\varepsilon_2 = 3$ ;  $\varepsilon_3 = 2,5$ ;  $\varepsilon_4 = 1,74$ . Тоді уточнення останнього переходу визначається, так:

$$\varepsilon_3 = \frac{\varepsilon_\Sigma}{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_4}; \quad (2.29)$$



$$\varepsilon_3 = \frac{65,217}{5 \cdot 3 \cdot 2,5 \cdot 1,74} = 1,608.$$

Визначаємо допуски на кожний перехід:

- після першого переходу:  $T_1 = \frac{T_{\text{заг}}}{\varepsilon_1} = \frac{3000}{5} = 600 \text{ (мкм) (IT 14)}$ ;

- після другого переходу:  $T_2 = \frac{T_1}{\varepsilon_2} = \frac{600}{3} = 200 \text{ (мкм) (IT 11)}$ ;

- після третього переходу:  $T_3 = \frac{T_2}{\varepsilon_3} = \frac{200}{2,5} = 80 \text{ (мкм) (IT 9)}$ ;

- після четвертого переходу:  $T_4 = \frac{T_3}{\varepsilon_4} = \frac{80}{1,74} = 46 \text{ (мкм) (IT 8)}$ .

Допуск після першого переходу відповідає 14 квалітету точності, після другого – 11 квалітету, після третього – 9 квалітету, після четвертого – 8 квалітету.

На решту точних поверхонь кількість ступенів механічної обробки вибрані та показані в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Способи обробки точних поверхонь

Поверхня	Способи обробки	Квалітети точності
$\varnothing 60H9^{(+0,074)}_0$ мм.	1. Чорнове розточування. 2. Чистове розточування. 3. Тонке розточування.	IT12 IT10 IT9
$\varnothing 56H9^{(+0,074)}_0$ мм.	1. Чорнове розточування. 2. Чистове розточування. 3. Тонке розточування.	IT12 IT10 IT9

2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз

Вибір чистових технологічних баз.

Чистовими технологічними базами (операції 010, 015 – рисунок 2.6, 2.7) вибрано вісь попередньо обробленої зовнішньої циліндричної поверхні та

торцеву поверхню (точки 1, 3; 2, 4; 5), шоста точка реалізована за рахунок сил тертя (точка 6). При цьому вирішується задача забезпечення похибки базування виконуваних розмірів рівною нулю або зведення її до мінімуму.

Аналіз вибору технологічних баз на операції 010.

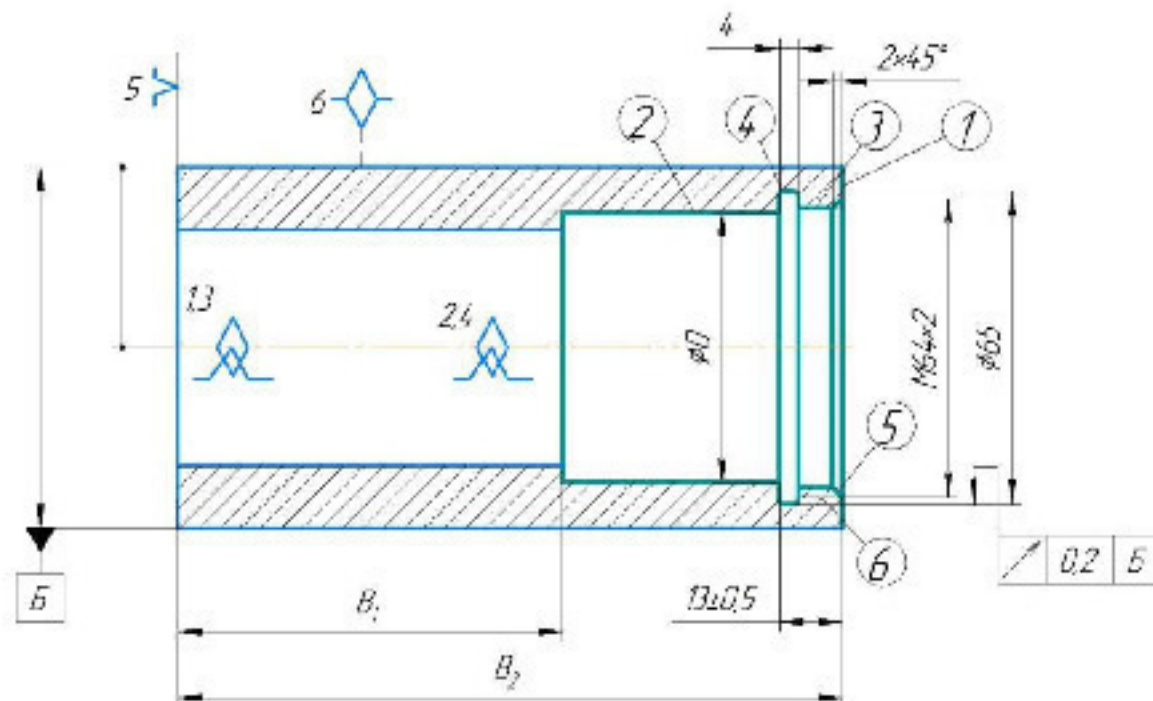


Рисунок 2.6 – Схема вибору технологічних баз на операції 010

Таблиця 2.7 – Аналіз вибору технологічних баз на операції 010

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
010 Токарно-револьверна з ЧПК	2×45°	відсутня	Обробка з одного установа.
	4	відсутня	Обробка з одного установа.
	13±0,5	відсутня	Обробка з одного установа.
	ØD	відсутня	Діаметральний розмір.
	M64×2	відсутня	Обробка мірним інструментом.
	Ø65	відсутня	Діаметральний розмір.
	B <sub>1</sub>	відсутня	Суміщення баз.
	B <sub>2</sub>	відсутня	Суміщення баз.
	0,2 B	відсутня	Суміщення баз.

Аналіз вибору технологічних баз на операції 015.

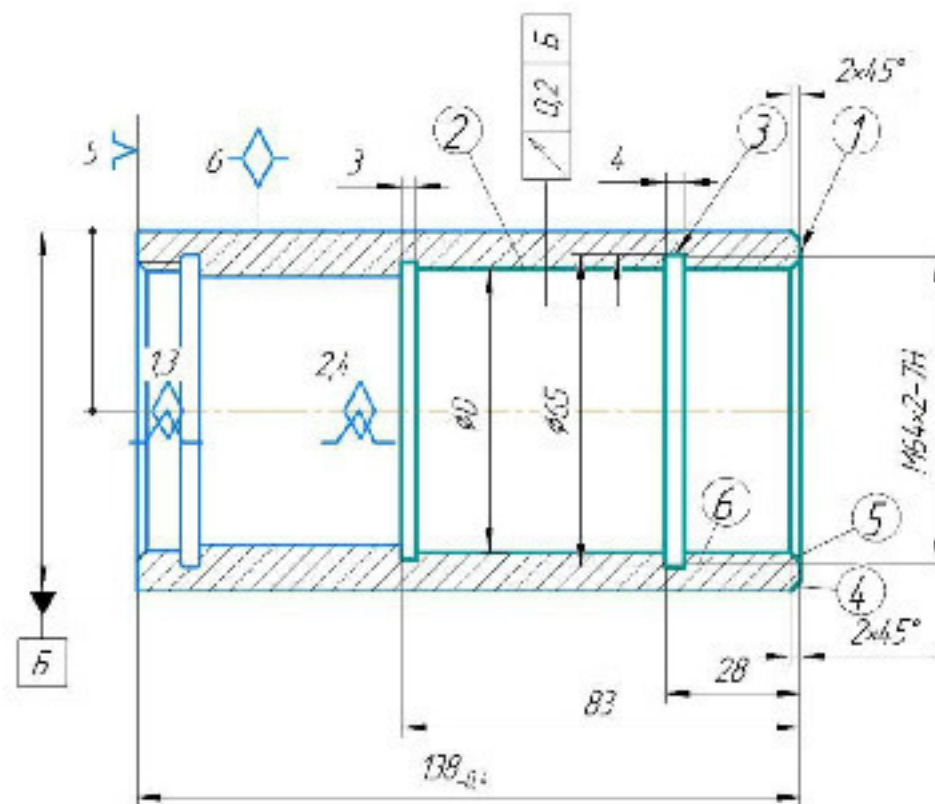
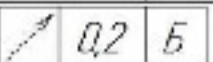


Рисунок 2.7 – Схема вибору технологічних баз на операції 015

Таблиця 2.8 – Аналіз вибору технологічних баз на операції 015

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
015 Токарно-револьверна з ЧПК	2×45°	відсутня	Обробка з одного установа.
	3	відсутня	Обробка з одного установа.
	4	відсутня	Обробка з одного установа.
	28	відсутня	Обробка з одного установа.
	83	відсутня	Обробка з одного установа.
	ØD	відсутня	Діаметральний розмір.
	M64×2	відсутня	Обробка мірним інструментом.
	Ø65	відсутня	Діаметральний розмір.
	138 <sub>-0,4</sub>	відсутня	Суміщення баз.
		відсутня	Суміщення баз.

Чистовими технологічними базами на операції 020 (рисунок 2.8) є вісь попередньо обробленого отвору (точки 1, 3; 2, 4) та торцева поверхня (точка 5). Шоста точка реалізується за рахунок сил тертя.

Аналіз вибору технологічних баз на операції 020.





Чистовими технологічними базами на операції 025 (рисунок 2.9) є вісь попередньо обробленого отвору (точки 1, 3; 2, 4) та торцева поверхня (точка 5). Шоста точка реалізується за рахунок базування по пазу (точка 6) для визначення положення заготовки деталі в кутовому напрямку.

Аналіз вибору технологічних баз на операції 025.

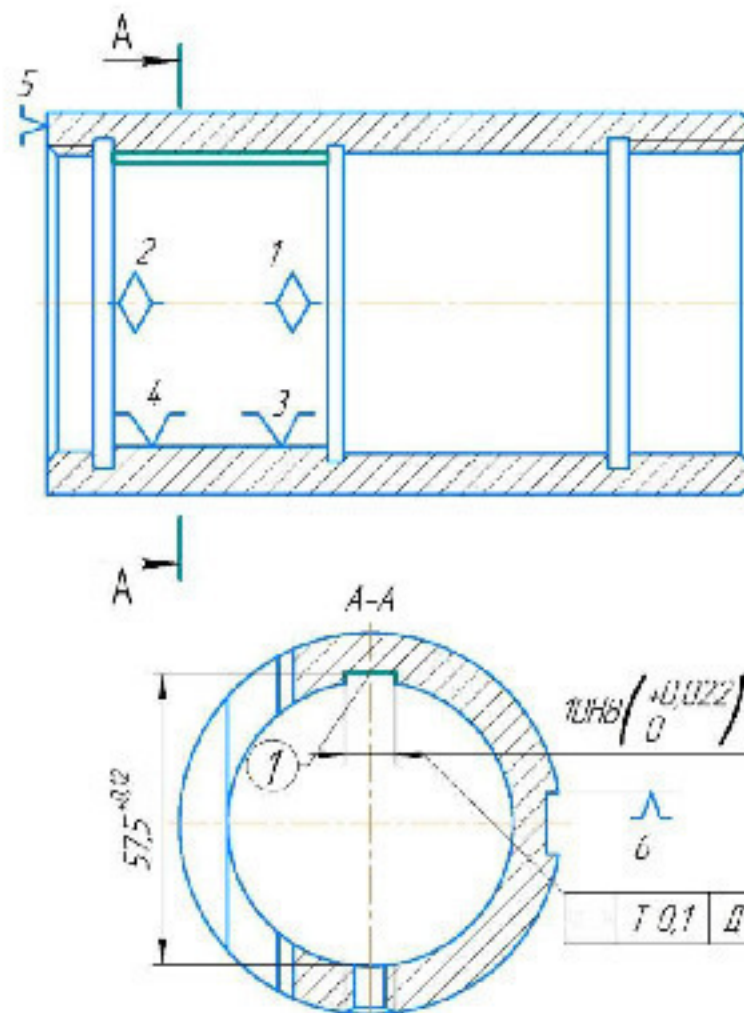


Рисунок 2.9 – Схема вибору технологічних баз на операції 025

Таблиця 2.10 – Аналіз вибору технологічних баз на операції 025

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
025 Горизонтально-протягувальна	10H8	відсутня	Обробка з одного установка.
	$57,5^{+0,12}$	присутня	Похибка буде мінімальна і буде дорівнювати зазору між оправкою і отвором.
	$\equiv \begin{array}{ c c c } \hline T & 0,1 & D \\ \hline \end{array}$	присутня	Похибка буде мінімальна і буде дорівнювати зазору між оправкою і отвором.



Схема базування на операції 030 (рисунок 2.10) аналогічна операціям 010,015.

Аналіз вибору технологічних баз на операції 030.

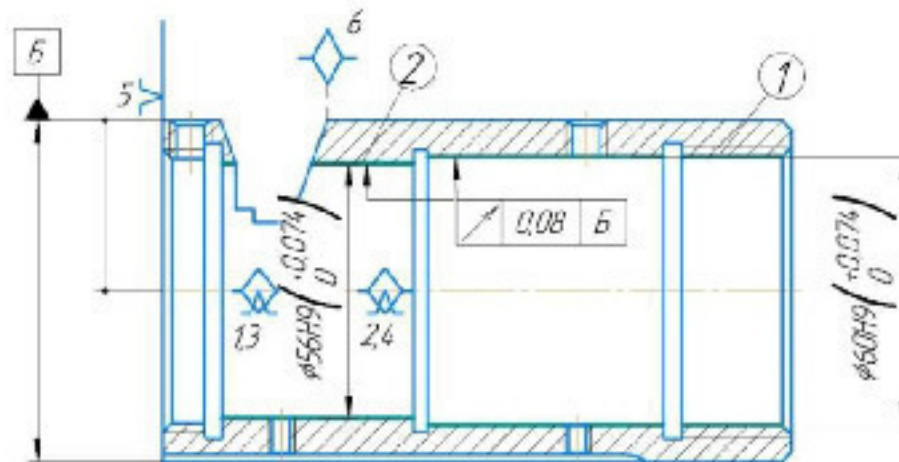


Рисунок 2.10 – Схема вибору технологічних баз на операції 030

Таблиця 2.11 – Аналіз вибору технологічних баз на операції 030

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
030 Токарна з ЧПК	$\sqrt{0,08 \quad B}$	відсутня	Обробка з одного установа.
	$\varnothing 56H9 \begin{pmatrix} +0,074 \\ 0 \end{pmatrix}$	відсутня	Діаметральний розмір.
	$\varnothing 60H9 \begin{pmatrix} +0,074 \\ 0 \end{pmatrix}$	відсутня	Діаметральний розмір.

Чистовими технологічними базами на операції 035 (рисунок 2.11) є вісь отвору (точки 1, 3; 2, 4) торцева поверхня (точка 5), шоста точка реалізується за рахунок сил тертя.

Аналіз вибору технологічних баз на операції 035.

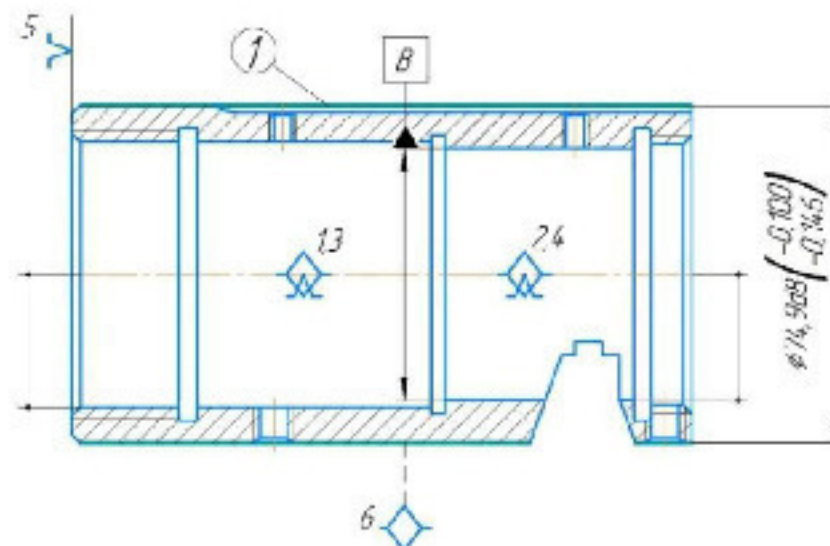


Рисунок 2.11 – Схема вибору технологічних баз на операції 035

Таблиця 2.12 – Аналіз вибору технологічних баз на операції 035

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
035 Токарна з ЧПК	$\varnothing 74,9d8 \begin{pmatrix} -0,146 \\ -0,100 \end{pmatrix}$	відсутня	Діаметральний розмір.

Вибір чорнових технологічних баз.

При виборі чорнових технологічних баз вирішуються задачі:

- забезпечення розмірного зв'язку між обробленими поверхнями деталі і необробленими її поверхнями (перша задача);
- забезпечення зрізання мінімального рівномірного припуску з певної поверхні при першому переході її механічної обробки (друга задача).

На операції 005 (рисунок 2.12) в якості чорнових технологічних баз використовуються вісь необробленого отвору (точки 1, 3; 2, 4) торцева поверхня (точка 5), шоста точка реалізується за рахунок сил тертя (точка 6). При цьому вирішується друга задача.

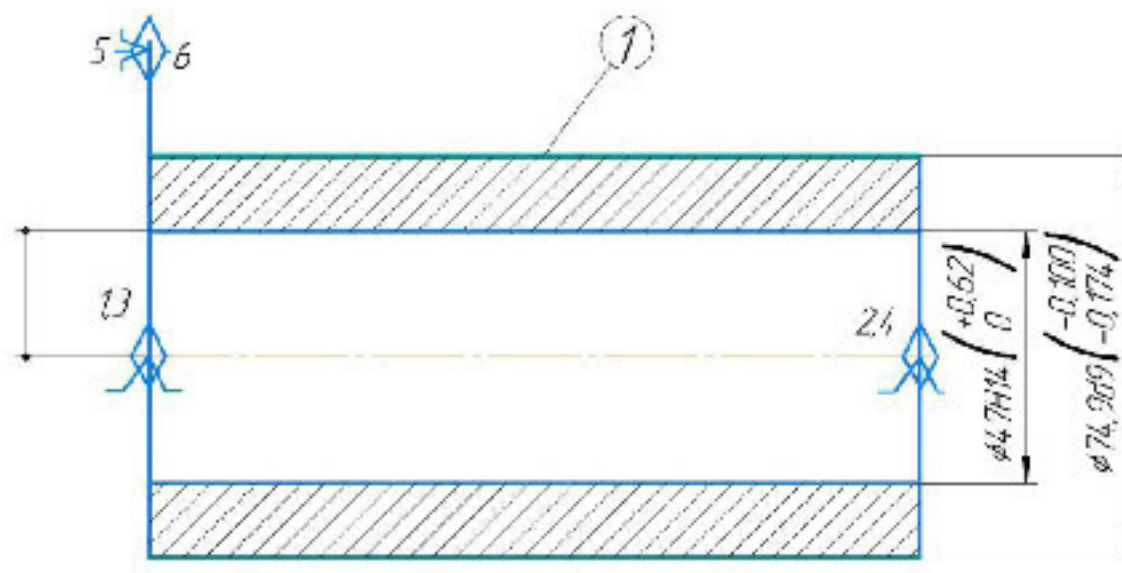


Рисунок 2.12 – Схема базування на операції 005

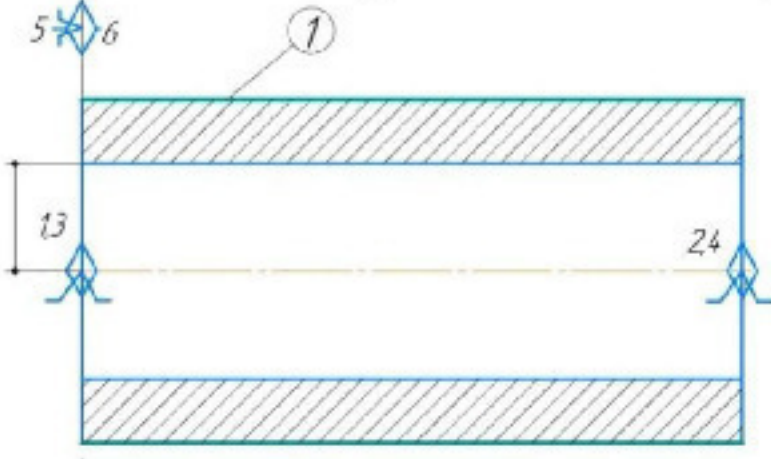
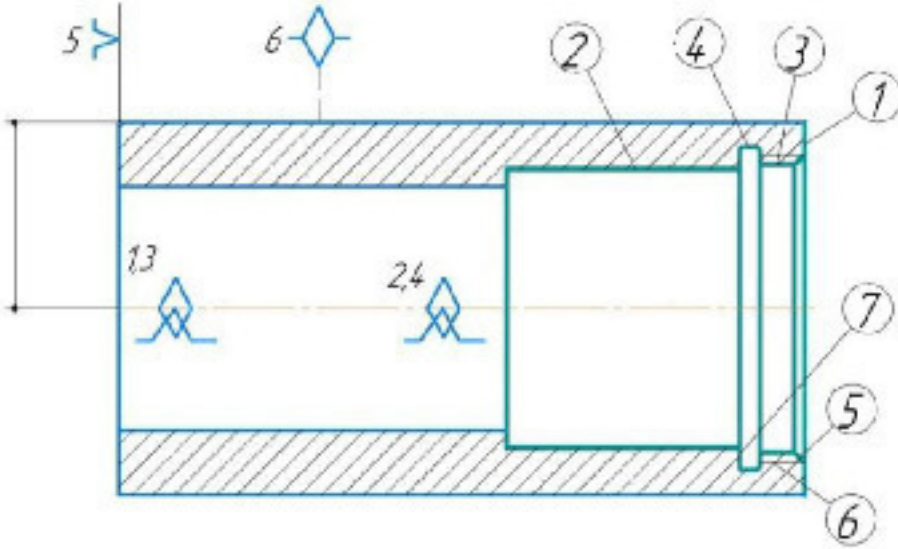
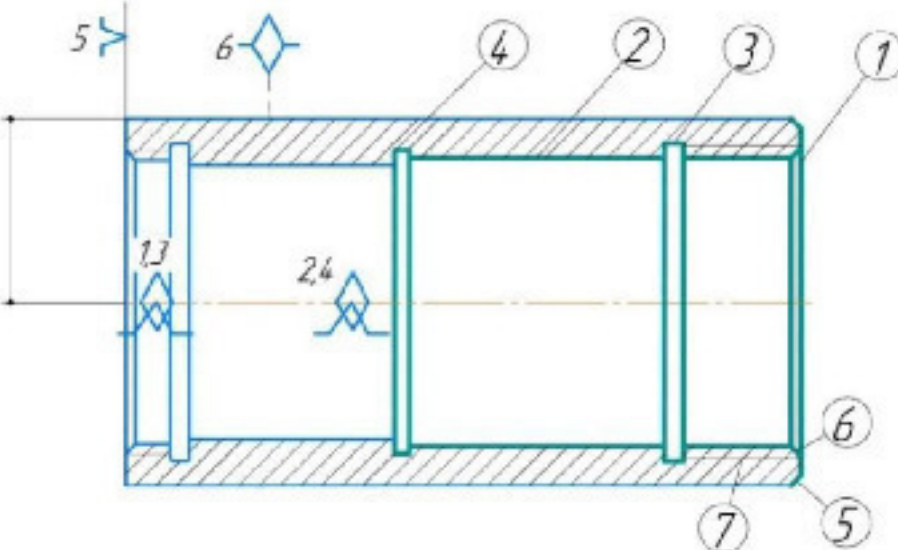
Заготовка – трубний прокат Труба  $\frac{83 \times 18 \text{ГОСТ} 8734 - 75}{\text{АСт.45ГОСТ} 8731 - 74}$ . Допуск діаметрального розміру у вихідній заготовці складає 3 мм.

Технологічний маршрут обробки поверхні  $\varnothing 74,9d8 \begin{pmatrix} -0,146 \\ -0,100 \end{pmatrix}$  складається з трьох переходів – чорнового, напівчистового, чистового.

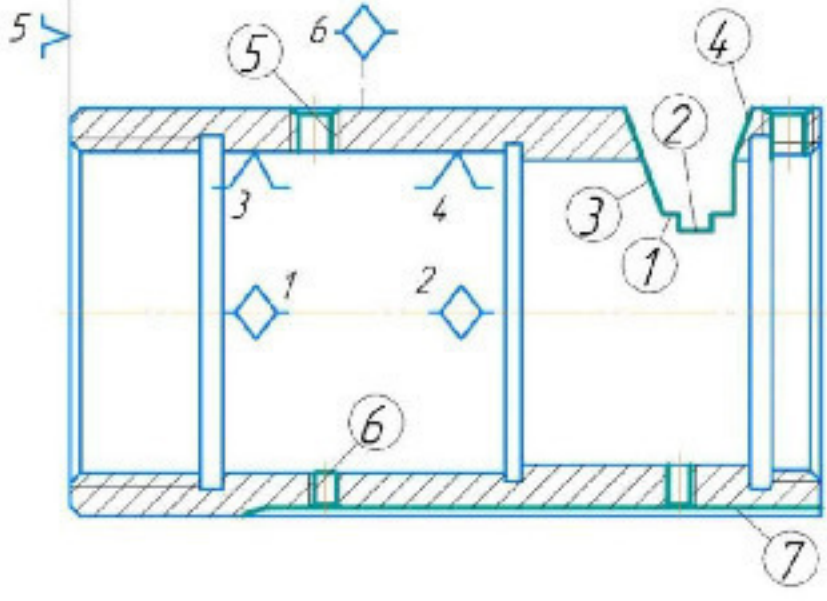
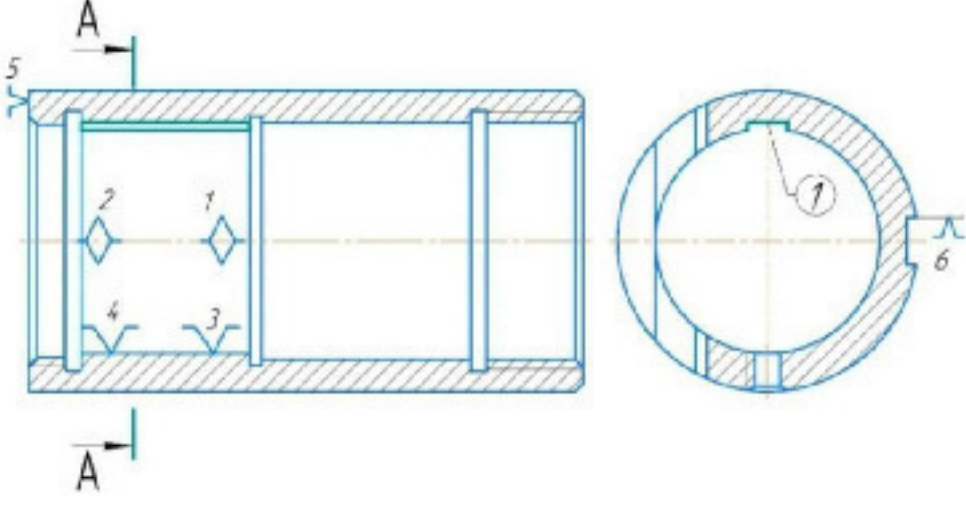
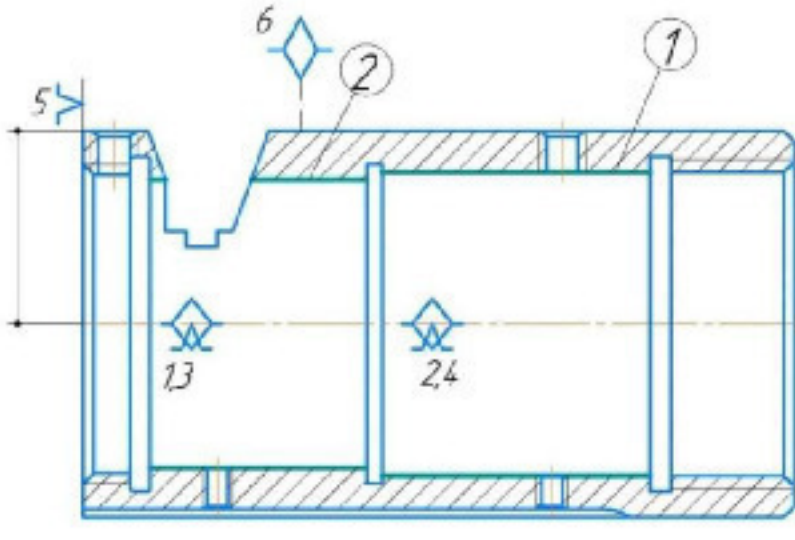


## 2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу

Таблиця 2.13 – Маршрут механічної обробки заготовки деталі «Корпус кулачків У6.02027А» (1 варіант)

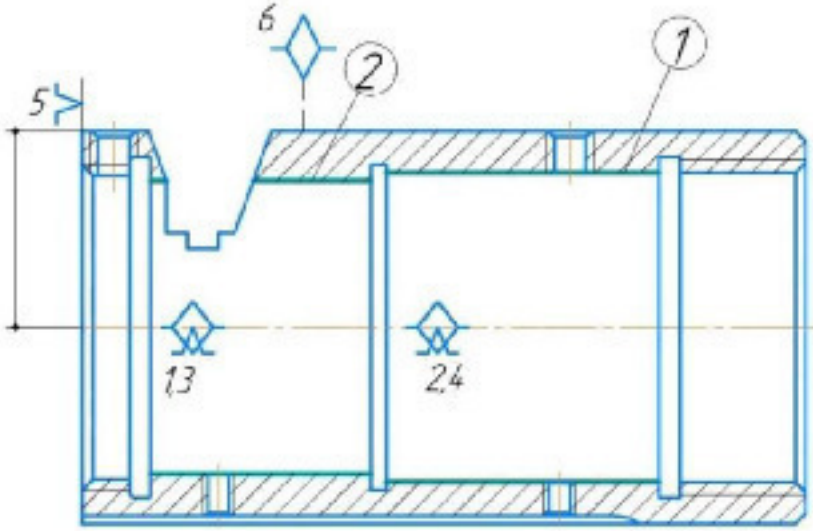
Номер, назва і зміст операції	Ескіз обробки зі схемою базування	Тип і модель верстата
1	2	3
<p>005 Токарна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити деталь, закріпити.</li> <li>2. Точити пов. 1 попередньо.</li> <li>3. Точити пов. 1 попередньо.</li> <li>4. Точити пов. 1 остаточно.</li> </ol>		<p>Токарний з ЧПК 16К20Т1</p>
<p>010 Токарно-револьверна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити деталь, закріпити.</li> <li>2. Підрізати торець 1 одноразово.</li> <li>3. Розточити поверхню 3,2 попередньо і торець 7 однократно.</li> <li>4. Розточити фаску 5 одноразово і отвори 3,2 попередньо</li> <li>5. Розточити канавку 4.</li> <li>6. Нарізати різь 6.</li> </ol>		<p>Токарно-револьверний з ЧПК 1П420ПФ30</p>
<p>015 Токарно-револьверна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити деталь, закріпити.</li> <li>2. Підрізати торець 1 одноразово.</li> <li>3. Точити фаску 5.</li> <li>4. Розточити отвір 2 попередньо.</li> <li>5. Розточити отвір 2 попередньо, фаску 6.</li> <li>6. Розточити канавки 3,4.</li> <li>7. Нарізати різь 7.</li> </ol>		<p>Токарно-револьверний з ЧПК 1П420ПФ30</p>

## Продовження таблиці 2.13

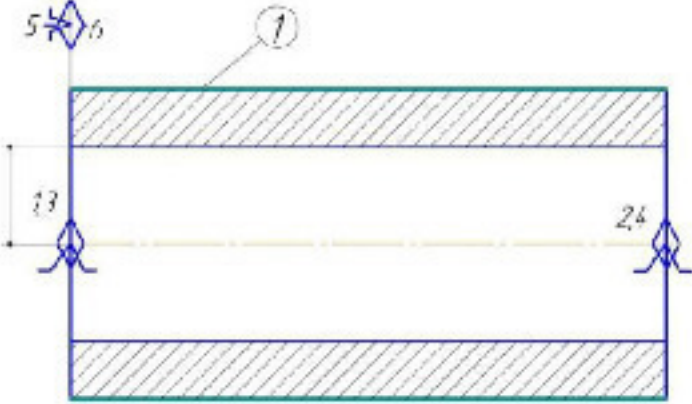
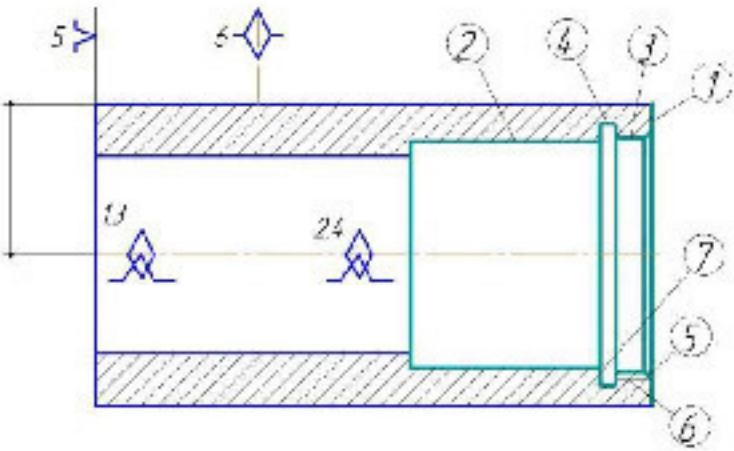
1	2	3
<p>020 Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <p>1. Встановити деталь, закріпити.  2. Фрезерувати пов.1.  3. Фрезерувати пов.2.  4. Фрезерувати пов.3.  5. Фрезерувати пов.4.  6. Фрезерувати пов. 7 однократно.  7. Центрувати 3 отвори 5, 2 отвори 6.  8. Сверлити 3 отв. 5.  9. Нарізати різь в 3 отворах 5.  10. Сверлити 2 отв. 6.  11. Нарізати різь в 2 отворах 6.</p>		<p>Вертикально-фрезерний з ЧПК ЛТ260МФ3</p>
<p>025 Горизонтально-протягувальна</p> <p>1. Встановити деталь, закріпити.  2. Повернути деталь на 90°.  3. Протягнути пов. 1.</p>		<p>Горизонтально-протягувальний 7Б55У</p>
<p>030 Токарна з ЧПК</p> <p>1. Встановити деталь, закріпити.  2. Розточити поверхню 1 остаточно.  3. Розточити поверхню 2 остаточно.</p>		<p>Токарний з ЧПК 160НТ</p>



## Продовження таблиці 2.13

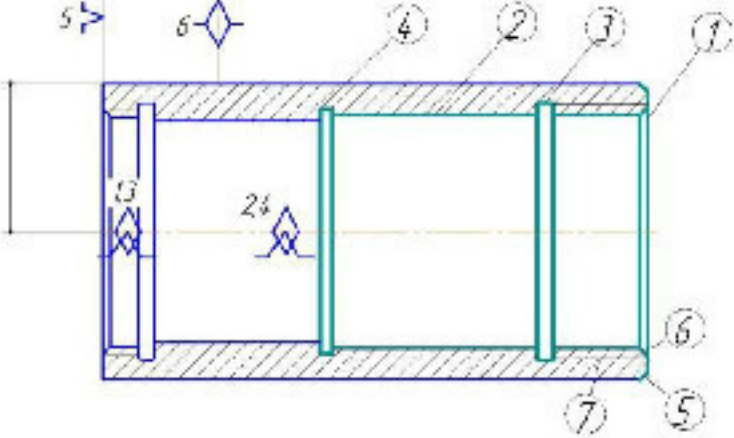
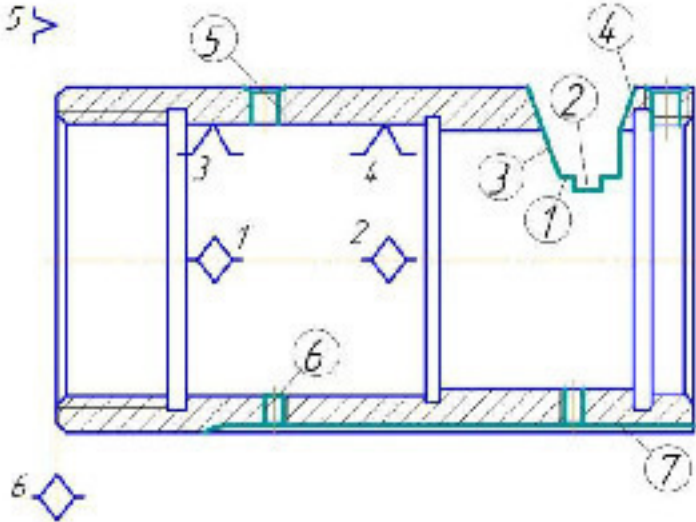
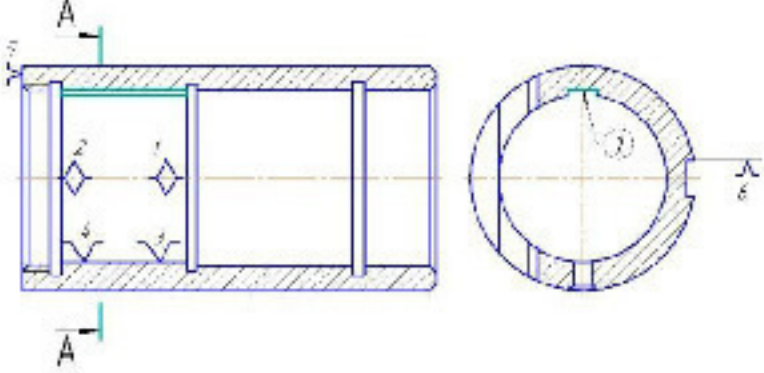
1	2	3
<p>035 Токарна з ЧПК</p> <p>1. Встановити деталь, закріпити. 2. Точити поверхню 1 тонко(остаточно).</p>		<p>Токарний з ЧПК МК6801Ф3</p>

Таблиця 2.14 – Маршрут механічної обробки заготовки деталі «Корпус кулачків У6.02027А» (2 варіант)

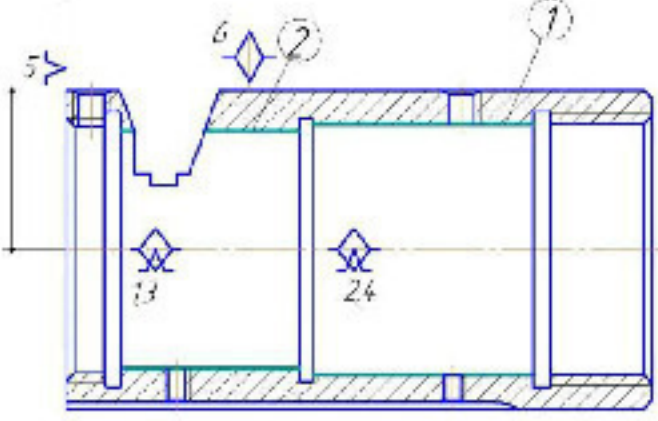
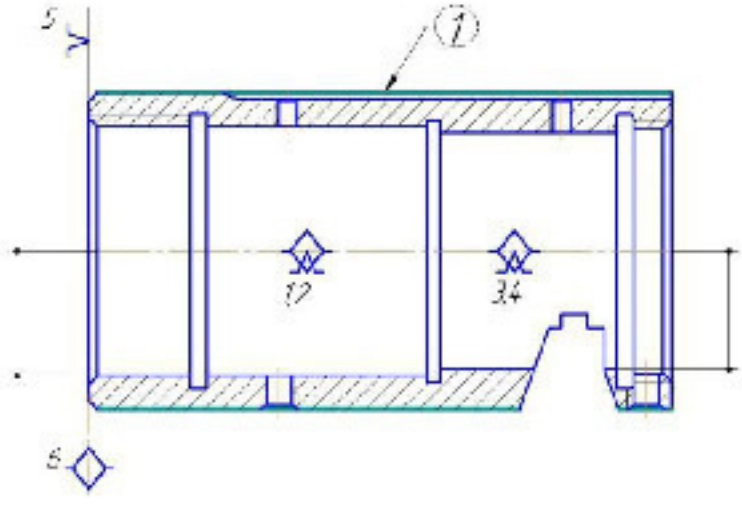
Номер, назва і зміст операції	Ескіз обробки зі схемою базування	Тип і модель верстата
1	2	3
<p>005 Токарна з ЧПК</p> <p>1. Встановити деталь в центри, закріпити. 2. Точити пов. 1 попередньо. 3. Точити пов. 1 попередньо. 4. Точити пов. 1 остаточно.</p>		<p>Токарний з ЧПК 16К20Т1</p>
<p>010 Токарно-револьверна з ЧПК</p> <p>1. Встановити деталь в патрон, закріпити. 2. Підрізати торець 1 одноразово. 3. Розточити поверхню 3,2 попередньо і торець 7 однократно. 4. Розточити фаску 5 одноразово і отвори 3,2 попередньо. 5. Розточити канавку 4. 6. Нарізати різь 6.</p>		<p>Токарно-револьверний з ЧПК 1П420ПФ30</p>



Продовження таблиці 2.14

1	2	3
<p>015 Токарно-револьверна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити деталь в патрон, закріпити.</li> <li>2. Підрізати торець 1 одноразово.</li> <li>3. Точити фаску 5.</li> <li>4. Розточити отвір 2 попередньо.</li> <li>5. Розточити отвір 2 попередньо, фаску 6.</li> <li>6. Розточити канавки 3,4.</li> <li>7. Нарізати різь 7.</li> </ol>		<p>Токарно-револьверний з ЧПК 1П420ПФ30</p>
<p>020 Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити деталь в патрон, закріпити.</li> <li>2. Фрезерувати пов.1.</li> <li>3. Фрезерувати пов.2.</li> <li>4. Фрезерувати пов.3.</li> <li>5. Фрезерувати пов.4.</li> <li>6. Фрезерувати пов. 7 однократно.</li> <li>7. Центрувати 3 отвори 5, 2 отвори 6.</li> <li>8. Сверлити 2 отв. 5.</li> <li>9. Нарізати різь в 2 отворах 5</li> <li>10. Сверлити 2 отв. 6.</li> <li>11. Нарізати різь в 2 отворах 6.</li> <li>12. Повернути деталь на 90°.</li> <li>13. Сверлити 1 отв. 5.</li> <li>14. Нарізати різь в 1 отворі 5.</li> </ol>		<p>Вертикально-фрезерний з ЧПК ЛТ260МФ3</p>
<p>025 Горизонтально-протягувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити деталь в патрон, закріпити.</li> <li>2. Повернути деталь на 90°.</li> <li>3. Протягнути пов.1.</li> </ol>		<p>Горизонтально-протягувальний 7Б55У</p>

Продовження таблиці 2.14

1	2	3
<p>030 Внутрішньошліфувальна</p> <p>1. Встановити деталь в патрон, закріпити. 2. Шліфувати поверхню 1 остаточно. 3. Шліфувати поверхню 2 остаточно.</p>		<p>Внутрішньо-шліфувальний 3A228Б</p>
<p>035.Круглошліфувальна з ЧПК</p> <p>1. Встановити деталь, закріпити. 2. Шліфувати поверхню 1 остаточно.</p>		<p>Кругло-шліфувальний 3M151Ф2</p>

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

Цехова собівартість (грн.) операції механічної обробки складає [7]:

$$C_o = \frac{C_{п-в} \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot k_B} \text{ [грн.]}, \quad (2.30)$$

де  $C_{п-в}$  – цехові годинні приведені витрати, грн/год;  $T_{ш-к}$  – штучно-калькуляційний час виконання операції, хв,  $k_B$  – коефіцієнт виконання норм (в машинобудуванні складає 1,3).

Для порівняння розраховується цехова собівартість тих операцій, які відрізняються в розроблених маршрутах.

Таблиця 2.15 – Основний час виконання операцій в першому маршруті

№ опції	Найменування операції	Основний технологічний час $T_{осн} \cdot 10^{-3}$ , хв.	фк	Штучно-калькуляційний час $T_{шт.-к} \cdot 10^{-3}$ , хв.
<b>1 варіант</b>				
030	Токарна з ЧПК 1. Встановити деталь в патрон, закріпити. 2. Розточити поверхню 1 остаточно. 3. Розточити поверхню 2 остаточно.	$T_{осн} = T_{осн1} + T_{осн2}$ $T_{осн} = 0,000175Dl + 0,000052Dl =$ $0,000175 \cdot 60 \cdot 80 + 0,000052 \cdot 56 \cdot 55 =$ $= 1,00 \text{ хв.}$	1,3	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \phi_k =$ $= 1,0 \cdot 1,30 =$ $1,3 \text{ хв.}$
		$\sum T_{осн} = 1,0 \text{ хв.}$		
035	Токарна з ЧПК Встановити деталь, закріпити. 1. Точити поверхню 1 остаточно.	$T_{осн} = 0,000052Dl =$ $0,000052 \cdot 74,9 \cdot 138 =$ $0,537 \text{ хв.}$		$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \phi_k =$ $= 0,537 \cdot 1,30 =$ $0,698 \text{ хв.}$
		$\sum T_{осн} = 0,537 \text{ хв.}$		

Таблиця 2.16 – Основний час виконання операцій в другому маршруті

№ опції	Найменування операції	Основний технологічний час $T_{осн} \cdot 10^{-3}$ , хв	фк	Штучно-калькуляційний час $T_{шт.-к} \cdot 10^{-3}$ , хв
<b>2 варіант</b>				
030	Внутрішньо-шліфувальна з ЧПК 1. Встановити деталь в патрон, закріпити. 2. Шліфувати поверхню 1. 3. Шліфувати поверхню 2.	$T_{осн} = T_{осн1} + T_{осн2}$ $T_{осн} = 0,00061Dl +$ $0,00061Dl = 0,00061 \cdot 60 \cdot 80 +$ $0,00061 \cdot 56 \cdot 55 = 4,806 \text{ хв.}$	1,55	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \phi_k =$ $= 4,806 \cdot 1,55 =$ $7,806 \text{ хв.}$
		$\sum T_{осн} = 4,806 \text{ хв.}$		
035	Кругло-шліфувальна з ЧПК 1. Встановити деталь, закріпити. 2. Шліфувати поверхню 1.	$T_{осн} = 0,00066Dl =$ $0,00066 \cdot 74,9 \cdot 138 = 6,821 \text{ хв.}$	1,52	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \phi_k =$ $= 6,821 \cdot 1,52 =$ $10,367 \text{ хв.}$
		$\sum T_{осн} = 6,821 \text{ хв.}$		

Цехова собівартість операцій механічної обробки:

$$C_o = \frac{C_{пз} \cdot T_{шк}}{60 \cdot K_B} \text{ [грн.]} \quad (2.31)$$

1 варіант

$$C_{0I(035)} = \frac{47,5 \cdot 1,3}{60 \cdot 1,3} = 0,79 \text{ (грн.);}$$

$$C_{0I(040)} = \frac{48,6 \cdot 0,698}{60 \cdot 1,3} = 0,435 \text{ (грн.)}$$

2 варіант

$$C_{0II(035)} = \frac{35,7 \cdot 7,806}{60 \cdot 1,3} = 3,57 \text{ (грн.);}$$

$$C_{0II(040)} = \frac{42,0 \cdot 10,367}{60 \cdot 1,3} = 5,58 \text{ (грн.)}$$

$$E = (C_{0I} - C_{0II}) \cdot N = (0,79 + 0,435) - (3,57 + 5,58) \cdot 4500 = -41174 \text{ (грн.)}$$

Висновок. Собівартість механічної обробки по варіанту маршруту №2 більша, ніж по варіанту №1, отже приймаємо для подальших розрахунків варіант №1.

## 2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу

### 2.8.1 Вибір розташування технологічних розмірів

Технологічні розміри вибрані таким чином, щоб виконання принципу суміщення баз і обробку максимальної кількості поверхонь з одного установа. Розташування технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки показані на розмірній схемі технологічного процесу (рис. 2.13).



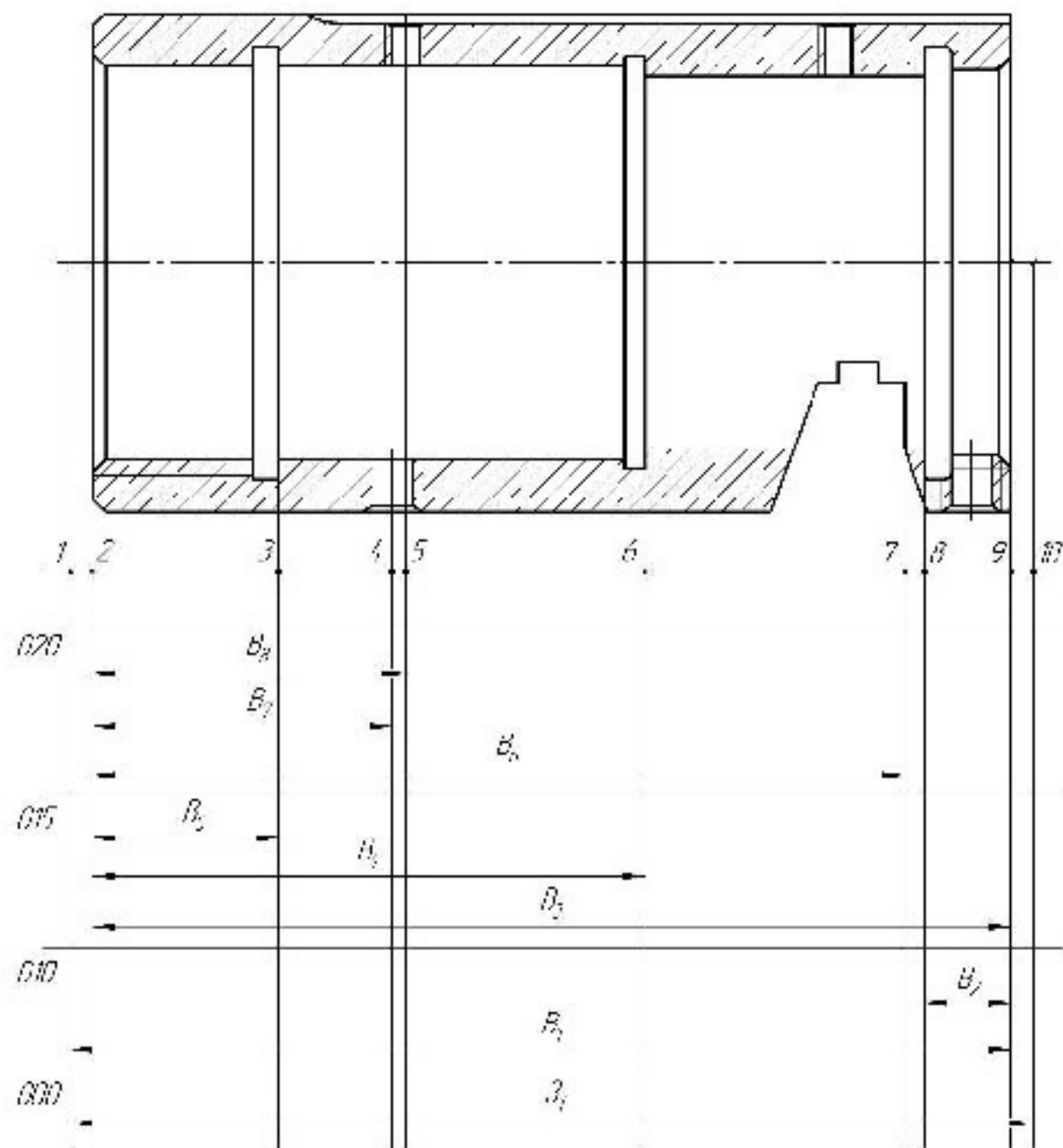


Рисунок 2.13 – Розмірна схема технологічного процесу

## 2.8.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів [10]

Таблиця 2.17 – Допуски технологічних розмірів

Вихідна заготовка			
Розмір	Спосіб виготовлення	Клас розмірної точності	Допуск, мм
$Z_1$	Штучний трубний сортовий прокат	-	1
Механічна обробка			
Технологічний розмір	Спосіб обробки	Квалітет точності	Допуск, мм
$B_1$	Одноразове точіння	14	0,5
$B_2$	Одноразове точіння	14	0,5
$B_3$	Одноразове точіння	14	0,4
$B_4$	Одноразове точіння	14	0,35
$B_5$	Одноразове точіння	14	0,26
$B_6$	Попереднє фрезерування	14	0,5
$B_7$	Свердління	14	0,31
$B_8$	Свердління	14	0,31



### 2.8.3 Розмірна схема технологічного процесу

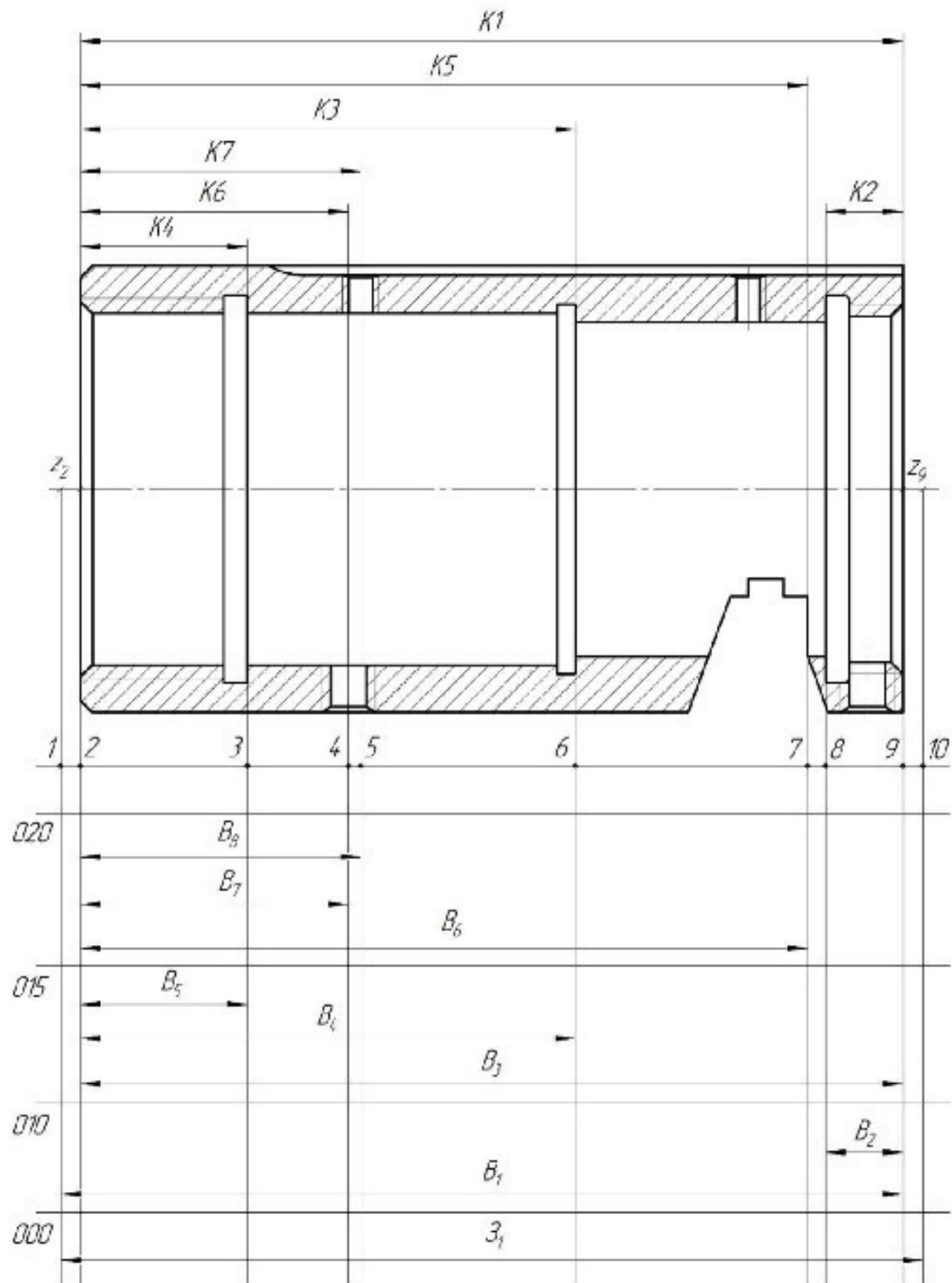


Рисунок 2.14 – Розмірна схема технологічного процесу

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

Побудовані на основі розмірної схеми технологічного процесу похідний граф-дерево, вихідний граф-дерево і суміщений граф, які показані на рисунках 2.15, 2.16 та 2.17.

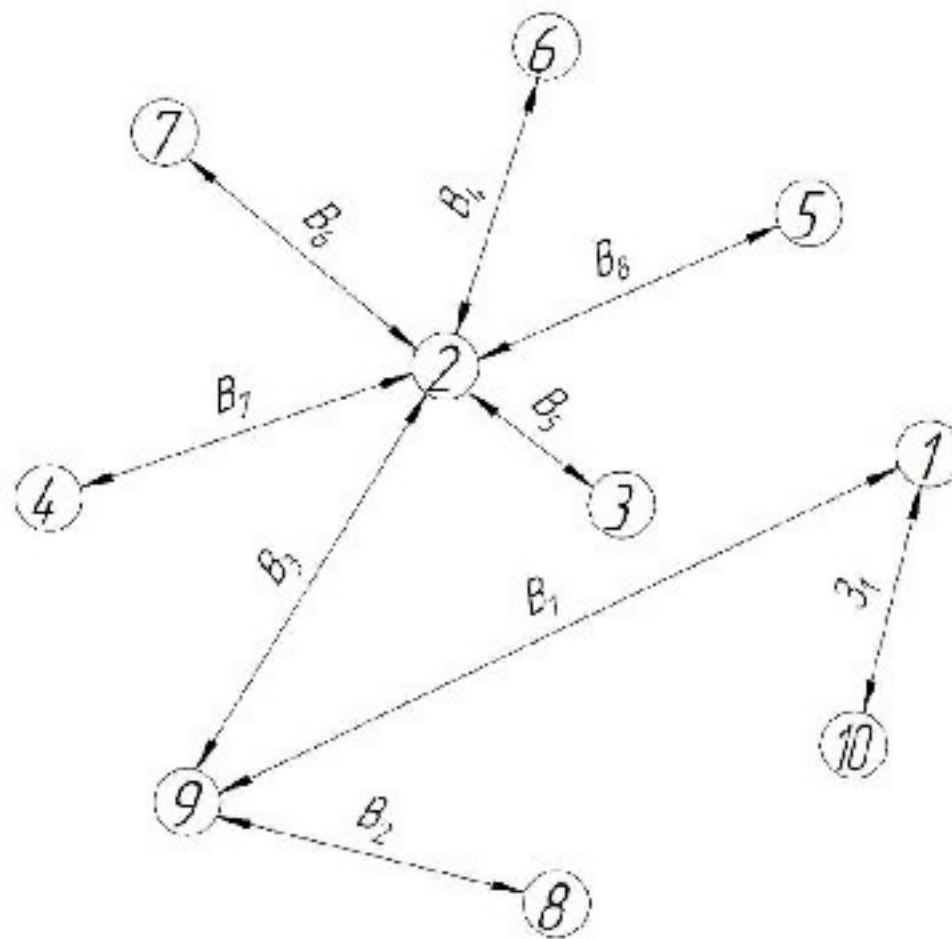


Рисунок 2.15 – Похідний граф-дерево

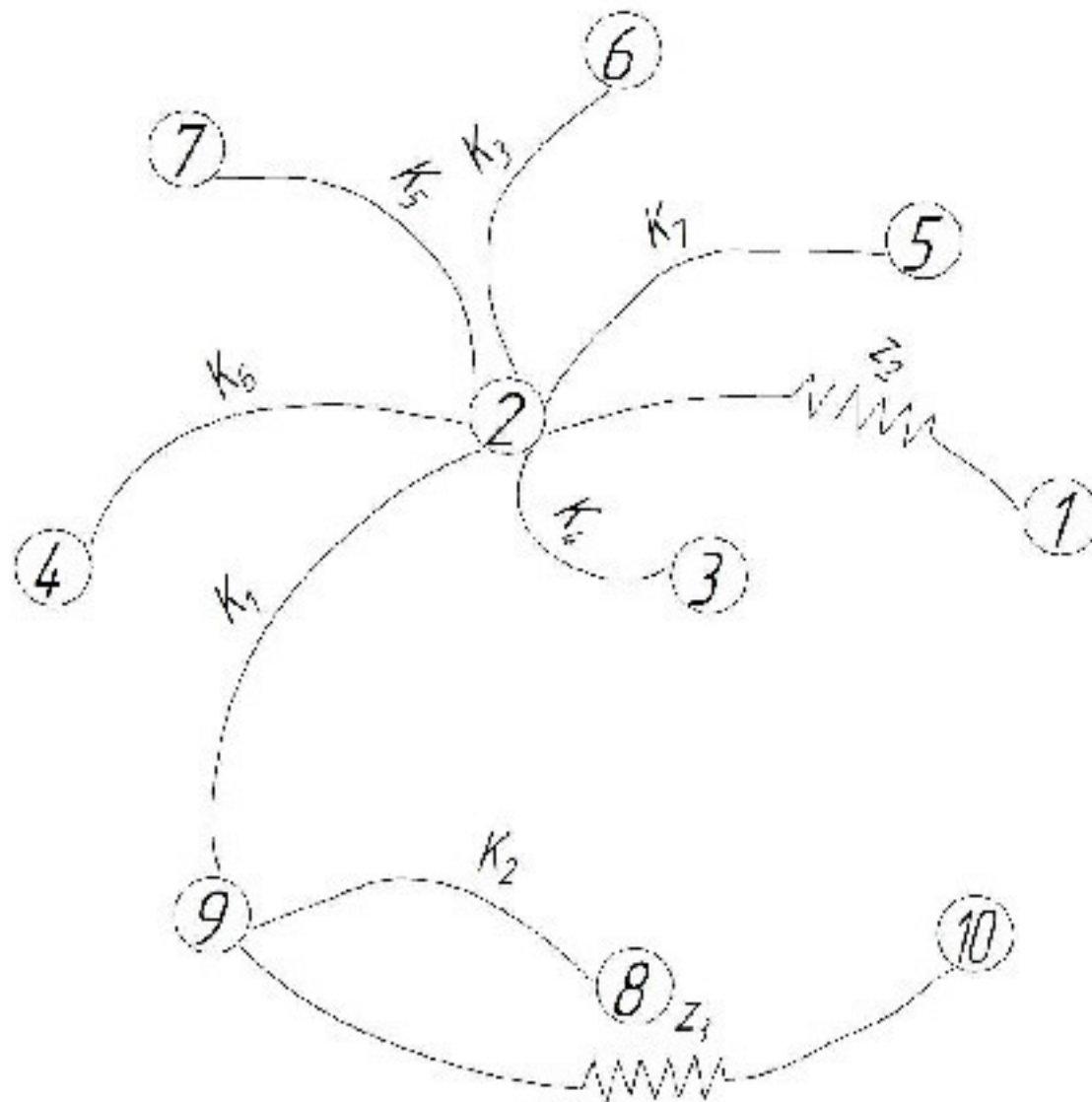


Рисунок 2.16 – Вихідний граф-дерево

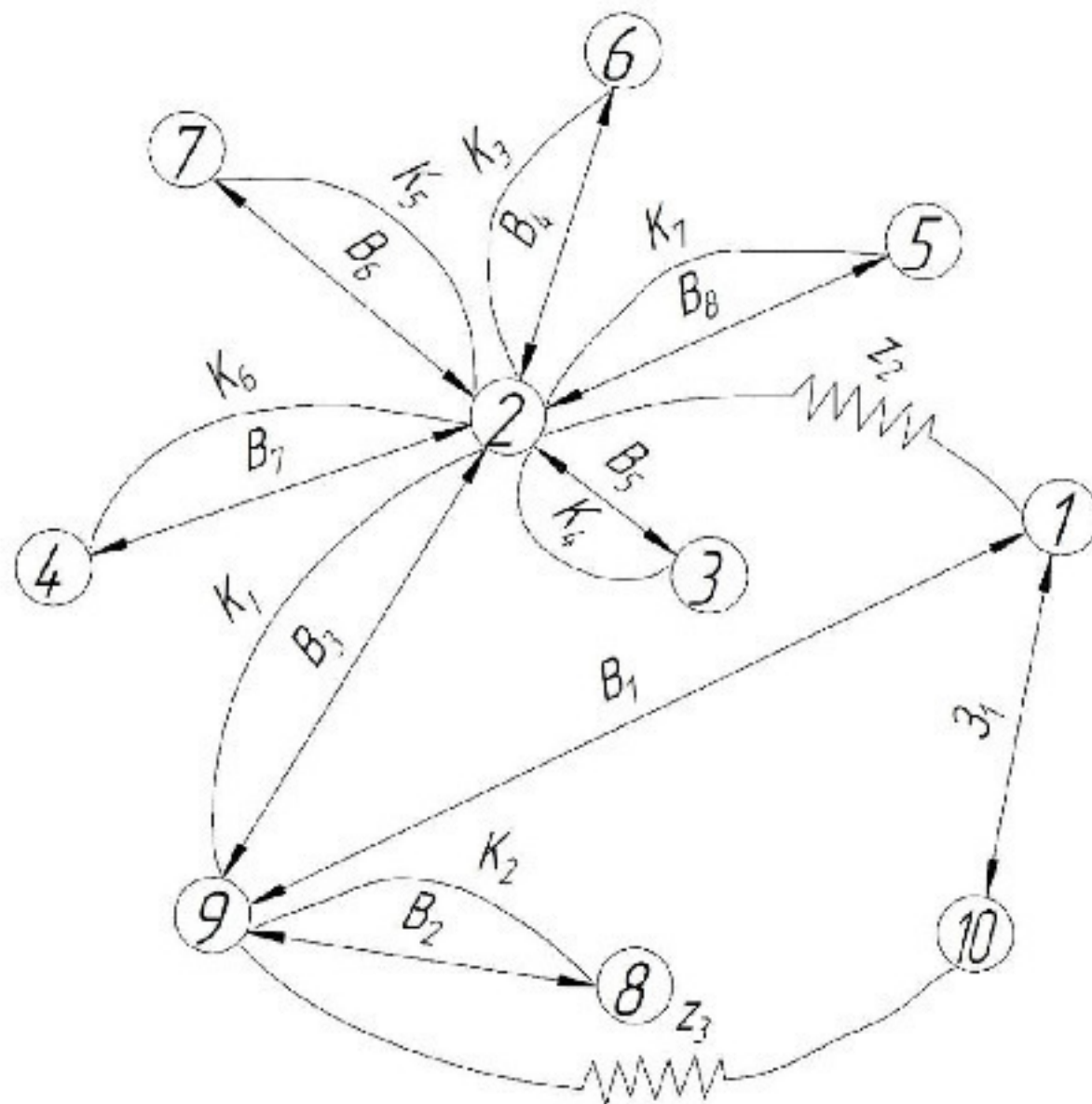


Рисунок 2.17 – Суміщений граф (граф технологічних розмірних ланцюгів)

Суміщений граф являє собою графічне зображення технологічного процесу механічної обробки.

2.8.5 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь [7]

Таблиця 2.18 – Проміжні мінімальні припуски на механічну обробку

Позначення припуску	Спосіб обробки, під час виконання якої знімається припуск	Кількісне значення мінімального припуску, мм
$Z_2$	Одноразове точіння	2
$Z_9$	Одноразове точіння	2

2.8.6 Таблиця рівнянь розмірних технологічних ланцюгів

Рівняння розмірних технологічних ланцюгів представлена в таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Рівняння технологічних ланцюгів

№ рівн.	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що визначається
1	$-K_5 + B_6 = 0$	$K_5 = B_6$	$B_6$
2	$-K_3 + B_4 = 0$	$K_3 = B_4$	$B_4$
3	$K_7 - B_8 = 0$	$K_7 = B_8$	$B_8$
4	$-K_6 + B_7 = 0$	$K_6 = B_7$	$B_7$
5	$-K_1 + B_3 = 0$	$K_1 = B_3$	$B_3$
6	$-K_4 + B_5 = 0$	$K_4 = B_5$	$B_5$
7	$-K_2 + B_2 = 0$	$K_2 = B_2$	$B_2$
8	$-z_2 + B_1 - B_3 = 0$	$B_1 = B_3 + z_2$	$B_1$
9	$-Z_9 - B_1 + 3_1 = 0$	$3_1 = z_9 + B_1$	$3_1$

2.8.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків, корекція (за необхідністю) допусків технологічних розмірів і (або) маршруту механічної обробки

Рівняння 1

$$K_5 = B_6 = 122 \pm 0,25 \text{ (мм)}.$$

Рівняння 2

$$K_3 = B_4 = 80 \pm 0,37 \text{ (мм)}.$$

Рівняння 3

$$K_7 = B_8 = 47 \pm 0,25 \text{ (мм)}.$$

Рівняння 4

$$K_6 = B_7 = 45 \pm 0,37 \text{ (мм)}.$$

Рівняння 5

$$K_1 = B_3 = 138_{-0,4} \text{ (мм)}.$$

Рівняння 6

$$K_4 = B_5 = 28 \pm 0,37 \text{ (мм)}.$$

Рівняння 7

$$K_2 = B_2 = 13 \pm 0,5 \text{ (мм)}.$$

Рівняння 8

$$z_2 = B_1 - B_3 \text{ [мм]},$$

$$z_{2\min} = B_{1\min} - B_{3\max} \text{ [мм]},$$

$$z_{2\max} = B_{1\max} - B_{3\min} \text{ [мм]},$$

$$z_{2\max} = 141,6 - 137,6 = 4 \text{ (мм)}.$$

$$B_{1\min} = z_{2\min} + B_{3\max} = 2 + 138 = 140 \text{ (мм)}.$$

$$B_{1\max} = B_{1\min} + T(B_1) = 140 + 1,6 = 141,6 \text{ (мм)}.$$

Рівняння 9

$$Z_9 = Z_1 - B_1 \text{ [мм]},$$

$$z_{9\min} = Z_{1\min} - B_{1\max} \text{ [мм]},$$

$$z_{9\max} = Z_{1\max} - B_{1\min} \text{ [мм]},$$

$$z_{9\max} = 144,6 - 140 = 4,6 \text{ (мм)}.$$

$$Z_{1\min} = B_{1\max} + z_{9\min} = 141,6 + 2 = 143,6 \text{ (мм)}.$$

$$Z_{1\max} = Z_{1\min} + T(Z_1) = 143,6 + 1 = 144,6 \text{ (мм)}.$$

Таблиця 2.20 – Результати розмірного аналізу технологічного процесу

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номінальний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
	Мінімальний розмір	Максимальний розмір				
B <sub>1</sub>	140	141,6	1,6	140	141,6 <sub>-1,6</sub>	-
B <sub>2</sub>	12,5	13,5	1	13	13 ± 0,5	-
B <sub>3</sub>	137,6	138	0,4	138	138 <sub>-0,4</sub>	-
B <sub>4</sub>	79,63	80,37	0,74	80	80 ± 0,37	-
B <sub>5</sub>	27,63	28,37	0,74	28	28 ± 0,37	-
B <sub>6</sub>	121,75	122,25	0,5	122	122 ± 0,25	-
B <sub>7</sub>	44,63	45,37	0,74	45	45 ± 0,37	-
B <sub>8</sub>	46,75	47,25	0,5	47	47 ± 0,25	-
Z <sub>1</sub>	143,6	144,6	1	144	-	144 ± 0,5

Таблиця 2.21 – Максимальні припуски на механічну обробку

Позначення припуску	Спосіб обробки, під час виконання якої знімається припуск	Кількісне значення мінімального припуску, мм
Z <sub>2</sub>	Одноразове точіння	4
Z <sub>9</sub>	Одноразове точіння	4,6



## 2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

2.9.1 Визначення припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні  $\varnothing 74,9d8_{-0.146}^{-0.100}$  мм.

Поверхня  $\varnothing 74,9d8_{-0.146}^{-0.100}$  мм обробляється на двох операціях.

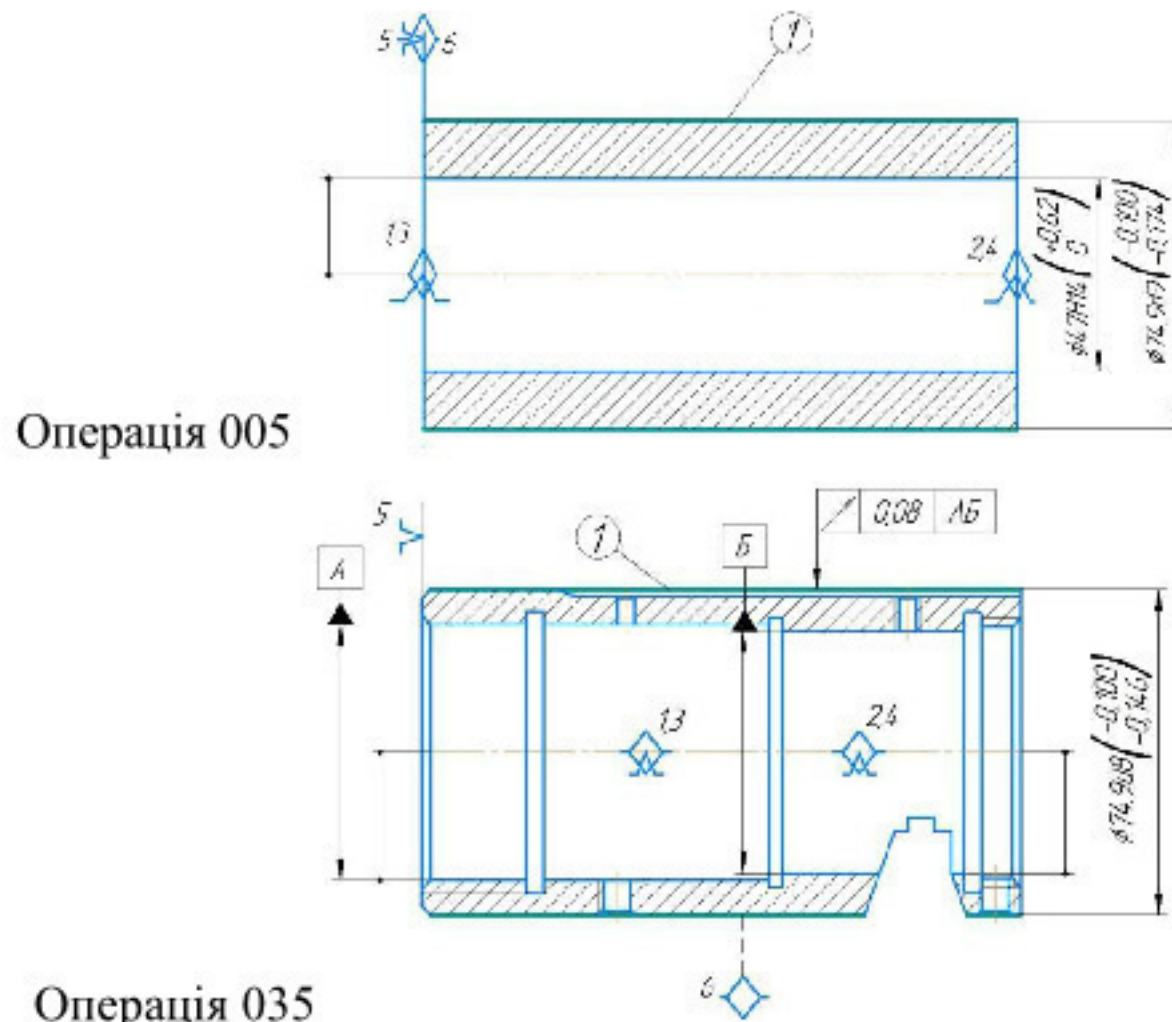


Рисунок 2.18 – Схема устанавлення і обробки заготовки деталі на операціях 005 та 035

Заготовка – трубний прокат Труба  $\frac{83 \times 18 \text{ГОСТ} 8734 - 75}{\text{АСт.45ГОСТ} 8731 - 74}$ . Допуск діаметрального розміру у вихідній заготовці складає 3 мм.

Технологічний маршрут обробки поверхні  $\varnothing 74,9d8$  складається з чотирьох переходів – чорнового, напівчистового, чистового і тонкого точіння.

Визначимо елементи мінімального припуску для всіх переходів обробки отвору [4].

Значення  $Rz$  і  $h$  після чорнового точіння складають відповідно 100 мкм і 100 мкм.

Значення  $Rz$  і  $h$  після напівчистового точіння складають відповідно 50 мкм і 50 мкм.

Значення  $Rz$  і  $h$  після чистового точіння складають відповідно 30 мкм і 30 мкм.

Значення  $Rz$  і  $h$  після тонкого точіння складають відповідно 5 мкм і 0 мкм.

$$\rho = \sqrt{\rho_{\text{жсол}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2} \text{ [мм]}, \quad (2.32)$$

Величина  $\rho_{\text{зм}}$  відсутня.

$$\rho_{\text{жсол}} = \sqrt{(\Delta_k \cdot D)^2 + (\Delta_k \cdot L)^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.33)$$

$$\rho_{\text{жсол}} = \sqrt{(0,6 \cdot 74,9)^2 + (0,6 \cdot 144)^2} = 100 \text{ (мкм)}.$$

де  $\Delta_k$  – питома кривизна і дорівнює  $0,6 \frac{\text{мкм}}{\text{мм}}$ .

$$\rho_{\text{жсол.заг}} = \Delta_k \cdot L \text{ [мкм]}, \quad (2.34)$$

$$\rho_{\text{жсол.заг}} = 0,6 \cdot 144 = 86,4 \text{ (мкм)}.$$

На переходах 1-3  $\varepsilon_B = 0$  мкм (установлення в центрах).

Визначасмо похибку встановлення тільки для операції тонкого точіння (встановлення на розжимну цангову оправку):  $\varepsilon_B = 40$  мкм.

Визначимо розрахункові мінімальні проміжні напуски для точіння:

$$2z_{i\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1}) \text{ [мкм]}, \quad (2.35)$$

Чорнового

$$2z_{\min 1} = 2(200 + 300 + 100) = 2 \cdot 600 \text{ (мкм)};$$

напівчистового

$$2z_{\min 2} = 2(100 + 100 + 6) = 2 \cdot 206 \text{ (мкм);}$$

ЧИСТОВОГО

$$2z_{\min 3} = 2(50 + 50) = 2 \cdot 100 \text{ (мкм);}$$

ТОНКОГО

$$2z_{\min 4} = 2(30 + 30 + 40) = 2 \cdot 100 \text{ (мкм).}$$

Отже, в результаті розрахунків визначені величини всіх мінімальних проміжних припусків.

Визначимо мінімальний розрахунковий розмір:

$$d_{p3} = 74,754 + (2 \cdot 100) = 74,954 \text{ (мм);}$$

$$d_{p2} = 74,954 + (2 \cdot 100) = 75,154 \text{ (мм);}$$

$$d_{p1} = 75,154 + (2 \cdot 206) = 75,566 \text{ (мм);}$$

$$d_{p3} = 75,566 + (2 \cdot 600) = 76,766 \text{ (мм).}$$

Визначимо максимальний розрахунковий розмір:

$$d_{\max 4} = 74,754 + 0,046 = 74,8 \text{ (мм).}$$

$$d_{\max 3} = 74,954 + 0,074 = 75,028 \text{ (мм).}$$

$$d_{\max 2} = 75,154 + 0,19 = 75,344 \text{ (мм).}$$

$$d_{\max 1} = 75,566 + 0,74 = 76,316 \text{ (мм).}$$

$$d_{\max 3} = 75,566 + 3 = 79,566 \text{ (мм).}$$

Визначимо розрахункові максимальні проміжні напуски для точіння:

$$2z_{\max 4} = 75,028 - 74,8 = 0,228 = 2 \cdot 114 \text{ (мкм).}$$

$$2z_{\max 3} = 75,344 - 75,028 = 316 = 2 \cdot 158 \text{ (мкм).}$$

$$2z_{\max 2} = 76,316 - 75,344 = 0,972 = 2 \cdot 486 \text{ (мкм).}$$

$$2z_{\max 1} = 79,766 - 76,316 = 3,45 = 2 \cdot 1725 \text{ (мкм).}$$

Проводимо перевірку правильності виконаних розрахунків:

$$Z_{i\max} - Z_{i\min} = \delta_{i-1} - \delta_i \text{ [мкм]}, \quad (2.36)$$

$$2 \cdot 1725 - 2 \cdot 600 = 3000 - 740 \text{ (мкм).}$$

$$2 \cdot 486 - 2 \cdot 206 = 740 - 190 \text{ (мкм).}$$

$$2 \cdot 158 - 2 \cdot 100 = 190 - 74 \text{ (мкм).}$$

$$2 \cdot 114 - 2 \cdot 100 = 74 - 46 \text{ (мкм).}$$

Таблиця 2.22 – Розрахунок припусків та граничних розмірів по технологічним переходам на обробку отвору  $\varnothing 74,9d8_{-0.146}^{-0.100}$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 74,9d8_{-0.146}^{-0.100}$	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск, $2Z_{\min}$	Розрахунковий розмір, $d_p$	Допуск, $T$ мкм	Граничний розмір		Граничні значення припусків		
	$R_z$	$h$	$\rho$	$\epsilon_v$				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$	
Заготовка	200	300	100	-	-	76,766	3000	76,766	79,766	-	-	
Чорнове точіння	100	100	6	-	2·600	75,566	740	75,566	76,316	2·1725	2·600	
Навпівчистове точіння	50	50	-	-	2·206	75,154	190	75,154	75,344	2·486	2·206	
Чистове точіння	30	30	-	-	2·100	74,954	74	74,954	75,028	2·158	2·100	
Тонке точіння	5	-	-	40	2·100	74,754	46	74,754	74,8	2·114	2·100	
Всього									2·2483	2·1006		

2.9.2 Визначення за нормативами проміжних мінімальних припусків на механічну обробку решти циліндричних поверхонь [12]

Мінімальні проміжні припуски на обробку інших циліндричних поверхонь деталі вибираємо за допомогою дослідно-статистичного (нормативного) методу. Вибрані значення мінімальних припусків записуємо у таблицю 2.23 і 2.24.



Таблиця 2.23 – Припуски і технологічні розміри на механічну обробку циліндричної поверхні  $\varnothing 60H9(0^{+0,074})$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 60H9(0^{+0,074})$	Мінімальний припуск, $2Z_{\min}$	Розрахунковий розмір, $d_p$	Допуск, $T$ мкм	Граничний розмір		Граничні значення припусків	
				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
Чорнове розточування	-	58,874	740	58,13	58,87	-	-
чистове розточування	2·500	59,874	190	59,68	59,87	2·780	2·500
Тонке розточування	2·100	60,074	74	60,0	60,074	2·160	2·100
Всього						2·940	2·600

Таблиця 2.24 – Припуски і технологічні розміри на механічну обробку циліндричної поверхні  $\varnothing 56H9(0^{+0,074})$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 56H9(0^{+0,074})$	Мінімальний припуск, $2Z_{\min}$	Розрахунковий розмір $d_p$ , мм	Допуск, $T$ мкм	Граничний розмір		Граничні значення припусків	
				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
Чорнове розточування	-	54,874	740	54,13	54,87	-	-
Чистове розточування	2·500	55,874	190	55,68	55,87	2·780	2·500
Тонке розточування	2·100	56,074	74	56,0	56,074	2·160	2·100
Всього						2·940	2·600

## 2.10 Призначення режимів різання

Вибір режимів різання виконано за нормативами [14]. Для обробки поверхні  $\varnothing 74,9d8$  (точіння чорнове, напівчистове, операція 005, переходи 1, 2, 3) наведені всі етапи вибору режимів різання. Для решти переходів режими різання показані в таблиці 2.28.

Згідно карти 2 глибина різання для даних переходів складає:  $t_1=3$  мм;  $t_2=0,3$  мм;  $t_3=0,15$  мм.

Рекомендовані значення режимів обробки наведені в таблиці 2.25, враховуючи що матеріал деталі Сталь 45.

Таблиця 2.25 – Значення режимів різання

Виконуваний перехід	Подача мм/об	Швидкість різання, м/хв	Потужність, кВт
Точіння чорнове поверхні 1	0,8	172	8,9
Точіння напівчистове поверхні 1	0,6	226	8,9
Точіння чистове поверхні 1	0,3	210	6,3

Подача визначається за формулою:

$$S_o = S_{от} \cdot K_{sm} \text{ [мм/об]}, \quad (2.37)$$

де  $S_{от}$  – табличне значення подачі мм/об;  $K_{sm}$  – поправковий коефіцієнт.

Поправковий коефіцієнт визначається за формулою:

$$K_{SM} = K_{SM} \cdot K_{Sp} \cdot K_{Sl} \cdot K_{S\phi} \cdot K_{Sd} \cdot K_{Sp} \cdot K_{Si} . \quad (2.38)$$

Вибрані за [14] значення поправкових коефіцієнтів наведені в таблиці 2.26.

Відповідно подача складатиме:

$$S_{чорн1} = 0.8 \cdot 1,15 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,25 = 0,67 \text{ (мм/об)};$$

$$S_{напівчист2} = 0.6 \cdot 1,15 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,25 = 0,53 \text{ (мм/об)};$$

$$S_{чист3} = 0.3 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,24 \text{ (мм/об)}.$$

Швидкість різання визначається за формулою:

$$V = V_T \cdot K_v \text{ [м/хв]}, \quad (2.39)$$

де  $V_T$  – табличне значення швидкості різання м/хв;  $K_v$  – поправковий коефіцієнт на швидкість різання;

$$K_B = K_{vs} \cdot K_{vo} \cdot K_{vj} \cdot K_{vm} \cdot K_{v\varphi} \cdot K_{vT} \cdot K_{vж} \quad (2.40)$$

Таблиця 2.26 – Поправкові коефіцієнти

Поправковий коефіцієнт	Позначення	Числове значення
Що враховує механічні властивості оброблюваного матеріалу	$K_{SM}$	1,15 (НВ=1700 МПА)
Що залежить від стану поверхні заготовки	$K_{Sn}$	0,85 – чорнова, напівчистова; 1 – чистова, тонка
Що залежить від вильоту різця	$K_{Sl}$	1)28/25=1,12=1 2)57/25=2,28=1 3)97/25=3,88=0,9 4)129/25=5,16=0,82
Що залежить від геометричних параметрів різця	$K_{S\varphi}$	Квадратна – 1,15 Ромбічна – 1
Що залежить від діаметра деталі	$K_{Sd}$	0,8
Що залежить від способу кріплення пластини	$K_{Sp}$	1
Що залежить від інструментального матеріалу	$K_{Si}$	Чорнова, напівчистова – 1,25 Чистова, тонка – 1

Вибрані за [14] значення поправкових коефіцієнтів наведені в таблиці 2.27.

Таблиця 2.27 – Поправкові коефіцієнти

Поправковий коефіцієнт	Позначення	Числове значення
На швидкість різання в залежності від інструментного матеріалу	$K_{vi}$	Чорнова напівчистова – 0,35 Чистова і тонка – 1
Що залежить від групи оброблюваного матеріалу.	$K_{vs}$	1
Що залежить від виду обробки	$K_{vo}$	1
Що залежить від жорсткості верстату	$K_{vj}$	1
Що залежить від механічних властивостей оброблюваного матеріалу	$K_{vm}$	1,3
Що залежить від геометричних параметрів різця	$K_{v\varphi}$	Квадратна – 1,1 Ромбічна – 1
Що залежить від періоду стійкості ріжучої частини	$K_{vT}$	1
Що залежить від наявності охолодження	$K_{vж}$	1

Корегована швидкість різання:

$$V_{\text{чорн1}}=172 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1=86 \text{ (мм/об);}$$

$$V_{\text{напівчист2}}=226 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1=113 \text{ (мм/об);}$$

$$V_{\text{чист3}}=210 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1=274 \text{ (мм/об).}$$

Частота обертання визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi D} \text{ [мм/об]}, \quad (2.41)$$

$$n_{\text{чорн1}}=1000 \cdot 86 / (3,14 \cdot 83)=330 \text{ (об/хв);}$$

$$n_{\text{напівчист2}}=1000 \cdot 113 / (3,14 \cdot 75)=480 \text{ (об/хв);}$$

$$n_{\text{чист3}}=1000 \cdot 274 / (3,14 \cdot 75)=1160 \text{ (об/хв).}$$

Хвилинна подача визначається за формулою:

$$S_{\text{хв}}=S_0 \cdot n \text{ [ мм/хв]}, \quad (2.42)$$

Відповідно отримаємо:

$$S_{\text{хв чорн1}}=0,8 \cdot 330=264 \text{ (мм/хв);}$$

$$S_{\text{хв чорн2}}=0,6 \cdot 320=193 \text{ (мм/хв);}$$

$$S_{\text{хв чорн3}}=0,3 \cdot 1160=348 \text{ (мм/хв).}$$

На усі інші переходи механічної обробки режими різання визначені та занесені до таблиці 2.28 [14].



Таблиця 2.28 – Режими різання на операції 010 (1П420ПФ30)

Операція, технологічний перехід	Глибина, мм	Прийнята подача, мм/об	Прийнята швидкість різання, м/хв	Частота обертання шпинделя, об/хв	Потужність різання	Хвилинна подача
1	2	3	4	5	6	7
<b>Операція 010 (1П420ПФ30)</b>						
2. Підрізати торець 1 однократно.	3,8	0,63	154	590	11,0	371
3. Розточити отвір 2 попередньо.	3,0	0,73	172	1165	8,9	850
4. Розточити отвір 2 попередньо.	0,6	0,61	172	1033	8,9	620
5. Розточити отвір 3 попередньо.	3,0	0,73	172	1165	8,9	850
6. Розточити отвір 3 попередньо.	0,6	0,61	172	1033	8,9	620
7. Нарізати різь 6.	-	2	80	398	-	-
<b>Операція 015 (1П420ПФ30)</b>						
2. Підрізати торець 1 однократно.	3,8	0,63	154	590	11,0	371
3. Розточити отвір 2 попередньо.	3,0	0,73	172	1165	8,9	850
4. Розточити отвір 2 попередньо.	0,6	0,61	172	1033	8,9	620
5. Нарізати різь 7.	-	2	80	398	-	-
<b>Операція 020 (ЛТ260МФ3)</b>						
1. Фрезерувати пов.1.	1,5	0,16	160	1480	9,4	237
2. Фрезерувати пов.2.	1,5	0,16	160	1579	9,4	252
3. Фрезерувати пов.3.	1,5	0,16	40	1579	9,4	252
4. Фрезерувати пов.4.	1,5	0,16	40	1579	9,4	252
5. Фрезерувати пов. 7 однократно.	3	0,16	160	1579	9,4	252
6. Центрувати 3 отвори 5, 2 отвори 6.	3	0,1	40	1554	0,38	155
7. Сверлити 2 отв. 5.	6	0,15	30	880	0,88	132
8. Нарізати різь в 2 отворах 5	1,25	1,25	11,2	256	0,28	320
9. Сверлити 2 отв. 6.	7,45	0,35	30	297	1,38	92
10. Нарізати різь в 2 отворах 6.	1,25	1,25	11,2	256	0,28	105
12. Сверлити 1 отв. 5.	6	0,25	30	880	0,88	132

Продовження таблиці 2.28

1	2	3	4	5	6	7
13. Нарізати різь в 1 отворі 5.	1,25	1,25	11,2	256	0,28	105
Операція 025 (7Б55У)						
2. Протягнути пов. 1.	-	-	20	-	-	-
Операція 030 (160НТ)						
2. Розточити поверхню 1 остаточно.	0,1	0,3	210	1194	6,3	358
3. Розточити поверхню 2 остаточно.	0,1	0,3	210	1114	6,3	334
Операція 035 (МК6801Ф3)						
2. Точити поверхню 1 остаточно (тонко).	0,1	0,3	210	903	6,3	542

## 2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання

Оптимізація технологічних процесів і режимів різання ґрунтується на побудові математичних моделей. Для побудови математичної моделі виділяють технічні обмеження, які в найбільшій мірі визначають описуємий процес та оцінювальну функцію (критерій оптимальності).

Для виконання оптимізації режимів різання використаємо комп'ютерну програму [9]. Розрахунок оптимального режиму різання виконаний і показаний на рисунку 2.19.

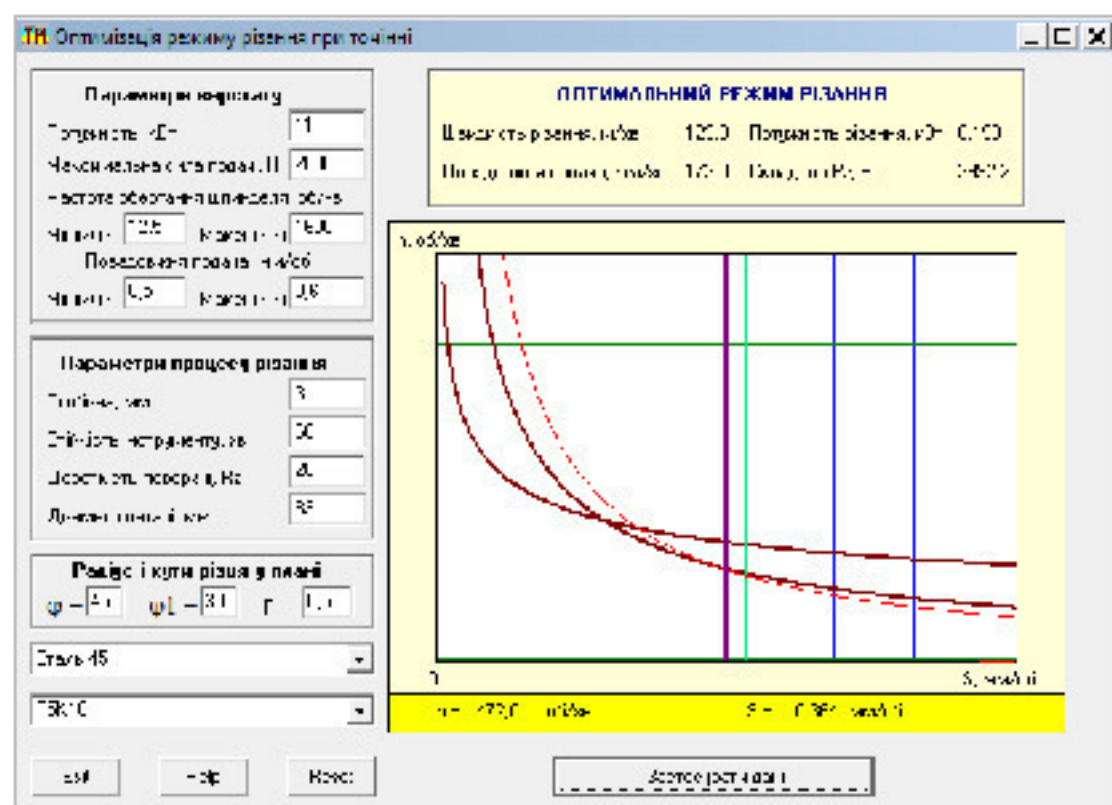


Рисунок 2.19 – Оптимізація режимів різання для точіння

Значення оптимальних режимів різання отриманих за допомогою комп'ютерної програми (рис. 2.19) мають незначну розбіжність з прийнятими режимами різання. Отже, максимальна продуктивність при обробці на верстатах з ЧПК буде забезпечена.

## 2.12 Визначення технічних норм часу на всіх операціях [13]

Детальне визначення норм часу на операцію 005.

Визначаємо основний час на операцію [4].

Норми часу на розточування отворів  $\varnothing 74,9d8_{-0.146}^{-0.100}$ .

Кінцевий час циклу роботи верстата по програмі дорівнює:

$$T_{ц.а} = T_o + T_{мд} \text{ [хв.]}, \quad (2.43)$$

де  $T_o$  – основний час виконання переходу механічної обробки хв.;

$T_{мд}$  – машинно-допоміжний час 0,44 хв.

Основний час  $T_o$  для виконуваних переходів визначається за формулою

$$T_{осн} = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} \text{ [хв.]}, \quad (2.44)$$

де  $L$  – довжина робочого ходу мм;  $i$  – кількість робочих ходів;  $n$  – частота обертання шпинделя верстата об/хв;  $s$  – подача мм/хв.

$$L = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер} \text{ [хв.]}, \quad (2.45)$$

$l_{обр}$  – довжина обробки мм;  $l_{вр}$  – довжина врізання мм;  $l_{пер}$  – довжина перебігу мм;

Використовуючи прийняті режими різання розраховуємо основний час виконуваних переходів на операції 005:

$$\text{- перехід 2 } T_{осн} = \frac{150 \cdot 1}{330 \cdot 0,8} = 0,57 \text{ (хв.);}$$

$$\text{- перехід 3 } T_{осн} = \frac{150 \cdot 1}{480 \cdot 0,6} = 0,52 \text{ (хв.);}$$

$$\text{- перехід 4 } T_{осн} = \frac{150 \cdot 1}{1160 \cdot 0,3} = 0,43 \text{ (хв.)}$$

$$T_{осн\Sigma} = 0,57 + 0,52 + 0,43 = 1,52 \text{ (хв.);}$$

$$T_{ц.а} = 1,52 + 0,44 = 1,96 \text{ (хв.)}$$

Відповідно час циклу автоматичної роботи верстата по програмі для всієї операції складатиме:

$$T_{итт} = T_{осн} + T_{доп} + T_{обс} + T_{від} \text{ [хв]}, \quad (2.46)$$

де  $T_{доп}$  – допоміжний час хв;  $T_{обс}$  – час на обслуговування верстата хв;  $T_{від}$  – час на відпочинок хв.

Допоміжний час:

$$T_{доп} = t_{у.з} + t_{в.в} + t_{п.в} + t_{з.і} + t_{вим} \text{ [хв.]}, \quad (2.47)$$

де  $t_{у.з}$  – час на установлення і зняття деталі хв;  $t_{в.в}$  – час на включення і виключення верстата хв;  $t_{п.в}$  – час на підведення і відведення інструменту хв;  $t_{з.і}$  – час зміни інструмента хв;  $t_{вим}$  – час на вимірювання (контролюється кожна 5-та деталь) хв.

$$T_{доп} = 0,08 + 2 \cdot 0,01 + 3 \cdot 0,025 + 3 \cdot 0,04 + \frac{0,19}{5} = 0,335 \text{ (хв.)}$$

Час обслуговування та відпочинку приймається 8% від оперативного часу  $T_{оп}$ .

$$T_{оп} = T_{ц.а} + T_{доп} = 1,96 + 0,335 = 2,295 \text{ (хв.);}$$



$$T_{\text{обс}} + T_{\text{від}} = 8\% \text{ від } T_{\text{оп.}}$$

Отже,

$$T_{\text{шт}} = 1,96 + 0,335 + 0,08 \cdot 2,295 = 2,5 \text{ (хв.)}$$

Штучно калькуляційний час  $T_{\text{шт-к}}$  визначається за формулою:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{n_{\text{дет}}} \text{ [хв.]}, \quad (2.48)$$

де  $T_{\text{п-з}}$  – підготовчо-заключний час (на налагодження верстату, інструменту, пристосування та на одержання і здачу інструмента хв;  $n_{\text{дет}}$  – кількість деталей у партії.

$$T_{\text{шт-к}} = 2,5 + 22/215 = 2,6 \text{ (хв.)}$$

Норми часу на всі інші операції визначено способом наближеного нормування, дані приведені в таблиці 2.29.

Таблиця 2.29 – Норми часу на операції технологічного процесу

№ операції	Найменування операції	Основний технологічний час $T_{\text{осн}} \cdot 10^{-3}$ , хв	фк	Штучно-калькуляційний час $T_{\text{шт-к}} \cdot 10^{-3}$ , хв
1	2	3	4	5
010	Токарно-револьверна з ЧПК 1.Підрізати торець 1 однократно. 2.Розточити отвір 2 попередньо. 3.Розточити отвір 2 попередньо. 4.Розточити отвір 3 попередньо. 5.Розточити отвір 3 попередньо. 6.Розточити канавки 4,5. 7.Точити фаску 6. 8.Нарізати різь 7.	$T_{\text{осн}} = T_{\text{осн1}} + T_{\text{осн2}} + T_{\text{осн3}} + T_{\text{осн4}} + T_{\text{осн5}} +$ $T_{\text{осн6}} + T_{\text{осн7}} + T_{\text{осн8}}$ $T_{\text{осн}} = 0,000045D(D-d) + 0,000068Dl +$ $+0,00019Dl + 0,000068Dl +$ $+0,00019Dl + 0,000068Dl +$ $+0,000068Dl + \frac{1}{t_p} 0,00063Dl =$ $= 0,000045 \cdot 74,9(74,9 - 56) +$ $+0,000068 \cdot 56 \cdot 42 + 0,00019 \cdot$ $\cdot 56 \cdot 42 + 0,000068 \cdot 59 \cdot 9 +$ $+0,00019 \cdot 59 \cdot 9 + 0,000068 \cdot 65 \cdot 4 +$ $+0,000068 \cdot 65 \cdot 3 + \frac{1}{2} 0,00063 \cdot 64 \cdot 9 =$ $= 1,019(\text{хв}).$	1,3	$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{осн}} \cdot \varphi_k =$ $= 1,019 \cdot 1,3 =$ $= 1,32(\text{хв}).$
		$\sum T_{\text{осн}} = 1,019 \text{ хв.}$		

Продовження таблиці 2.29

1	2	3	4	5
015	<p>Токарно-револьверна з ЧПК</p> <p>1.Підрізати торець однократно 1.</p> <p>2.Точити фаску 4.</p> <p>3.Розточити отвір 2 попередньо.</p> <p>4.Розточити отвір 2 попередньо.</p> <p>5.Розточити канавку 3.</p> <p>6.Точити фаску 5.</p> <p>7.Нарізати різь 6.</p>	$T_{осн} = T_{осн1} + T_{осн2} + T_{осн3} + T_{осн4} + T_{осн5}$ $T_{осн} = 0,000045D(D-d) +$ $+0,000068Dl + 0,00019Dl +$ $+0,000068Dl + \frac{1}{t_p} 0,00063Dl =$ $= 0,000045 \cdot 74,9(74,9 - 60) +$ $+0,000068 \cdot 60 \cdot 80 + 0,00019 \cdot 60 \cdot 80 +$ $+0,000068 \cdot 65 \cdot 4 + \frac{1}{2} 0,00063 \cdot 64 \cdot 24 =$ $= 1,79(хв).$	1,3	$T_{ум-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k =$ $= 1,79 \cdot 1,3 = 2,32(хв).$
		$\sum T_{осн} = 1,79 хв.$		
020	<p>Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <p>1.Фрезерувати пов.1.</p> <p>2.Фрезерувати пов.2.</p> <p>3.Фрезерувати пов.3.</p> <p>4.Фрезерувати пов.4.</p> <p>5.Центрувати 2 отвори 5.</p> <p>6.Сверлити 2 отв. 5.</p> <p>7.Нарізати різь в 2 отворах 5</p> <p>8.Повернути деталь на 180.</p> <p>9.Фрезерувати пов. 7 однократно.</p> <p>10.Центрувати 2 отвори 6.</p> <p>11.Сверлити 2 отв. 6.</p> <p>12.Нарізати різь в 2 отворах 6.</p> <p>13.Повернути деталь на 90°.</p> <p>14.Центрувати 1 отвір 5.</p> <p>15.Сверлити 1 отв. 5.</p> <p>16.Нарізати різь в 1 отворі 5.</p>	$T_{осн} = T_{осн1} + T_{осн2} + T_{осн3}$ $T_{осн} = 0,0059l + 0,0059l + 0,0059l +$ $+0,0059l + 0,00056Dl + 0,00056Dl +$ $+0,00056Dl + 0,00056Dl +$ $+ \frac{1}{t_p} 0,00063Dl + \frac{1}{t_p} 0,00063Dl +$ $+0,0048l + 0,00056Dl + 0,00056Dl +$ $+0,00056Dl + 0,00056Dl +$ $+ \frac{1}{t_p} 0,00063Dl + \frac{1}{t_p} 0,00063Dl + 0,00056Dl +$ $+0,00056Dl + \frac{1}{t_p} 0,00063Dl =$ $= 0,0059 \cdot 65 + 0,0059 \cdot 68 +$ $+0,0059 \cdot 68 + 0,0059 \cdot 68 + 0,00056 \cdot 3 \cdot$ $\cdot 4 + 0,00056 \cdot 3 \cdot 4 + \frac{1}{1} 0,00063 \cdot 6 \cdot$ $\cdot 7,45 + \frac{1}{1} 0,00063 \cdot 6 \cdot 7,45 +$ $+0,0048 \cdot 100 + 0,00056 \cdot 2 \cdot 3 +$ $+0,00056 \cdot 2 \cdot 3 + 0,00056 \cdot 4 \cdot 6 +$ $+0,00056 \cdot 4 \cdot 6 + \frac{1}{1} 0,00063 \cdot 4 \cdot 6 +$ $+ \frac{1}{1} 0,00063 \cdot 4 \cdot 6 + 0,00056 \cdot 3 \cdot 4 +$ $+0,00056 \cdot 6 \cdot 7,45 + \frac{1}{1} 0,00063 \cdot 6 \cdot 7,45 =$ $= 2,26(хв).$	1,4	$T_{ум-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k =$ $= 2,26 \cdot 1,4 =$ $= 3,164(хв).$
		$\sum T_{осн} = 2,26 хв.$		

Продовження таблиці 2.29

1	2	3	4	5
025	Горизонтально-протягувальна 1.Повернути деталь на 90°. 2.Протягнути пов. 1.	$T_{осн} = T_{осн1}$ $T_{осн} = 0,00029l_{пр} = 0,00029 \cdot 42 = 0,012(хв).$	1,4	$T_{ит-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k =$ $= 0,012 \cdot 1,4 =$ $= 0,0168(хв).$
		$\sum T_{осн} = 0,012 хв.$		
030	Токарна з ЧПК 1.Розточити поверхню 1 остаточно. 2.Розточити поверхню 2 остаточно.	$T_{осн} = T_{осн1} + T_{осн2}$ $T_{осн} = 0,000175Dl + 0,000052Dl =$ $= 0,000175 \cdot 60 \cdot 80 + 0,000052 \cdot 56 \cdot 55 =$ $= 1,00(хв).$	1,3	$T_{ит-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k =$ $= 1,0 \cdot 1,30 =$ $1,3(хв).$
		$\sum T_{осн} = 1,0 хв.$		
035	Токарна з ЧПК 1. Точити поверхню 1 тонко(остаточно).	$T_{осн} = 0,000052Dl =$ $= 0,000052 \cdot 74,9 \cdot 138 =$ $0,537(хв).$	1,3	$T_{ит-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k =$ $= 0,537 \cdot 1,30 =$ $0,698(хв).$
		$\sum T_{осн} = 0,537 хв.$		

### 2.13 Висновки

В даному розділі проведено удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» з урахуванням сучасних досягнень, передових технологій та нових методів обробки подібних заготовок, що забезпечує необхідну якість та знижує вартість продукції. При цьому можна зробити такі висновки:

- на основі робочого креслення деталі виконано якісний і кількісний аналіз технологічності конструкції деталі і встановлено, що деталь «Корпус кулачків У6.02027А» технологічна;

- за розрахунками коефіцієнта закріплення операцій встановлено, що тип виробництва середньосерійний, форма організації роботи групова;

- варіантним вибором встановлено, що найбільш доцільними способами виготовлення заготовки є штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП) та виготовлення заготовки із прокату. Техніко-економічні

розрахунки показали, що економічно доцільніше виготовляти заготовку із прокату, оскільки вартість заготовки при цьому складає 66,63 грн., що менше у порівнянні з штампуванням на КГШП – 67,1 грн.;

- вибрано методи обробки поверхонь деталі «Корпус кулачків У6.02027А», обґрунтовано вибір чистових та чорнових технологічних баз та розроблено два удосконалені варіанти маршрути механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» з використанням високопродуктивних верстатів з ЧПК;

- вибрано кращий з розроблених маршрутів механічної обробки за мінімумом приведених витрат;

- проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки деталі;

- розраховано припуски та міжопераційні розміри;

- розраховано режими різання і виконано нормування операцій технологічного процесу.

### 3 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ОТВОРУ РОЗТОЧУВАННЯМ НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ З РУЧНИМ ТА ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

#### 3.1 Мета, завдання дослідження

Одним з найважливіших показників якості деталей машин є точність їх обробки. Абсолютно точно виконати обробку поверхонь деталі неможливо, оскільки на процес механічної обробки залежно від конкретних технологічних умов впливає низка факторів, що призводять до появи похибок. До таких факторів відносять [18, 20]:

- похибку установлення заготовки деталі у верстатний пристрій  $\varepsilon_y$ ;
- похибку настроєння верстата  $\varepsilon_n$ ;
- похибку, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи під дією сили різання  $\varepsilon_{пд}$ ;
- похибку, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента  $\varepsilon_i$ ;
- похибку, що спричиняється геометричною неточністю верстата  $\varepsilon_b$ ;
- похибку, що викликана тепловими деформаціями технологічної системи  $\varepsilon_T$ .

Отже, сумарна похибка, що виникає під час обробки на попередньо настроєному верстаті, в загальному випадку можна записати у вигляді [20]:

$$\varepsilon_{\Sigma} = f(\varepsilon_y, \varepsilon_n, \varepsilon_{пд}, \varepsilon_i, \varepsilon_b, \varepsilon_T). \quad (3.1)$$

При виконанні остаточної обробки умовою забезпечення роботи без браку є:

$$\varepsilon_{\Sigma} \leq T, \quad (3.2)$$

де  $T$  – допуск виконуваного розміру на даному переході механічної обробки.



При невиконанні даної умови необхідно провести аналіз складових сумарної похибки, виявити найбільші величини, запропонувати конкретні заходи для їх зменшення.

**Мета роботи** – дослідження точності (сумарної похибки) остаточної обробки розточуванням отвору на токарному верстаті з ручним керуванням (РК) та з числовим програмним керуванням (ЧПК), їх порівняльний аналіз.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися **завдання**:

- розробка технологічного процесу механічної обробки розглядуваної деталі;
- встановлення величин складових сумарної похибки при остаточному розточуванні отвору на верстаті з РК та з ЧПК;
- дослідження величини сумарної похибки;
- порівняльний аналіз величини сумарної похибки при остаточній обробці отвору на верстаті з РК та з ЧПК;
- висновки по результатах проведених досліджень.

### 3.2 Результати дослідження

Дослідження виконувалося для деталі «Корпус кулачків У6.02027А». Початкові дані: матеріал сталь 45, маса деталі 1,76 кг, тип виробництва серійний, розмір партії деталей 215 шт., остаточна обробка розточуванням отвору  $\varnothing 60H9^{(+0,074)}$  на токарному верстаті з РК – 16К20, з ЧПК – 160НТ.

Прийнято, що обробка здійснюється за таких технологічних умов:

- тонке розточування виконується після чистового розточування, яке забезпечує розмір поверхні за *IT9* (для прийнятого номінального розміру величина допуску складе 74 мкм);
- партія заготовок обробляється на настроєному на розмір верстаті; настроювання розточувального різця на розмір обробки відбувається з використанням способу пробних заготовок;
- матеріал різальної частини різця – твердий сплав.

При визначенні елементарних складових і сумарної похибки остаточного розточування отвору на верстаті з РК враховувалися фактори, що приведені у формулі (3.1).

Розрахунок сумарної похибки, що виникає при остаточному розточуванні отвору на верстаті з ЧПК, крім складових, що вказані у формулі (3.1) включає більшу кількість елементарних похибок.

До додаткових похибок віднесено [19]:

- похибку позиціювання супорту  $\varepsilon_{nc}$ ; за величиною вона прийнята рівною двом дискретам приводу подач по відповідній координаті;
- похибку позиціювання різцетримача (інструментальної головки чи блоку)  $\varepsilon_{прг}$ ; в сучасних верстатах з ЧПК вона не перевищує 6...8 мкм;
- похибку обробки корекції  $\varepsilon_k$  (у випадку роботи з коректорами), яка дорівнює двом дискретам приводу подач по відповідній координаті.

Але при наявності коректора із розрахунку може бути виключена:

- систематична похибка, що спричинена розмірним зношуванням різального інструмента  $\varepsilon_i$ , так як в програму вводиться періодична корекція положення інструмента;
- при розрахунку похибки розмірної настройки можна виключити похибку регулювання  $\varepsilon_p$ , так як вказана складова враховується похибкою корекції інструмента.

Крім того, в зв'язку із більшою жорсткістю конструкції верстата з ЧПК податливість може бути прийнята в 2...4 рази меншою, ніж у верстата з РК.

Згідно приведеній інформації формула для визначення похибки обробки заготовок на настроєному верстаті для діаметрального розміру при розточуванні на верстаті з РК буде мати вигляд [19]:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_{нд})^2 + (K_2 \varepsilon_{н})^2 + (K_3 \varepsilon_i)^2 + (K_4 \varepsilon_{в})^2 + (K_5 \varepsilon_{т})^2} \text{ [мкм];} \quad (3.3)$$

на верстаті з ЧПК:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_{\text{пд}})^2 + (K_2 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{пс}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{прг}})^2 + (K_5 \varepsilon_{\text{к}})^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_7 \varepsilon_{\text{т}})^2} \text{ [мкм]}; \quad (3.4)$$

де  $\frac{1}{K}$  – коефіцієнт, який залежить від бажаної імовірності роботи без браку,

$$\frac{1}{K} = 1 \text{ (очікуваний брак складе 0,03\%);}$$

$K_1 \dots K_7$  – коефіцієнти, значення яких залежить від закону розподілу відповідних елементарних похибок;  $\varepsilon_{\text{пд}}$ ,  $\varepsilon_{\text{н}}$ ,  $\varepsilon_{\text{пс}}$ ,  $\varepsilon_{\text{прг}}$ ,  $\varepsilon_{\text{к}}$  є випадковими похибками і їх розподіл підпорядковується закону Гаусса;  $K_1 = K_2 = 1$  (формула 3.3);  $K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = K_5 = 1$  (формула 3.4);  $\varepsilon_{\text{і}}$ ,  $\varepsilon_{\text{в}}$ ,  $\varepsilon_{\text{т}}$  підпорядковуються закону рівної імовірності, тому  $K_3 = K_4 = K_5 = 1,73$  (формула 3.3);  $K_6 = K_7 = 1,73$  (формула 3.4).

Дані та формули складових сумарної похибки прийняті згідно рекомендацій [12, 15, 18-20].

Визначимо елементарні похибки і сумарну похибку обробки отвору  $\varnothing 60H9^{+0,074}$  мм, що виникають в результаті розточування на токарному верстаті моделі 16К20. Клас точності верстата – Н.

Послідовно визначимо елементарні похибки обробки. Усі елементарні похибки визначаємо на радіус (на сторону), а сумарна похибка, згідно з формулою (3.3) – на діаметр.

Похибку, що зумовлена пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання визначено за формулою

$$\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}) \text{ [мкм]}, \quad (3.5)$$

де  $\omega_{\Sigma}$  – сумарна податливість технологічної системи, яка враховує податливості верстата, верстатного пристрою, інструмента і заготовки;

$P_{y_{\max}}$  і  $P_{y_{\min}}$  – відповідно найбільша і найменша величина складової сили різання, яка діє у напрямі нормалі до оброблюваної поверхні.

Для встановлення заготовки деталі «Корпус кулачків У6.02027А» використано самоцентрувальний патрон. Тоді податливість технологічної системи визначається за формулою:

$$\omega_{\Sigma} = \omega_{\text{п.б.}} + \omega_c + \omega_p + \omega_3 \text{ [мкм/Н]}, \quad (3.6)$$

де  $\omega_{\text{п.б.}}$ ;  $\omega_c$ ;  $\omega_p$ ;  $\omega_3$  – податливості, відповідно, передньої бабки, супорта, державки різця та заготовки.

$\omega_{\text{п.б.}}$  та  $\omega_c$  для верстата 16К20 згідно [15] прийнято  $\omega_{\text{п.б.}} = \omega_c = 0,036 \cdot \text{мкм/Н}$ .

Податливість державки розточувального різця оцінювалася як податливість консольно закріпленої балки:

$$\omega_p = \frac{L_p^3}{3E_p I_p} \text{ [мкм/Н]}, \quad (3.7)$$

де  $L_p = 90$  мм – відстань від торця різцевої головки до зони обробки;

$E_p = 2 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup> – модуль пружності матеріалу (для сталевий державки різця);

$I_p$  – момент інерції поперечного перетину державки різця.

Державка розточувального різця має циліндричну форму, тому

$$I_p = \frac{\pi D_p^4}{64} \text{ [мм}^4\text{]}, \quad (3.8)$$

де  $D_p$  – діаметр державки різця;

$$I_p = \frac{3,14 \cdot 32^4}{64} = 0,032 \cdot 10^6 \text{ (мм}^4\text{)}.$$

Отже, згідно формули (3.7)

$$\omega_p = \frac{90^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,032 \cdot 10^6} = 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ (мм/Н)} = 0,038 \text{ (мкм/Н)}.$$

Конструкція заготовки є жорсткою, тому прийнято  $\omega_3 \approx 0$ .

Податливість технологічної системи

$$\omega_\Sigma = 0,036 + 0,036 + 0,038 = 0,11 \text{ (мкм/Н)}.$$

Складова сили різання  $P_y$  визначена за формулою [16]:

$$P_y = 10C_{P_y} t^x s^y v^n k_{P_y} \text{ [Н]}. \quad (3.9)$$

де  $C_{P_y} = 243$ ;  $x = 0,9$ ;  $y = 0,6$ ;  $n = -0,3$  – коефіцієнт і показники степенів;

$t$  – глибина різання;  $t_{\max} = 0,16$  мм;  $t_{\min} = 0,1$  мм;

$s = 0,1$  мм/об – поздовжня подача;

$v = 160$  м/хв. – швидкість різання;

$k_{P_y} = 1$  – поправковий коефіцієнт на силу різання  $P_y$ ;

$$k_{P_y} = k_{MP_y} \cdot k_{\varphi P_y} \cdot k_{\gamma P_y} \cdot k_{\lambda P_y} \cdot k_{r P_y}, \quad (3.10)$$

де  $k_{MP_y}$  – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал,  $k_{MP_y} = 1,0$ ;

$k_{\varphi P_y}$  – коефіцієнт, що враховує головний кут в плані,  $k_{\varphi P_y} = 1,0$  ( $\varphi = 45^\circ$ );

$k_{\gamma P_y}$  – коефіцієнт, що враховує передній кут,  $k_{\gamma P_y} = 1,0$  ( $\gamma = 10^\circ$ );



$k_{\lambda P_y}$  – коефіцієнт, що враховує кут нахилу ріжучої кромки різця,  $k_{\lambda P_y} = 1,0$   
( $\lambda = 0^\circ$ );

$k_{r P_y}$  – коефіцієнт, що враховує радіус при вершині різця,  $k_{r P_y} = 0,82$   
( $r = 1$  мм).

Тоді

$$P_{y \max} = \frac{10 \cdot 243 \cdot 0,16^{0,9} \cdot 0,1^{0,6}}{160^{0,3}} \cdot 0,82 = 16,9 \approx 17 \text{ (Н)};$$

$$P_{y \min} = \frac{10 \cdot 243 \cdot 0,1^{0,9} \cdot 0,1^{0,6}}{160^{0,3}} \cdot 0,82 = 10,13 \approx 10 \text{ (Н)}.$$

Згідно формули (3.5)

$$\varepsilon_{\text{нд}} = 0,11 \cdot (16,9 - 10,13) = 0,745 \text{ (мкм)}.$$

Похибка настроєння визначена за формулою [17]:

$$\varepsilon_{\text{н}} = K \sqrt{\varepsilon_{\text{р}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{\text{зм}}^2} \text{ [мкм]}, \quad (3.11)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який враховує відхилення законів розподілу похибок  $\varepsilon_{\text{р}}$ ,  
 $\varepsilon_{\text{вм}}$  і  $\varepsilon_{\text{зм}}$  від нормального закону розподілу (закону Гаусса),  $K = 1,2$ ;

$\varepsilon_{\text{р}}$  – похибка регулювання положення різця,  $\varepsilon_{\text{р}} = \Delta_{\text{л}} = 0,025$  мм = 25 мкм,

$\Delta_{\text{л}}$  – похибка лімба за паспортними даними верстата 16К20;

$\varepsilon_{\text{вм}}$  – похибка вимірювання розміру деталі,  $\varepsilon_{\text{вм}} = 1$  мкм (ціна поділки  
електронного штангенциркуля, нутроміра);

$\varepsilon_{\text{зм}}$  – похибка від зміщення центра групування розмірів пробних заготовок  
відносно середини поля розсіювання;

$$\varepsilon_{3M} = \frac{\varepsilon_{пд}}{\sqrt{m}} \text{ [МКМ]}, \quad (3.12)$$

де  $m$  – кількість пробних заготовок для настроювання верстата,  $m = 5$  шт.;

$$\varepsilon_{3M} = \frac{0,745}{\sqrt{5}} = 0,33 \text{ (МКМ)}.$$

Отже, за формулою (3.11)

$$\varepsilon_{п} = 1,2 \sqrt{25^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 + 0,33^2} = 30 \text{ (МКМ)}.$$

Похибка, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента [18]:

$$\varepsilon_i = \frac{L_N + L_{поч}}{1000} \cdot \omega_0 \text{ [МКМ]}, \quad (3.13)$$

$L_N$  – довжина шляху різання, який відповідає обробці без піднастроювання всіх деталей партії, мм;

$L_{поч}$  – умовне збільшення довжини шляху різання для урахування початкового зносу різця (різець прироблений),  $L_{поч} = 0$  мм;

$\omega_0$  – відносний знос різця, оснащеного кубічним нітридом бору,  $\omega_0 = 3$  МКМ/мм.

$$L_N = \frac{\pi \cdot d \cdot \ell \cdot N_{дет}}{1000 \cdot S} \text{ [М]}, \quad (3.14)$$

де  $d$  – діаметр отвору,  $d = 60$  мм;

$\ell$  – довжина отвору,  $\ell = 52$  мм;

$N_{дет}$  – кількість деталей в партії,  $N_{дет} = 215$  шт.;

$$L_N = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 52 \cdot 215}{1000 \cdot 0,1} = 21063,12 \text{ (м)}.$$

Згідно формули (3.13)

$$\varepsilon_i = \frac{21063,12 + 0}{1000} \cdot 3 = 63,2 \text{ (мкм)} \approx 63 \text{ (мкм)}.$$

Похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата [18]:

$$\varepsilon_b = \frac{C \cdot \ell}{L_6} \text{ [мкм]}, \quad (3.13)$$

де  $C$  – допустиме відхилення від паралельності між напрямом руху супорта і віссю обертання заготовки на базовій довжині  $L_6$ . Відповідно до ГОСТ 18097-93 для токарних верстатів класу точності Н на базовій довжині 250 мм величина  $C$  становить 10 мкм.

Таким чином,

$$\varepsilon_b = \frac{10 \cdot 52}{250} = 2,1 \text{ (мкм)}.$$

Похибка, що спричиняється тепловими деформаціями технологічної системи ( $\varepsilon_T$ ) згідно [12] для лезової обробки складає близько 15% від суми інших похибок

$$\varepsilon_T = 0,15 \cdot (0,745 + 30 + 63 + 2,1) = 14,4 \text{ (мкм)}.$$

Одержані складові дають можливість визначити сумарну похибку механічної обробки за формулою (3.3)

$$\varepsilon_{\Sigma} = 2\sqrt{(1 \cdot 0,745)^2 + (1 \cdot 30)^2 + (1,73 \cdot 63)^2 + (1,73 \cdot 2,1)^2 + (1,73 \cdot 14,4)^2} = 231,6 \text{ (мкм)} \approx \approx 232 \text{ (мкм)}.$$

Найбільший вплив на  $\varepsilon_{\Sigma}$  проявляє розмірний знос інструмента і, відповідно, похибка, що цим викликана  $\varepsilon_i$ .

Зменшимо партію деталей між піднастроюваннями різця в 7 разів, прийнемо 31 деталь.

Тоді

$$L_N = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 52 \cdot 31}{1000 \cdot 0,1} = 3037 \text{ (м)};$$

$$\varepsilon_i = \frac{3037}{1000} \cdot 3 = 9,11 \text{ (мкм)}.$$

Отже,

$$\varepsilon_{\Sigma} = 0,15 \cdot (0,745 + 30 + 9,11 + 2,2) = 6,31 \text{ (мкм)} \approx 6,4 \text{ (мкм)}.$$

Сумарна похибка  $\varepsilon_{\Sigma}$  становить

$$\varepsilon_{\Sigma} = 2\sqrt{(1 \cdot 0,745)^2 + (1 \cdot 30)^2 + (1,73 \cdot 9,11)^2 + (1,73 \cdot 2,1)^2 + (1,73 \cdot 6,31)^2} = 71,6 \text{ (мкм)} \approx \approx 72 \text{ (мкм)}.$$

Умова згідно формули 3.2 виконується  $\varepsilon_{\Sigma} = 72 \text{ мкм} < T_{\partial} = 74 \text{ мкм}$ .

Точність обробки забезпечується, якщо кількість деталей в партії між піднастроюванням різця буде складати не більше 31 шт.

Розглянемо розрахунок точності розточування отвору  $\varnothing 60\text{H9}^{(+0,074)}$  на токарному верстаті з ЧПК 160НТ.

Сумарна похибка, що виникає при розточуванні отвору на верстаті з ЧПК визначається за формулою (3.4). Складові, що входять в розрахунок визначаються аналогічно, як і для верстата 16К20 за виключенням тих, які відрізняються або не враховуються, що було вказано вище.

Похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи під дією сили різання

$$\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}) [\text{МКМ}];$$

$$\omega_{\Sigma} = \omega_{\text{п.б.}} + \omega_{\text{с}} + \omega_{\text{р}} + \omega_{\text{з}} [\text{МКМ/Н}];$$

$$\omega_{\text{п.б.}} = \omega_{\text{с}} = 0,018 \cdot \text{МКМ/Н} [15];$$

$$I_{\text{р}} = \frac{\pi D_{\text{р}}^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 32^4}{64} = 0,032 \cdot 10^6 (\text{мм}^4);$$

$$\omega_{\text{р}} = \frac{L_{\text{р}}^3}{3E_{\text{р}}I_{\text{р}}} = \frac{90^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,032 \cdot 10^6} = 3,8 \cdot 10^{-5} (\text{мм/Н});$$

$$\omega_{\text{з}} \approx 0;$$

$$\omega_{\Sigma} = 0,018 + 0,018 + 0,032 = 0,068 (\text{МКМ/Н}).$$

Сили різання  $P_{y_{\text{max}}}$  і  $P_{y_{\text{min}}}$  залишаються такими ж, як і при обробці на верстаті 16К20, так як глибини різання  $t_{\text{max}}$ ,  $t_{\text{min}}$  не змінюються, різець використовується такий же, як і в попередньому випадку.

$$P_{y_{\text{max}}} = 16,9 \text{ Н}; P_{y_{\text{min}}} = 10,13 \text{ Н};$$

$$\varepsilon_{\text{пд}} = 0,068 \cdot (16,9 - 10,13) = 0,46 (\text{МКМ}).$$

Похибка настроєння верстата

$$\varepsilon_{\text{н}} = K \sqrt{\varepsilon_{\text{р}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2}\right)^2} + \varepsilon_{\text{зм}}^2 [\text{МКМ}];$$

$$K = 1,2; \varepsilon_{\text{р}} = 10 \text{ МКМ}; \varepsilon_{\text{вм}} = 1 \text{ МКМ};$$

$$\varepsilon_{\text{зм}} = \frac{\varepsilon_{\text{пд}}}{\sqrt{m}} = \frac{0,46}{\sqrt{5}} = 0,205 (\text{МКМ}) \approx 0,21 (\text{МКМ});$$



$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{10^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 + 0,205^2} = 12 \text{ (мкм)}.$$

Похибка позиціонування супорта  $\varepsilon_{\text{ис}} = 10$  мкм [19].

Похибка повороту револьверної головки  $\varepsilon_{\text{прг}} = 7$  мкм [19].

Похибка відпрацювання корекції різця  $\varepsilon_{\text{к}} = 10$  мкм [19].

Похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата ( $C = 4$  мкм для верстата 160НТ)

$$\varepsilon_{\text{в}} = \frac{C \cdot \ell}{L_{\text{б}}} = \frac{4 \cdot 52}{250} = 0,83 \text{ (мкм)} \approx 1 \text{ (мкм)}.$$

Похибка, що спричиняється тепловими деформаціями технологічної системи

$$\varepsilon_{\text{т}} = 0,15 \cdot (0,46 + 12 + 10 + 7 + 10 + 0,83) = 6,04 \text{ (мкм)} \approx 6 \text{ (мкм)}.$$

Отже, сумарна похибка, що виникає при розточуванні отвору  $\varnothing 60\text{H9}^{(+0,074)}$  на токарному верстаті з ЧПК 160НТ складає

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\Sigma} &= 2 \sqrt{(1 \cdot 0,46)^2 + (1 \cdot 12)^2 + (1 \cdot 10)^2 + (1 \cdot 7)^2 + (1 \cdot 10)^2 + (1,73 \cdot 0,83)^2 + (1,73 \cdot 6,04)^2} = \\ &= 44,8 \text{ (мкм)} \approx 45 \text{ (мкм)}. \end{aligned}$$

Так як  $\varepsilon_{\Sigma} = 45$  мкм  $<$   $T_{\delta} = 74$  мкм, то точність обробки партії деталей 215 штук надійно забезпечується.

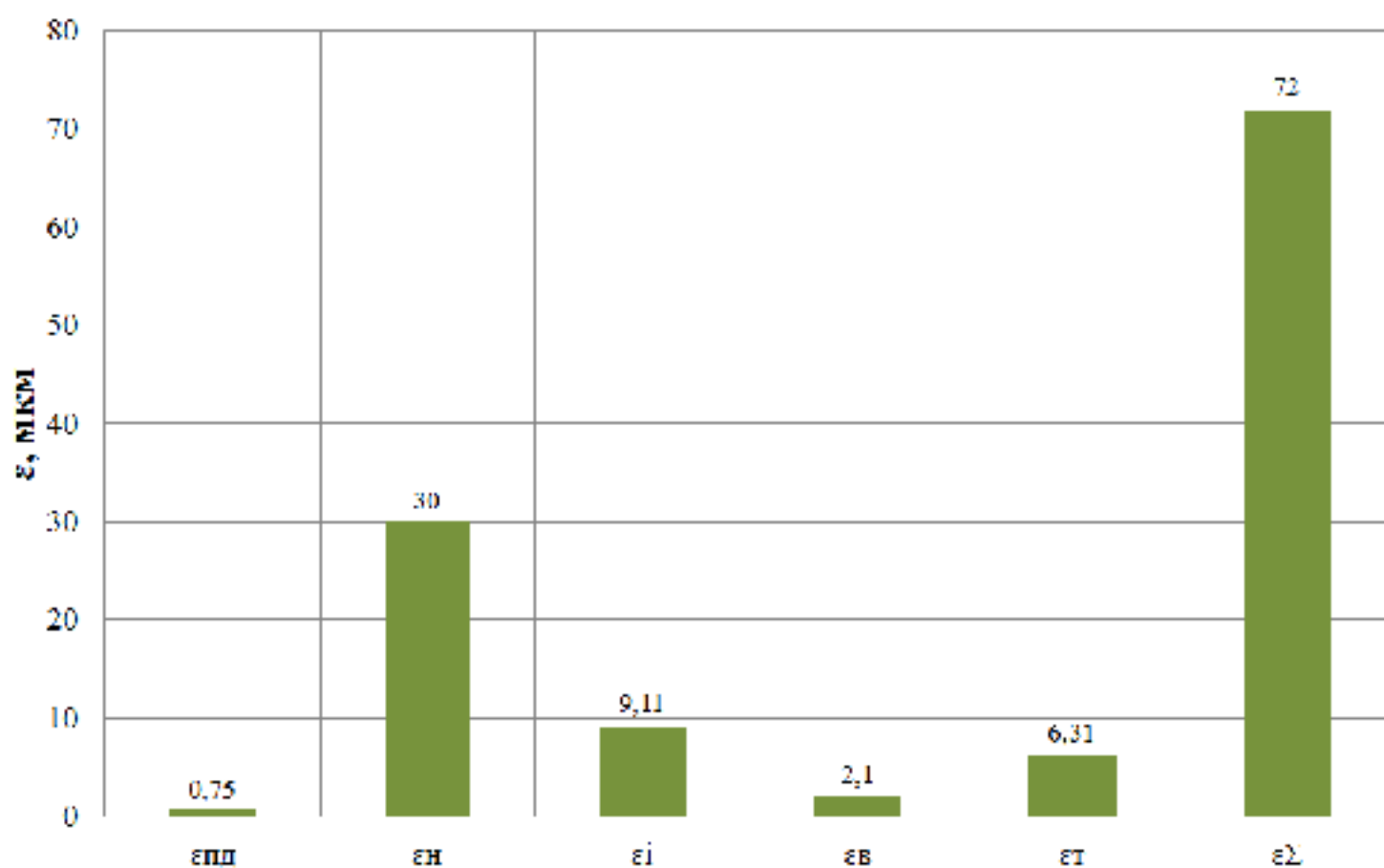
В таблицях 3.1, 3.2 та на рисунках 3.1, 3.2 зображено складові та сумарна похибки, що виникають при остаточному розточуванні  $\varnothing 60\text{H9}^{(+0,074)}$  на верстатах з ручним та числовим програмним керуванням.

Таблиця 3.1 – Складові та сумарна похибка обробки на верстаті з РК 16K20

Оброблюваний розмір, мм	Розмір партії деталей, шт.	$\varepsilon_{\text{пд}}$ , мкм	$\varepsilon_{\text{н}}$ , мкм	$\varepsilon_{\text{і}}$ , мкм	$\varepsilon_{\text{в}}$ , мкм	$\varepsilon_{\text{т}}$ , мкм	$\varepsilon_{\Sigma}$ , мкм	$T_{\delta}$ , мкм	Наявність браку
$\varnothing 60\text{H9}^{(+0,074)}$	215	0,745	30	63	2,1	14,4	232	74	$\varepsilon_{\Sigma} > T_{\delta}$ , наявний брак
$\varnothing 60\text{H9}^{(+0,074)}$	31	0,745	30	9,11	2,1	6,31	72	74	$\varepsilon_{\Sigma} < T_{\delta}$ , брак відсутній

Таблиця 3.2 – Складові та сумарна похибка обробки на верстаті з ЧПК 160НТ

Оброблюваний розмір, мм	Розмір партії деталей, шт.	$\varepsilon_{\text{пд}}$ , мкм	$\varepsilon_{\text{н}}$ , мкм	$\varepsilon_{\text{пс}}$ , мкм	$\varepsilon_{\text{прг}}$ , мкм	$\varepsilon_{\text{к}}$ , мкм	$\varepsilon_{\text{в}}$ , мкм	$\varepsilon_{\text{т}}$ , мкм	$\varepsilon_{\Sigma}$ , мкм	$T_{\delta}$ , мкм	Наявність браку
$\varnothing 60\text{H9}^{(+0,074)}$	215	0,46	12	10	7	10	0,83	6,04	44,8	74	$\varepsilon_{\Sigma} < T_{\delta}$ , брак відсутній



Складові сумарної похибки при розточуванні

Рисунок 3.1 – Складові сумарної похибки при остаточному розточуванні отвору  $\varnothing 60\text{H9}^{(+0,074)}$  на верстаті 16K20 (розмір оброблюваної партії деталей 31 шт.)

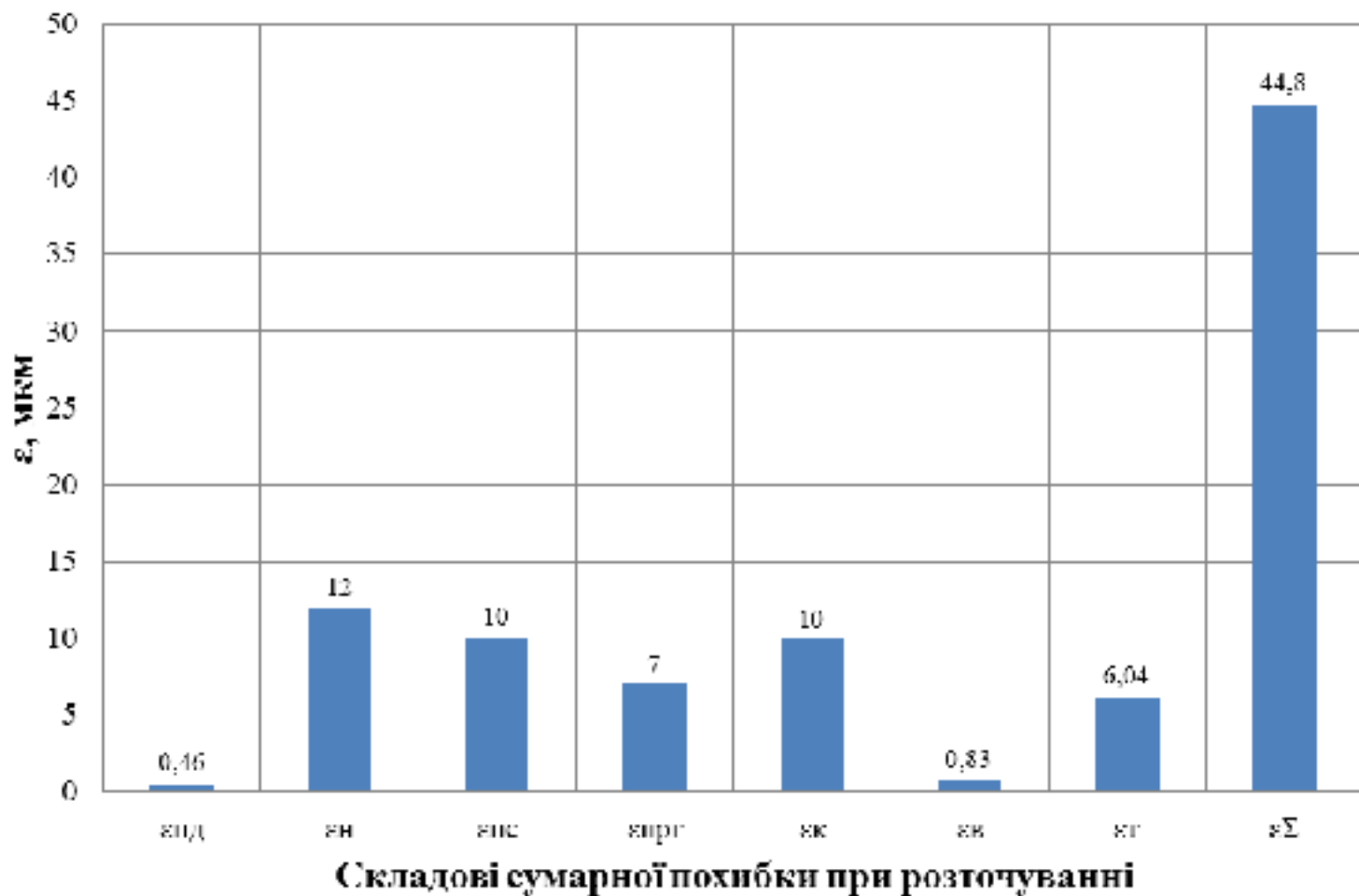


Рисунок 3.2 – Складові сумарної похибки при остаточному розточуванні отвору  $\varnothing 60H9^{(+0,074)}$  на верстаті 160НТ

### 3.3 Висновки

1. При остаточному розточуванні отвору на верстаті з РК (16К20) найбільші значення мають складові сумарної похибки – це похибка настроєння верстата  $\varepsilon_{н}$  та похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструменту  $\varepsilon_i$  (особливо  $\varepsilon_i$ ). Тому якщо обробляти всю партію деталей без знімання різця для переточування, то точність обробки не буде забезпечена, так як сумарна похибка  $\varepsilon_{\Sigma}$  значно більша допуску розміру деталі  $T_{\delta}$ , тобто не забезпечується робота без браку ( $\varepsilon_{\Sigma} = 232 \text{ мкм} > T_{\delta} = 74 \text{ мкм}$ ). Необхідно значно зменшити партію деталей, яка обробляється без переточування різця. Для деталі «Корпус кулачків У6.02027А» вона повинна складати не 215 шт., а лише 31 шт. Тоді  $\varepsilon_{\Sigma} = 72 \text{ мкм} < T_{\delta} = 74 \text{ мкм}$ .

2. При використанні верстата з ЧПК (160НТ) всі складові сумарної похибки є порівняно невеликими по значеннях і тому сумарна похибка при остаточному розточуванні отвору  $\varepsilon_{\Sigma}$  менша допуску розміру деталі  $T_{\partial}$ , гарантовано забезпечується точність обробки без браку для всієї заданої партії деталей без переточування інструмента.

3. Похибка настроєння верстата з ЧПК є значно меншою ніж верстата з РК за рахунок зменшення похибки регулювання положення різця.

4. При остаточному розточуванні отвору на верстаті з ЧПК на величину сумарної похибки обробки не впливає похибка із-за розмірного зношування інструменту, так як в програму введена періодична корекція положення інструмента.

5. При необхідності забезпечення заданої точності остаточного розточування отвору рекомендується використовувати верстат з ЧПК або верстат з РК підвищеної точності.

6. Результати виконаного аналізу можуть бути використані під час проектування нових технологічних процесів механічної обробки у машинобудівному виробництві, а також у навчальному процесі.

#### 4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КУЛАЧКІВ У6.02027А»

##### 4.1 Розрахунок приведеної програми [3, 21]

Приведена програма може бути розрахована за формулою:

$$N_{np} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{npi} \text{ [шт.]}, \quad (4.1)$$

Для визначення коефіцієнтів  $K_1, K_2, K_3$  скористаємося даними таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Дані для розрахунку приведеної програми

Деталі	Маса	Програма											
			6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Корпус кулачків У6.02027А (розрахунковий представник)	1,76	4500	-	-	4	6	1	-	2	3	50		
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-		
			-	-	1	-	10	9	46	-	-		
			6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Втулка	0,9	45000	-	2	2	3	2	-	4	-	28		
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-		
			-	-	2	2	3	6	28	-	-		
			6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Гільза	3,5	6000	1	-	6	3	2	-	4	-	30		
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-		
			1	-	2	-	9	5	29	-	-		
			6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Напрямна втулка	1,5	20000	-	2	4	3	-	-	10	-	26		
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-		
			-	-	2	-	7	10	26	-	-		
			6	7	8	9	10	11	12	13	14		

Розрахуємо коефіцієнт  $K_1$  для кожного з найменувань виробів. Оскільки в групу об'єднані подібні деталі, то  $K_1$  може бути розрахований за формулою:



$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{m_i}{m_{p.нр}}\right)^2}, \quad (4.2)$$

де  $m$  – маса деталі розглядуваного виробу;

$m_{p.нр}$  – маса розрахункового представника.

Таким чином коефіцієнт  $K_1$  складатиме (для деталей, що приводяться до розрахункового представника):

- для втулки: 
$$K_{1B} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_\phi}{m_{p.нр}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{0,9}{1,76}\right)^2} = 0,64;$$

- для гільза: 
$$K_{1Г} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_\Gamma}{m_{p.нр}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{3,5}{1,76}\right)^2} = 1,58;$$

- для прямої втулки: 
$$K_{1НВ} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{НВ}}{m_{p.нр}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{1,5}{1,76}\right)^2} = 0,89.$$

Коефіцієнт  $K_2$  складатиме (для деталей, що приводяться до розрахункового представника):

- для втулки: 
$$K_{2B} = \left(\frac{N_{p.нр}}{N_i}\right)^\alpha = \left(\frac{4500}{45000}\right)^{0,15} = 0,71;$$

- для гільзи: 
$$K_{2Г} = \left(\frac{N_{p.нр}}{N_i}\right)^\alpha = \left(\frac{4500}{6000}\right)^{0,15} = 0,95;$$

- для прямої втулки: 
$$K_{2НВ} = \left(\frac{N_{p.нр}}{N_i}\right)^\alpha = \left(\frac{4500}{20000}\right)^{0,15} = 0,8.$$

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує точність, шорсткість, складність конструкції деталі та конструктивні показники. Для технологічно подібних деталей визначається за формулами.

Знайдемо значення коефіцієнта  $K_{3,1}$  для кожної деталі:

- для розрахункового представника – «Корпус кулачків У6.02027А»:

$$\overline{K_{3,1}^{KK}} = \frac{\sum K_\gamma \cdot n_\gamma}{\sum n_\gamma} = \frac{8 \cdot 4 + 9 \cdot 6 + 10 \cdot 1 + 12 \cdot 2 + 13 \cdot 3 + 14 \cdot 50}{4 + 6 + 1 + 2 + 3 + 50} = 13,01;$$

$$\overline{K_{Tr.np.}^{\alpha_1}} = (13,01)^{\alpha_1} = 0,8;$$

- для втулки:

$$\overline{K_{T.втулки}} = \frac{\sum K_{\gamma} \cdot n_{\lambda}}{\sum n_{\lambda}} = \frac{7 \cdot 2 + 8 \cdot 2 + 9 \cdot 3 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 4 + 14 \cdot 28}{2 + 2 + 3 + 2 + 4 + 28} = 12,6;$$

$$K_{3.1втулки} = \frac{\overline{K_{T.втулки}}}{\overline{K_{Tr.np.корпусу}}} = \frac{(12,6)^{\alpha_1}}{(13,01)^{\alpha_1}} = \frac{0,85}{0,8} = 1,06;$$

- для гільзи:

$$\overline{K_{T.гильзи}} = \frac{\sum K_{\gamma} \cdot n_{\lambda}}{\sum n_{\lambda}} = \frac{6 \cdot 1 + 8 \cdot 6 + 9 \cdot 3 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 4 + 14 \cdot 30}{1 + 6 + 3 + 2 + 4 + 30} = 12,64;$$

$$K_{3.1гильзи} = \frac{\overline{K_{T.гильзи}}}{\overline{K_{Tr.np.корпусу}}} = \frac{(12,94)^{\alpha_1}}{(13,01)^{\alpha_1}} = \frac{0,805}{0,8} = 1,006;$$

- для прямої втулки:

$$\overline{K_{T.нап.втул.}} = \frac{\sum K_{\gamma} \cdot n_{\lambda}}{\sum n_{\lambda}} = \frac{7 \cdot 2 + 8 \cdot 4 + 9 \cdot 3 + 12 \cdot 10 + 14 \cdot 26}{2 + 4 + 3 + 10 + 26} = 12,37;$$

$$K_{3.1нап.втул.} = \frac{\overline{K_{T.нап.втул.}}}{\overline{K_{Tr.np.корпусу}}} = \frac{(12,37)^{\alpha_1}}{(13,01)^{\alpha_1}} = \frac{0,87}{0,8} = 1,08;$$

Знайдемо значення коефіцієнта  $K_{3,2}$  для кожної деталі:

- для розрахункового представника – «Корпус кулачків У6.02027А»:

$$\overline{R_{a.p.np.корпусу}} = \frac{\sum R_{ак} \cdot n_{к}}{\sum n_{к}}; \quad (4.3)$$

$$\overline{R_a^{\alpha_1}}_{Tr.np.} = (10,075)^{\alpha_1} = 0,95;$$

- для втулки:

$$\overline{R_{a.втулки}} = \frac{\sum R_{ак} \cdot n_{к}}{\sum n_{к}} = \frac{1,6 \cdot 2 + 2,5 \cdot 2 + 3,2 \cdot 3 + 6,3 \cdot 6 + 12,5 \cdot 28}{2 + 2 + 3 + 6 + 28} = 9,89;$$

$$K_{3.2\text{втулки}} = \frac{\overline{R_{\text{втулки}}}}{R_{\text{ар.пр.корпусу}}} = \frac{(9,89)^{\alpha_2}}{(10,075)^{\alpha_2}} = \frac{0,955}{0,95} = 1,005;$$

- для гільзи:

$$\overline{R_{\text{гільзи}}} = \frac{\sum R_{\text{ак}} \cdot n_{\text{к}}}{\sum n_{\text{к}}} = \frac{0,8 \cdot 1 + 1,6 \cdot 2 + 3,2 \cdot 9 + 6,3 \cdot 5 + 12,5 \cdot 29}{1 + 2 + 9 + 5 + 29} = 9,27;$$

$$K_{3.2\text{гільзи}} = \frac{\overline{R_{\text{гільзи}}}}{R_{\text{ар.пр.корпусу}}} = \frac{(9,27)^{\alpha_2}}{(10,075)^{\alpha_2}} = \frac{0,96}{0,95} = 1,01;$$

- для прямої втулки:

$$\overline{R_{\text{прям.втул.}}} = \frac{\sum R_{\text{ак}} \cdot n_{\text{к}}}{\sum n_{\text{к}}} = \frac{1,6 \cdot 2 + 3,2 \cdot 7 + 6,3 \cdot 10 + 12,5 \cdot 26}{2 + 7 + 10 + 26} = 9,19;$$

$$K_{3.2\text{прям.втул.}} = \frac{\overline{R_{\text{прям.втул.}}}}{R_{\text{ар.пр.корпусу}}} = \frac{(9,19)^{\alpha_2}}{(10,075)^{\alpha_2}} = \frac{0,975}{0,95} = 1,021;$$

Знайдемо значення коефіцієнта  $K_3$  для кожної деталі:

- для втулки:  $K_{3В} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 1,06 \cdot 1,005 = 1,065;$
- для гільзи:  $K_{3Г} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 1,006 \cdot 1,01 = 1,016;$
- для прямої втулки:  $K_{3НВ} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 1,08 \cdot 1,021 = 1,102;$

Знайдемо значення коефіцієнта  $K_{пр}$  для кожного виробу:

- для втулки:  $K_{прВ} = 1,065 \cdot 0,64 \cdot 0,71 = 0,483;$
- для гільзи:  $K_{прГ} = 1,016 \cdot 1,58 \cdot 0,95 = 1,525;$
- для прямої втулки:  $K_{прК} = 1,102 \cdot 0,89 \cdot 0,8 = 0,784;$

На основі приведених вище розрахунків приведена програма становитиме:

$$N_{пр} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{прi} = 4500 \cdot 1,0 + 45000 \cdot 0,483 + 6000 \cdot 1,525 + 20000 \cdot 0,784 = 51068(\text{шт}).$$

Приймаємо – 51068 шт.

Таблиця 4.2 – Розрахунок приведеної програми

Найменування виробу	Річний випуск, шт.	Маса одного виробу, кг	Коефіцієнт приведення				Приведена програма на річний випуск, шт.
			по масі	по серійності	по складності	загальний	
Корпус кулачків У6.02027А	4500	1,76	1	1	1	1	4500
Втулка	45000	0,9	0,64	0,708	1,065	0,483	21735
Гільза	6000	3,5	1,58	0,957	1,016	1,525	9150
Напрямна втулка	20000	1,5	0,89	0,799	1,102	0,784	15683
Всього		-	-	-	-	-	51068

## 4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнта завантаження [3, 21]

Необхідна кількість верстатів по кожній операції механічної обробки розрахункового представника:

$$C_p = \frac{N_{np} \cdot T_{шк}}{60 \cdot F_d} \quad (4.4)$$

Операція 005 (токарна з ЧПК) –  $C_p = \frac{51068 \cdot 2,6}{60 \cdot 3890} = 0,57$  – прийнято 1 верстат.

Операція 010 (токарно-револьверна з ЧПК) –  $C_p = \frac{51068 \cdot 1,32}{60 \cdot 3890} = 0,29$  – прийнято 1 верстат.

Операція 015 (токарно-револьверна з ЧПК) –  $C_p = \frac{51068 \cdot 2,32}{60 \cdot 3890} = 0,51$  – прийнято 1 верстат.

Операція 020 (вертикально-фрезерна з ЧПК) –  $C_p = \frac{51068 \cdot 3,16}{60 \cdot 3890} = 0,69$  – прийнято 1 верстат.

Операція 025 (горизонтально-протягувальна) –  $C_p = \frac{51068 \cdot 0,0168}{60 \cdot 3890} = 0,004$  – прийнято 1 верстат.

Операція 030 (токарна з ЧПК) –  $C_p = \frac{51068 \cdot 1,3}{60 \cdot 3890} = 0,28$  – прийнято 1 верстат.

Операція 035 (токарна з ЧПК) –  $C_p = \frac{51068 \cdot 0,7}{60 \cdot 3890} = 0,15$  – прийнято 1 верстат.

Прийнята кількість обладнання на кожній операції механічної обробки складає:

$$C_{np005} = 1; C_{np010} = 1; C_{np015} = 1; C_{np020} = 1; C_{np025} = 1; C_{np030} = 1; C_{np035} = 1.$$

На операції 010 і 015 приймаємо один верстат, так як використовується одна модель верстата 1П420ПФ30 і його завантаження на вказаних операція є досить низьким. Таким чином на дільниці буде 6 верстатів.

На операціях 025,030,035 коефіцієнт завантаження низький тому можна довантажити ці верстати обробкою інших деталей які не ввійшли в приведену програму.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_z = \frac{C_p}{C_{np}}, \quad (4.5)$$

де  $C_p$  – кількість розрахункового обладнання;

$C_{np}$  – кількість прийнятого обладнання.

$$\text{Операція 005: } \eta_z = \frac{0,57}{1} = 0,57.$$

$$\text{Операція 010-015: } \eta_z = \frac{0,29 + 0,51}{1} = 0,8.$$

$$\text{Операція 020: } \eta_z = \frac{0,69}{1} = 0,69.$$

$$\text{Операція 025: } \eta_z = \frac{0,004}{1} = 0,004.$$

$$\text{Операція 030: } \eta_z = \frac{0,28}{1} = 0,28.$$

$$\text{Операція 035: } \eta_z = \frac{0,15}{1} = 0,15.$$



Середній коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{з.сер} = \frac{0,57 \cdot 1 + 0,8 \cdot 1 + 0,69 \cdot 1 + 0,004 \cdot 1 + 0,28 \cdot 1 + 0,15 \cdot 1}{6} = 0,42.$$

Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання за основним часом:

$$\eta_o = \frac{T_o}{T_{шт-к}}, \quad (4.6)$$

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

$$\text{Операції 005: } \eta_{оз} = \frac{1,96}{2,6} = 0,753.$$

$$\text{Операції 010: } \eta_{оз} = \frac{1,019}{1,32} = 0,77.$$

$$\text{Операція 015: } \eta_{оз} = \frac{1,79}{2,32} = 0,77.$$

$$\text{Операція 020: } \eta_{оз} = \frac{2,26}{3,16} = 0,69.$$

$$\text{Операція 025: } \eta_{оз} = \frac{0,012}{0,0168} = 0,71.$$

$$\text{Операція 030: } \eta_{оз} = \frac{1,0}{1,3} = 0,769.$$

$$\text{Операція 035: } \eta_{оз} = \frac{0,537}{0,7} = 0,769.$$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання за основним часом:

$$\eta_{оз.с} = \frac{0,75 \cdot 1 + 0,77 \cdot 1 + 0,77 \cdot 1 + 0,69 \cdot 1 + 0,71 \cdot 1 + 0,769 \cdot 1 + 0,769 \cdot 1}{7} = 0,75.$$

### 4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

Графік завантаження обладнання показаний на рис. 4.1. Графік використання обладнання показаний на рисунку 4.2.

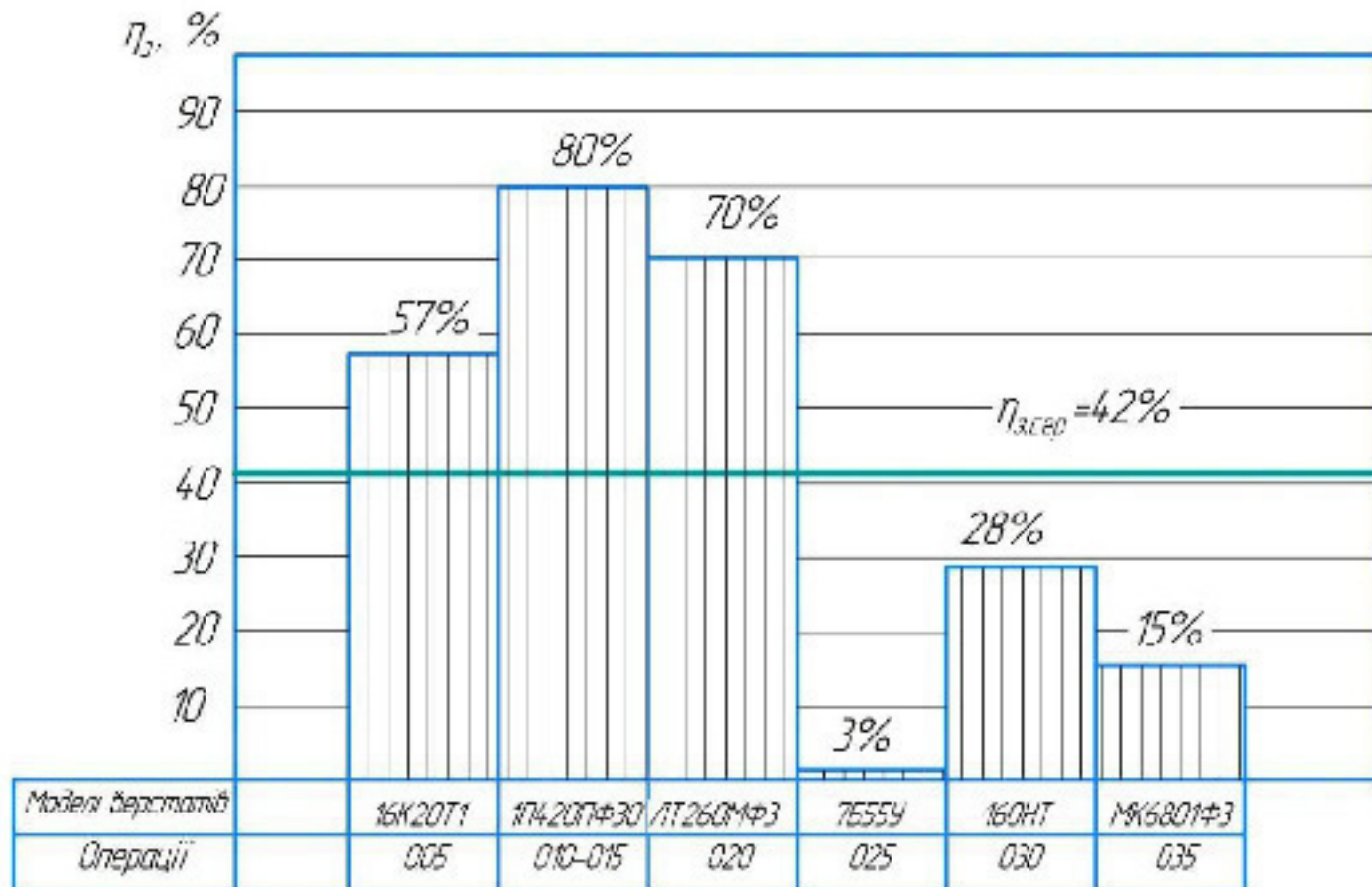


Рисунок 4.1 – Графік завантаження обладнання

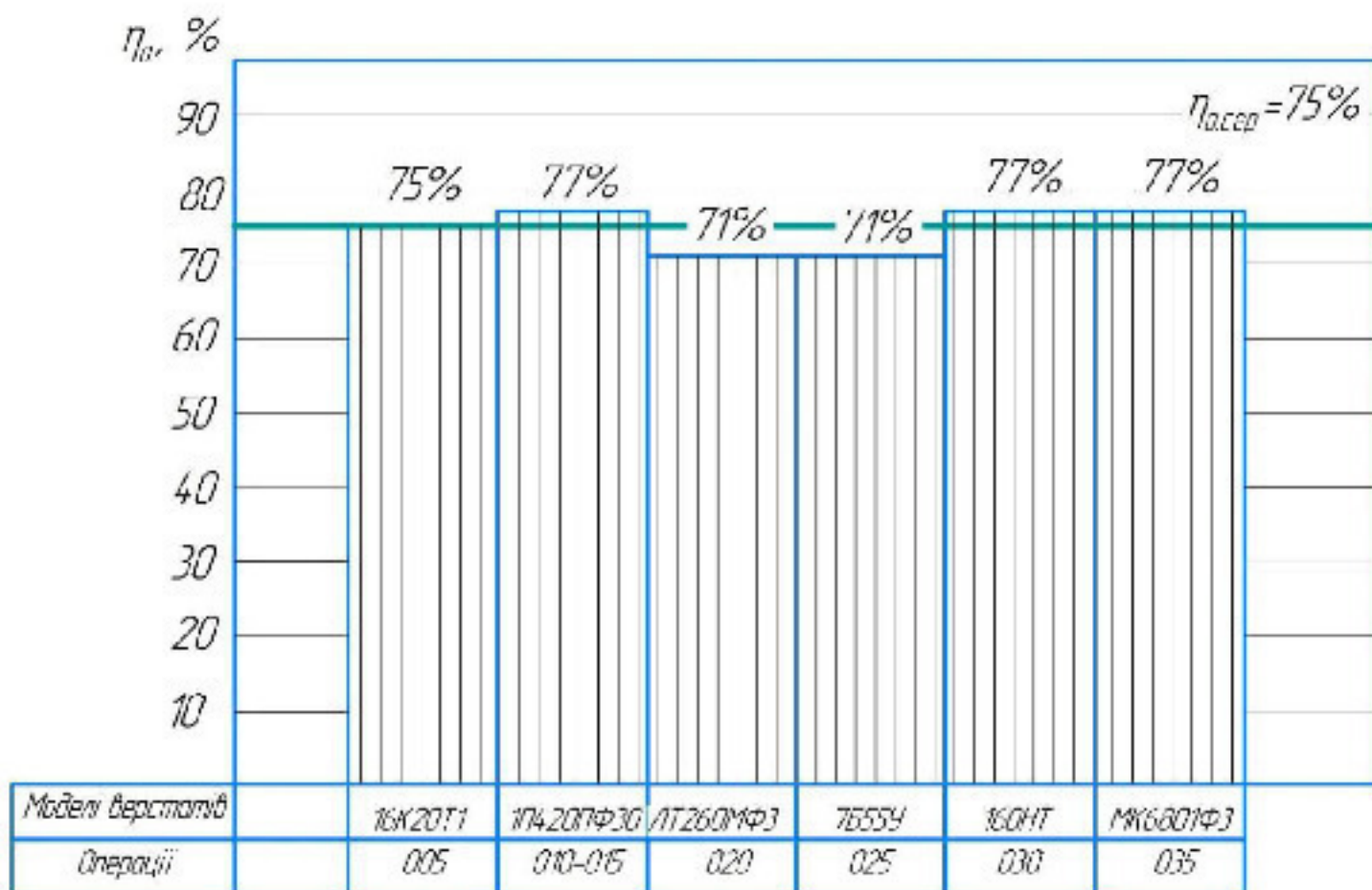


Рисунок 4.2 – Графік використання верстатів за основним часом

Середній коефіцієнт завантаження обладнання  $\eta_z=42\%$  не відповідає умовам середньосерійного виробництва (складає 75-85%), тобто потрібно довантажити верстати на операціях 025, 030 та 035 замовленнями з інших підприємств.

Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом є досить високим, що свідчить про правильність розробленого технологічного процесу. Більша частина штучно-калькуляційного часу використовується на процес різання.

#### 4.4 Розрахунок кількості робітників на ділянці [3, 21]

$$P_i = \frac{C_{np} \cdot F_d \cdot \eta_z \cdot \eta_e}{F_p \cdot K_m}, \quad (4.7)$$

де  $\eta_z$  і  $\eta_e$  – коефіцієнти, відповідно, завантаження і використання верстатів за основним часом;

$F_{др}$  – фонд часу робітника, хв.;

$K_m$  – коефіцієнт, залежить від виду обладнання.

Визначимо кількість основних робітників на кожній операції окремо.

$$\text{Операція 005: } P_{005} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,57 \cdot 0,753}{1860 \cdot 1} = 0,89, \text{ приймаємо 1.}$$

$$\text{Операція 010-015: } P_{010-015} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,8 \cdot 0,77}{1860 \cdot 1} = 1,28, \text{ приймаємо 2.}$$

$$\text{Операція 020: } P_{020} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,69 \cdot 0,77}{1860 \cdot 1} = 1,11, \text{ приймаємо 2.}$$

$$\text{Операція 025: } P_{025} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,04 \cdot 0,71}{1860 \cdot 1} = 0,0061, \text{ приймаємо 1.}$$

$$\text{Операція 030: } P_{030} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,28 \cdot 0,765}{1860 \cdot 1} = 0,45, \text{ приймаємо 1.}$$

$$\text{Операція 040: } P_{035} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,15 \cdot 0,769}{1860 \cdot 1} = 0,24, \text{ приймаємо 1.}$$

Тоді загальна кількість основних робітників складає:

$$P_{oc.} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 = 1 + 2 + 2 + 1 + 1 + 1 = 8.$$

Визначимо необхідну кількість допоміжних робітників. Їх кількість може бути визначена у відсотках (20-25%) від сумарної кількості основних робітників ( $P_{oc.}$ ):

$$P_{д.} = P_{oc.} \cdot (0,2 \dots 0,25) = 8 \cdot (0,2 \dots 0,25) = 1,6 \dots 2 - \text{приймаємо } 2.$$

Визначимо необхідну кількість інженерно-технічних робітників. Для механічних цехів їх кількість може бути визначена у відсотках (16-22%) від сумарної кількості прийнятих верстатів ( $C_{пр.}$ ):

$$P_{i.t.} = C_{пр.} \cdot (0,16 \dots 0,22) = 6 \cdot (0,16 \dots 0,22) = 0,96 \dots 1,32 - \text{приймаємо } 1.$$

Визначимо необхідну кількість службовців. Їх кількість може бути визначена у відсотках (0,9-1,9%) від сумарної кількості основних робітників ( $P_{oc.}$ ):

$$P_{с.} = P_{oc.} \cdot (0,009 \dots 0,019) = 8 \cdot (0,009 \dots 0,019) = 0,072 \dots 0,152.$$

- приймаємо 1 службовця, який має обслуговувати ще цілий ряд діляниць.

Молодший обслуговуючий персонал приймають: 1 чоловік на 500-600 м<sup>2</sup>.

Приймаємо 1 людину яка буде обслуговувати ще інші діляниці.

Загальна кількість працюючих зведемо у відомість працюючих на діляниці (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Відомість працюючих

Працюючі (категорія)	Загальна кількість	Розподіл по професіям	Розподіл по змінам
Основні робітники	8	1 – токар	1 (1-ша зміна)
		2 – токарі	1 (1-ша зміна) 1 (2-га зміна)
		2 – фрезерувальники	1 (1-ша зміна) 1 (2-га зміна)
		1 – протягувальник	1 (1-ша зміна)
		1 – токар	1 (1-ша зміна)
		1 – токар	1 (1-ша зміна)
Допоміжні робітники	2	1 – контролер 1 – транспортник	
ІТР	1	1 – технолог	
Службовці	1	1 – бухгалтер	
МОП	1	1 – прибиральник	

#### 4.5 Висновки

В даному розділі виконано проектування елементів дільниці для реалізації удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А». При цьому розраховано приведену програму для роботи дільниці в середньосерійному виробництві, яка складає 51068 шт. (проектується дільниця, на якій вироблятиметься 4 подібні деталі).

Середній коефіцієнт завантаження обладнання не відповідає умовам середньосерійного виробництва (0,75-0,85). Верстати на операціях 025-035 необхідно довантажити обробкою інших деталей (крім тих, що враховані в приведеній програмі).

Дільниця механічної обробки повинна містити 6 верстатів, кількість основних робітників, що її обслуговують – 8 чол., всього працівників на дільниці – 13 чол. Всі працівники (крім основних робітників-верстатників) не завантажені роботою на даній дільниці і вони обслуговують ще інші дільниці.



**5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ  
ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КУЛАЧКІВ У6.02027А»**

5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки [2]

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.

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 немає
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	3	4	4
2	2	2	1
3	3	2	2
4	2	1	1
5	4	3	2
6	2	1	2
7	3	3	4
8	1	1	2
9	1	4	3
10	2	3	2
11	3	4	2
12	2	2	3
Сума балів	СБ <sub>1</sub> = 28	СБ <sub>2</sub> = 30	СБ <sub>3</sub> = 28
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3} = \frac{28 + 30 + 28}{3} = 28,7$		

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

$$K_{\text{н.а.}} = 9 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,2 + 7 \cdot 0,1 + 7 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,15 = 8,4.$$

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.	15	6	2,5	0,4
Кількість основних робітників, чол.	30	8	3,75	0,2
Середній розряд робітників	5	3,4	1,47	0,1
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,34	0,42	1,24	0,15
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом	0,49	0,75	1,53	0,15
Собівартість заготовки, грн.	67,09	66,63	-	-

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

$$q_i = \frac{P_{ni}}{P_{bi}}, \quad (5.2)$$

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:

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

$$K_{я.в.} = 2,5 \cdot 0,4 + 3,75 \cdot 0,2 + 1,47 \cdot 0,1 + 1,24 \cdot 0,15 + 1,53 \cdot 0,15 = 2,31.$$

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:

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

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

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

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

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 2,31. За формулою (5.6) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I_{e.n.} = \frac{66,63}{67,09} = 0,99.$$

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

$$K = \frac{2,31}{0,99} = 2,33.$$

Оскільки  $K > 1$ , то запропонована нова технологія виготовлення деталі «Корпус кулачків У6.02027А» є більш доцільнішою і конкурентноспроможною, ніж базова.

5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А»

### 5.2.1 Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу

Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу  $K$ , складаються з відповідних витрат і розраховують за такою формулою [2]:

$$K = Z_o + Z_{доd} + Z_n + B_{бyд} + B_{обл} + B_{тp} + B_{осн} + B_{инв} + B_{пy} + B_{не} + B_{оз} \text{ [грн.]}, \quad (5.7)$$

де  $Z_o$  – основна заробітна плата розробників, грн.;  $Z_{доd}$  – додаткова заробітна плата розробників, грн.;  $Z_n$  – нарахування на заробітну плату розробників, грн.;  $B_{бyд}$  – вартість будівлі, що її займає ділянка, грн.;  $B_{обл}$  – початкова вартість технологічного обладнання, грн.;  $B_{тp}$  – 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.;  $B_{пy}$  – 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	9000	409,1	10	4091	
Інженер-технолог	8000	363,64	8	2909,12	
Інженер-конструктор	8000	363,64	8	1818,2	
Економіст	8000	363,64	2	2909,12	
Всього				$z_o$	10636,52

### 5.2.3 Додаткова заробітна плата розробників

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

$$z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}} \cdot z_o \text{ [грн.]}, \quad (5.9)$$

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

$$z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 10636,52 = 1063,652 \text{ (грн.)}$$

### 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:

$$z_n = (z_o + z_{\text{дод}}) \cdot H_{zn} \text{ [грн.]}, \quad (5.10)$$

де  $H_{zn}$  – норма нарахування на заробітну плату розробників.

$$z_n = (10636,52 + 1063,652) \cdot 0,22 = 2547,04 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.5 Вартість будівлі, що її займає дільниця

У нашому випадку не передбачається будівництво дільниці, тому ми розрахуємо вартість переобладнання існуючої дільниці. 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 ( $C_{\text{пл.}} \approx 200 \dots 1000$  грн./м<sup>2</sup>);

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

$$B_{\text{буд.}} = 600 \cdot 180 = 108000 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.6 Початкова вартість технологічного обладнання

Балансову вартість нового обладнання розраховуємо за формулою:

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

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

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

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

$k$  – кількість найменувань обладнання встановленого на дільниці.



Таблиця 5.6 – Вартість обладнання

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	$K_i$	Вартість, грн.
1	Токарний верстат з ЧПК 16K20T1	350000	1	1,1	385000
2	Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ30	450000	1	1,1	495000
3	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3	400000	1	1,1	440000
4	Горизонтально-протягувальний верстат 7Б55У	250000	1	1,1	275000
5	Токарний верстат з ЧПК 160НТ	400000	1	1,1	440000
6	Токарний верстат з ЧПК МК6801Ф3	500000	1	1,1	550000
Всього					2585000

Придбані верстати були у використанні.

Реалізуємо верстати, що були на базовій дільниці:

- 1 верстат 1А720 – 200000 грн.;
- 4 верстати 1341 –  $4 \cdot 180000 = 720000$  (грн.);
- 1 верстат 7А420 – 100000 грн.;
- 1 верстат 6А12Р – 75000 грн.;
- 3 верстати НС-12 –  $3 \cdot 20000 = 60000$  (грн.);
- 2 верстати 5А05 –  $2 \cdot 40000 = 80000$  (грн.);
- 1 верстат 1К62 – 100000 грн.;
- 1 верстат 3160 – 150000 грн.

Всього реалізовано верстатів на 1485000 грн.

Отже, витрати на обладнання

$$O = 2585000 - 1485000 = 1100000 \text{ (грн.)}$$

### 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;

$$B_{то} = 1100000 \cdot 0,10 = 110000 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{осн} = 110000 \cdot 0,25 = 27500 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{\text{куп}} = 0,1 \cdot 110000 = 11000 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{\text{осн}} = 110000 + 27500 + 11000 = 148500 \text{ (грн.)}$$

#### 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 ( $B_{\text{пу}}$ ) становить 5...10% вартості додатково придбаного технологічного обладнання з ЧПУ і розраховується за формулою:

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

$$B_{\text{пу}} = 0,1 \cdot 1100000 = 110000 \text{ (грн.)}$$

#### 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:

$$K = 10636,52 + 1063,652 + 2547,04 + 108000 + 1100000 + 148500 + 110000 = \\ = 1480747,1 \text{ (грн.)}$$

### 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 кулачків У6.02027А» складає 66,63 грн. (див. розділ 2).

#### 5.3.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

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

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

де  $W_{yl}$  – 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,  $C_e = 2,99$  грн.;

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

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

Проведені розрахунки бажано звести до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на електроенергію

Найменування операції, верстат	Встановлена потужність, кВт	Тривалість обробки, год.	Сума, грн.
005 Токарний верстат з ЧПК 16K20T1	11	0,025	0,64
010, 015 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ30	22	0,047	2,58
020 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3	6	0,038	0,26
025 Горизонтально-протягувальний верстат 7Б55У	17	0,0002	0,0085
030 Токарний верстат з ЧПК 160НТ	11	0,017	0,466
035 Токарний верстат з ЧПК МК6801Ф3	11	0,009	0,23
Всього			Σ 4,19

### 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,  $M_M = 4173$  грн. (на 01.01.2019 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.

$$C = (4173 \cdot 1,35 \cdot 1,5) / (22 \cdot 8) = 48 \text{ (грн.)}$$

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.
1	2	3	4	5	6
005 Токарна з ЧПК, 16K20T1	0,043	3	1,35	48	2,064
010, 015 Токарно-револьверна з ЧПК, 1П420ПФ30	0,061	3	1,35	48	2,928
020 Вертикально-фрезерна з ЧПК, ЛТ260МФ3	0,053	3	1,35	48	2,544
025 Горизонтально-протягувальна, 7Б55У	0,00028	4	1,5	53,35	0,015

Продовження таблиці 5.8

1	2	3	4	5	6
030 Токарна з ЧПК, 160НТ	0,022	4	1,5	53,35	1,174
035 Токарна з ЧПК, МК6801Ф3	0,012	4	1,5	53,35	0,64
Всього					Σ 9,37

#### 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.

$$Z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 9,37 = 0,937 \text{ (грн.)}$$

#### 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:

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

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

$$Z_n = (9,37 + 0,937) \cdot 0,22 = 2,27 \text{ (грн.)}$$

#### 5.3.6 Розрахунок загальновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

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

$$B_{\text{заг}} = 2,5 \cdot 9,37 = 23,43 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Таблиця 5.9 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.	Примітка
Витрати на матеріали на одиницю продукції, грн.	$M$	66,63	
Витрати на силову електроенергію, грн.	$B_e$	4,19	
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	$Z_p$	9,37	
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	$Z_{\text{дод}}$	0,937	
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	$Z_{\text{н}}$	2,27	
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{\text{заг}}$	23,43	
Всього	$S_e$	106,83	

#### 5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу

##### 5.4.1 Нижня межа ціни

Ціна реалізації виробу розраховується за формулою:

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

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

$S_e$  – виробнича собівартість виробу, грн.;

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

$w$  – ставка податку на додану вартість, за станом на 1.10.2019 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.

$$C_{\text{впр}} = 106,83 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 153,83 \text{ (грн.)}$$

#### 5.4.2 Верхня межа ціни

Верхня межа ціни ( $C_{\text{впр}}$ ) 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  $C_{\text{впр}} = 153,83$  грн.

#### 5.5 Розрахунок величини чистого прибутку

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

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

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

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

$S_{\text{в}}$  – 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.

$$\begin{aligned} \Pi &= \left\{ \left[ 153,83 - \frac{(153,83 - 66,63) \cdot 16,67}{100} - 106,83 - \frac{10 \cdot 106,83}{100} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 51068 = \\ &= 912095,92 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

## 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.

$$NPV = \frac{912095,92}{(1+0,2)^1} + \frac{912095,92}{(1+0,2)^2} + \frac{912095,92}{(1+0,2)^3} + \frac{912095,92}{(1+0,2)^4} - 1480747,1 = 880427 \text{ (грн.)}$$

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.

$$IRR_{MIN} = \sqrt[4]{\frac{912095,92 + 912095,92 + 912095,92 + 912095,92}{1480747,1}} - 1 = 0,25.$$

### 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.;

$$T_o = \frac{1480747,1}{912095,92} = 1,62 \text{ (року)}.$$

## 5.7 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А», 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 1480747,1 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 912095,92 грн., термін окупності 1,62 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» доцільне для впровадження.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 6.1 Аналіз умов праці

На дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» виникають наступні шкідливі та небезпечні фактори [22, 23]:

- фізичні: рухомі частини виробничого обладнання; вироби, що переміщуються; підвищений рівень шуму; гострі кромки, заусенці; підвищена напруга в електричній мережі, замикання якої може пройти через тіло людини; недостатня освітленість робочої зони; недостатнє природне освітлення;

- хімічні: загально токсичні ( $\text{CO}_2$  – джерело – міжцеховий автотранспорт; вуглеводні містяться у парах ЗОР); роздратовуючі (пари лугів з ЗОР);

- психологічні: фізичні перенавантаження (при перенесенні деталей до робочого місця); нервово-психічні перенавантаження (викликаються монотонністю праці).

### 6.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

#### 6.2.1 Вимоги до технологічних процесів, обладнання та приміщення

Обладнання повинно бути безпечним при монтажу, експлуатації і ремонту як окремо, так і в складі технологічних систем, при зберіганні, повинно бути пожежно-вибухобезпечним і не забруднювати навколишнє середовище вище норм.

Об'єм промислового приміщення на одного працюючого не повинен бути менше  $15 \text{ м}^3$ , а площа –  $4,5 \text{ м}^2$ .

#### 6.2.2 Мікроклімат

Мікроклімат у виробничих приміщеннях визначається згідно ГОСТ 12.1.005-88 наступними параметрами: температура повітря  $t$ , °С; відносною

вологістю  $\varphi$ , %; швидкістю руху повітря на робочому місці  $v$ , м/с; атмосферним тиском  $p$ , мм.рт.ст.

Згідно з ГОСТ 12.1.005-88 метеорологічні умови визначаються для робочої зони на висоті 2 м над рівнем підлоги. Людина почуває себе гарно, якщо температура навколишнього повітря  $t = 18...22$  °С; відносна вологість  $\varphi = 40...60\%$ , швидкість руху повітря на робочому місці  $v = 0,1...0,2$  м/с.

Для категорії робіт II б – роботи середньої важкості, що виконуються стоячи, пов'язані з ходінням та перенесенням невеликих вантажів до 10 кг, які вимагають помірних фізичних напруг, параметри мікроклімату наведені у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Показники мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура $t$ , °С					Відносна вологість, %		Швид. повітря, м/с	
		Оптимальна	На робочих місцях				Оптимальна	Допустима на роб. місці	Оптимальна	Допустима на роб. місці
			Верхня межа		Нижня межа					
			пост.	непост.	пост.	непост.				
Холодний	II б	17...19	21	23	15	13	40...60	75	0,2	>0,4
Теплий		20...22	27	29	16	15	40...60	70(1=25°C)	0,3	0,2...0,5

Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь технологічного обладнання не повинно перевищувати  $100 \text{ Вт/м}^2$  при опроміненні не більше 25% поверхонь тіла.

Оптимальні параметри мікроклімату підтримувати економічно недоцільно, тому підтримують допустимі параметри.

У механічному цеху, де відсутні шкідливі виділення і необхідно мала кратність повітрообміну, застосовують витяжну загальну обмінну вентиляцію.

### 6.2.3 Освітлення

Виробниче освітлення відповідно до СНіП II-4-79 характеризується кількісними та якісними показниками. Кількісні показники: світловий потік, сила

світла, освітленість, яскравість. Якісні: фон, контраст об'єкта з фоном, видимість і т. д.

Зорова робота на розробляє мій ділянці відноситься до I групи (СНіП II-4-79): розрізнення об'єктів зорової роботи здійснюється при фіксованому направленні лінії зору робітників на робочу поверхню (виробничі приміщення промислових підприємств).

Природне освітлення на ділянці є верхнє з боковим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості – це відношення освітленості зовні.

Таблиця 6.2 – Нормування освітленості

Характер зорової роботи	Найменший розмір об'єкту розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкту розрізнення	Характер фону	Штучне, лм	Природне, %
						Комб.	Комб.
Високоточне	більше 0,15 до 0,3	2	в	середній	середній	750	2,5

Нормальне значення для КПО:

$$e_N^{IV} = e_N^{III} \cdot m \cdot c, \quad (6.1)$$

де  $e_N^{IV}$  – значення КПО для будівель, що розташовані у II поясі світлового клімату;

$m$  – коефіцієнт світлового клімату, що враховує особливість світлового клімату іншої місцевості;

$c$  – коефіцієнт сонячності клімату.

Для бокового природного освітлення  $e_N^{III} = 10\%$ ; для суміщення освітлення  $e_N^{III} = 6\%$ ;  $m = 0,9$ ;  $c = 0,75$ , для зовнішніх стін азимут  $270^\circ$ .

Отже, мінімальні значення КПО:

- для природного освітлення:  $e_N^{IV} = 3 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 2\%$ ;



- для суміщення освітлення  $e_H^{IV} = 6 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 1,215 \%$ .

Нестачу природної освітленості компенсує штучне. Воно складається з загального освітлення виробничої площі та місцевого освітлення. Місцеве освітлення реалізується лампами розжарювання; загальне – газорозрядними лампами. В якості газорозрядних ламп можна використати лампи типу ДРІ, ДНаТ, ДРЛ, які потребують встановлення пуско-регулюючої апаратури (ПРА). Можна також замінити ці лампи на більш економічні компактні люмінесцентні лампи, які не потребують ПРА. В лінійних світильниках можна використати трубчасті люмінесцентні лампи Т8 або Т5, які також можна замінити на світлодіоди, в тому числі світлодіодні трубки.

Розрахунок локального (місцевого) освітлення зони різання.

Розрахунок проводимо за точковим методом.

Необхідна освітленість

$$E_A' = \frac{I_s \cdot \cos\alpha}{r^2} = \frac{148 \cdot \cos 34,99}{1,22^2} = 81,41 \text{ (лк)}.$$

де  $I_s$  – сила світла в напрямку променя від джерела світла на розрахункову точку робочої поверхні.

Фактична освітленість:

$$E_A^\Phi = E_A' \cdot \frac{\Phi \cdot \mu}{10^3 \cdot K} = 81,46 \cdot \frac{1180 \cdot 1,2}{1,22^2} = 76,89 \text{ (лк)}.$$

де  $\mu$  – коефіцієнт впливу віддалених світильників, приймаємо  $\mu = 1,2$ .

Так як на розрахункову точку падає світло декількох світильників, то визначаємо сумарну освітленість за формулою:

$$E_\Sigma = 2 \cdot E_A^\Phi = 2 \cdot 76,89 = 153,78 \text{ лк} > 150 \text{ лк}.$$

Отже, вибираємо лампи ЛБ 20-4 з потужністю 20 Вт і світловим потоком  $\Phi = 1180$  тривалістю горіння  $10 \cdot 10^3$  годин.

Природне освітлення проводиться через вікна розмірами  $3,5 \times 3,2$  м.

#### 6.2.4 Шум та вібрації

Шум має великий вплив на працездатність людини. Джерелами шуму на розглядає мій ділянці є працююче обладнання, шум з сусідніх ділянок та шум автотранспорту.

Для постійних робочих місць у виробничих приміщеннях і території підприємства допустимі рівні звукового тиску згідно ГОСТ 12.1.003 - 83 наведені у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Допустимі рівні звукового тиску

Рівні звукового тиску, дБ, в октавних смугах з середньо герметичними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	82	82	78	75	73	71	69	80

Для зниження шуму у виробничих приміщеннях застосовують різні методи: зменшення рівня шуму в джерелі його виникнення; звукопоглинання і звукоізоляція; установка глушників шуму; раціональне розміщення обладнання; застосування засобів індивідуального захисту.

Вібрація виникає при зворотно-поступальних рухах системи, обертання нерівноважених мас, ударів деталей. По дії на людину вібрація поділяється на загальну та локальну. Систематична дія вібрації призводить до різноманітних порушень здоров'я людини.

На ділянці механічної обробки на робітників діє локальна та загальна вібрація, джерелом якої є працююче обладнання. Згідно ГОСТ 12.1.012-90 на постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях допустимі такі рівні вібрації (табл. 6.4) для категорії вібрації 3 тип «а» – технологічна вібрація, що діє

на операторів стаціонарних машин та обладнання, чи передається на робочі місця, що не мають джерел вібрації.

Таблиця 6.4 – Допустимі рівні вібрації

Вид вібрації	Категорії вібрації по СН	Направлення дії	Нормативне корегування по частоті і еквівалентне корегування значення			
			Вібро-прискорення	Рівень віброприскорення	Вібро-швидкість	Рівень віброшвидкості
			м с <sup>-1</sup>	дБ	м с <sup>-1</sup> 10 <sup>-2</sup>	дБ
загальна	3 типа «а»	z0, y0, x0	0.1	100	0,2	92

Санітарні норми одночисельних показників вібраційного навантаження на оператора для тривалості зміни 8 год. також наведені в таблиці 6.4.

Технічні заходи захисту від вібрацій полягають у зниженні вібрації в джерелі її виникнення та зменшенні вібрації на шляхах її поширення від джерела.

Зменшення вібрації в джерелі її виникнення досягається шляхом застосування таких кінематичних та технологічних схем, які усувають чи мінімально знижують дію динамічних сил. Так, вібрація послаблюється при заміні кулачкових та кривошипних механізмів на механізми, що обертаються з рівномірною швидкістю, механічних приводів – на гідравлічні та ін. Зменшення вібрації досягається також статичним та динамічним зрівноважуванням механізмів та об'єктів, що обертаються.

Контакту працівника з віброоб'єктом, а відтак і шкідливої дії вібрації можна уникнути шляхом використання дистанційного керування, автоматичного контролю та сигналізації, а також застосування захисного огороження. Якщо цього досягти неможливо, то необхідно при контакті працівника з віброоб'єктом домогтися зменшення параметрів вібрації на шляху її поширення від джерела змушувальної сили. Цього можна досягти за допомогою вібропоглинання, віброгасіння та віброізоляції.

## 6.3 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи

### 6.3.1 Техніка безпеки

Для забезпечення безпеки повинні встановлюватися пристрої, що виключають можливість проникнення робітника в небезпечну зону; захисні екрани для верстатів; переносні огорожі; блокуючі пристрої; пристрої сигналізації у верстатах; застосовуватись особливі конструкції кнопок керування, що роблять неможливим попадання робітника у небезпечну зону.

Робітники дільниці при обробці різанням повинні мати засоби індивідуального захисту: спецодяг, взуття.

### 6.3.2 Електробезпека

Дільниця по небезпеці ураження електричним струмом відноситься до особливо небезпечних приміщень, оскільки на цій дільниці існують струмопровідні поли і можливість одночасного дотику людини до механізмів, що мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів з іншого. Безпека при експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок забезпечується засобами захисту.

В якості захисного засобу на дільниці використовується занулення для трьохфазної чотирьох провідної мережі із заземленою нейтраллю. Занулення в електроустановках не знаходиться під напругою до 1000 В – спеціальне заземлення частин, які нормально не знаходяться під напругою, з глухо-заземленою нейтраллю генератора або трансформатора в мережах трьохфазного струму.

Занулення перетворює замикання на корпус в однофазне коротке замикання між фазним і нульовим проводами з метою утворення більшого струму, здатного забезпечити спрацювання захисту і відключення установки від мережі.

Другим основним засобом електробезпеки є захисне заземлення всіх струмопровідних корпусів обладнання на дільниці.

Захисна дія заземлення ґрунтується на зменшенні напруги дотику між корпусом обладнання і землею. При замиканні якої фази на струмопровідний корпус через провідник заземлення фаза замикається на землю. Це є однофазне коротке замикання, від струму якого спрацює захисне обладнання, яке відключає дану установку від електромережі.

На ділянці виконане природне заземлення – всі струмопровідні корпуси установок та механізмів заземлені на підземні трубопроводи.

Крім того, на ділянці використовують різні електрозахистні засоби: діелектричні рукавиці, гумові килими, ізолюючі підставки, показники напруги. В різних місцях встановлені різні попереджувальні плакати: дозволяючи, остерігаючи та нагадуючи.

#### 6.4 Пожежна безпека

В якості робочої рідини використовується мінеральне мастило. Температура спалаху у нього більше 61 °С тому дане виробництво слід віднести до категорії «В». В відповідності з ДБН В.2.1.1-2002 приміщення має ступінь вогнестійкості – II, допустиме значення поверхів – фактично 1, площа поверху не обмежується. Межі вогнестійкості будівлі II ступеня стійкості, м:

Стіни	межа вогнестійкості
Несучі і сходові клітки	2
Самонесучі	1
Зовнішні не несучі	0,25
Колони	2
Сходові площадки, ступені, балки	1
Плити, настили і інші перекриття	0,25
Елементи покриття:	
Плити, настили, прогони	0,25
Балки, ферми, арки	0,25



Для забезпечення гасіння пожежі в початковому стані його джерело треба встановити найшвидше, тому встановлюємо внутрішній пожежний кран.

З метою забезпечення пожежобезпеки слід контролювати установку по допускній температурі, так як в ній використовується мінеральне мастило, а також не допускати перегріву електродвигунів.

В приміщенні висота від підлоги до низу виступаючих конструкцій повинна бути не менша 2,2 м. Висота від підлоги до низу виступаючих частин конструкцій і обладнання у місцях регулярного проходження людей і на шляхах евакуації – не менше 2 м.

Евакуаційні шляхи повинні забезпечувати безпечну евакуацію всіх людей, що знаходяться в приміщеннях споруд, через евакуаційні виходи. Кількість евакуаційних виходів з будівель слід приймати не менше двох.

Відстань від найбільш віддаленого робочого місця приміщення до евакуаційного виходу із будівлі для даного приміщення згідно ДБН В.2.1.1-2002 не обмежується. Ширина виходу із приміщення: через двері – 1 м, через розсувні ворота – 2,5 м. Кількість людей на 1 метр складає близько 10 чоловік. Згідно ДБН В.2.1.1-2002 кількість до 120 чоловік. В механічному цеху знаходиться пожежний щит з вогнегасником, сокирою, лопатою, відром, біля щита ящик з піском.

## 6.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Визначення області працездатності системи ЧПК верстатного обладнання в умовах дії іонізуючих та електромагнітних випромінювань.

### 6.5.1 Дія іонізуючих та електромагнітних випромінювань на електронні пристрої та системи

Радіоелектронна апаратура, що знаходиться в зоні дії іонізуючих випромінювань, може істотно змінювати свої параметри і виходити з ладу.

Ці пошкодження відбуваються в результаті зміни фізичних і хімічних властивостей радіотехнічних (напівпровідникових, ізоляційних, металевих і ін.)

матеріалів, параметрів приладів і елементів електронної техніки, виробів електротехніки і радіоелектронних схемних пристроїв.

Здатність виробів виконувати свої функції і зберігати характеристики і параметри в межах встановлених норм під час і після дії іонізуючих випромінювань називають радіаційною стійкістю.

Ступінь радіаційних пошкоджень в опромінюваній системі залежить як від кількості енергії, що передається при опроміненні, так і від швидкості передачі цієї енергії. Кількість поглиненої енергії і швидкість передачі її у свою чергу залежать від виду і параметрів випромінювання і ядерно-фізичних характеристик речовин, з яких виготовлений опромінюваний об'єкт.

Зміна властивостей речовин, що виникають в результаті взаємодії з іонізуючими випромінювань, ґрунтується на утворення різних дефектів в матеріалі. Радіаційні зміни в матеріалах бувають наступних типів: вакансії (вакантні вузли), атоми домішок (домішкові атоми), зіткнення при заміщеннях, термічні (теплові) піки, піки зсуву, іонізаційні ефекти.

Суттєвий вплив на роботу електронних систем та обладнання має електромагнітне випромінювання. До основних його джерел можна прирахувати перш за все електромагнітну та атомну зброю, а також електротранспорт (трамваї, тролейбуси, поїзди і т.д.), лінії електропередач (міського освітлення, високовольтні і т.д.), електропроводку (усередині будівель, телекомунікації і т.д.), побутові електроприлади, теле- і радіостанції (трансляючі антени), супутниковий і стільниковий зв'язок (трансляючі антени), персональні комп'ютери і т. д.

Для зниження інтенсивності впливу цих випромінювань на різні системи можна вжити інженерно-технічні захисні заходи, що будуються на використанні явища екранування електромагнітних полів безпосередньо в місцях розташування обладнання або на заходах щодо обмеження емісійних параметрів джерела поля. Цей вид випромінювання має високу проникну здатність. Для захисту обладнання, що розташоване в відкритих приміщеннях здійснюється екранування оглядових вікон, вікон приміщень, перегородок застосовується металізованим склом, що володіє екрануючими властивостями. Така властивість скла додає

тонка прозора плівка з оксидів металів, частіше за все олово, або металів – мідь, нікель, срібло і їх поєднання. Плівка володіє достатньою оптичною прозорістю і хімічною стійкістю. Будучи нанесеною на одну сторону поверхні скла вона ослабляє інтенсивність випромінювання в діапазоні 0,8-150 см на 30 Дб (у 1000 разів). При нанесенні плівки на обидві поверхні скла ослаблення досягає 40 дб (у 10000 разів). Для захисту обладнання від дії електромагнітних випромінювань в будівельних конструкціях, як захисні екрани можуть застосовуватися металева сітка, металевий лист або будь-яке інше провідне покриття, у тому числі і спеціально розроблені будівельні матеріали. У ряді випадків достатньо використання заземленої металевої сітки, що поміщається під облицювальний або штукатурний шар. Як екрани можуть застосовуватися також різні плівкові і тканинні ізоляції з металізованим покриттям. Останніми роками як екрануючі матеріали широко використовуються металізовані тканини на основі синтетичних волокон. Їх отримують методом хімічної металізації (з розчинів) тканин різної структури і щільності. Існуючі методи отримання дозволяють регулювати кількість металу, що наноситься, в діапазоні від сотих долей до одиниць мкм і змінювати поверхневий питомий опір тканин від десятків до долей Ом.

#### 6.5.2 Визначення області працездатності системи ЧПК верстатного обладнання в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм, що визначатиме працездатність системи ЧПК в умовах дії іонізуючих випромінювань приймається максимальне значення потужності дози в умовах експлуатації, яка може зумовити виникнення зміни параметрів елементів системи не порушуючи її працездатність в цілому.

Аналіз структурної та електричної схем системи ЧПК показує, що елементами без яких неможливе її нормальне функціонування є: інтегральні схеми, конденсатори, мікросхеми, випрямлячі, магнітні матеріали, транзистори, діоди, резистивні елементи, діелектричні матеріали, індуктивні елементи та напівпровідники.

Довідникові дані про граничні значення доз іонізуючого випромінювання для системи ЧПК наведені в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Визначення граничної дози іонізуючих випромінювань для елементів системи ЧПК

Елементи і матеріали системи ЧПК	Гранична доза гамма-випромінювання для елементів системи ЧПК, $D_{гр.і}, Р$	Гранична доза гамма-випромінювання для системи ЧПК, $D_{гр}, Р$
Індуктивні матеріали	$10^6$	$10^4$
Інтегральні схеми	$10^4$	
Конденсатори	$10^7 \dots 10^9$	
Резистивні елементи	$10^7 \dots 10^9$	
Діелектричні матеріали	$10^{10}$	
Транзистори, діоди	$10^4$	
Мікросхеми	$10^5$	
Випрямлячі	$10^6$	
Магнітні матеріали	$10^{10}$	
Напівпровідники	$10^5 \dots 10^6$	

За довідниковими даними граничне значення дози гамма-випромінювання для системи ЧПК складає  $D_{гр}=10^4 Р$ .

Граничне значення потужності дози іонізуючого випромінювання можна визначити за формулою

$$P_{сп.мін} = \frac{D_{гр} \cdot K_{нос}}{2(\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})} = \frac{10^4 \cdot 5}{2(\sqrt{87601} - \sqrt{1})} = 167,5 (Р/год),$$

де  $t_n=1$ ,  $t_k=10$  років= $87601 год$  – відповідно, час початку і кінця роботи системи ЧПК, що визначається її експлуатаційним терміном;

$K_{нос} = 5$  – коефіцієнт послаблення радіації.

Отже, можна зробити висновки про те, що область працездатності системи ЧПК в умовах дії іонізуючих випромінювань визначена потужністю експозиційної дози іонізуючих випромінювань в межах від 0 до 167,5 Р/год.

6.5.3 Визначення області працездатності системи ЧПК верстатного обладнання в умовах дії електромагнітних випромінювань

Критерієм, що визначатиме працездатність системи ЧПК в умовах дії електромагнітних випромінювань є коефіцієнт безпеки

$$K_B = 20 \lg \frac{U_D}{U_{B(\Gamma)}},$$

де  $U_D$  – допустиме коливання напруги живлення, В;

$U_{B(\Gamma)}$  – напруга наведена за рахунок електромагнітних випромінювань, відповідно, у вертикальних чи горизонтальних струмопровідних частинах, В.

Оскільки працездатність системи ЧПК в умовах дії електромагнітних випромінювань буде збережено, коли  $K_B \geq 40$  дБ, то розрахунок гранично допустимого значення вертикальної складової напруженості електричного поля здійснюється за умови, що  $K_{B\min} = 40$  дБ.

Допустиме коливання напруги живлення в системі ЧПК дорівнює

$$U_D = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N = 18 + \frac{18}{100} \cdot 5 = 18,9 \text{ (В)},$$

де  $U_{\text{ж}} = 18$  В – робоча напруга живлення;

$N = 5$  – допустимі відхилення напруги, %.

Максимальна довжина струмопровідних частин системи ЧПК в горизонтальній площині становить  $l_{\Gamma} = 0,65$  м.

Максимально допустиме значення наведеної електромагнітним полем напруги в горизонтальних струмопровідних частинах системи ЧПК визначається з рівняння

$$K_{B\Gamma} = 20 \lg \frac{U_D}{U_{\Gamma}},$$

Тоді

$$40 = 20 \lg \frac{U_D}{U_{\Gamma}},$$



$$\frac{U_D}{U_r} = 10^{\frac{40}{20}},$$

$$U_r = \frac{U_D}{10^{\frac{40}{20}}} = \frac{18,9}{100} = 0,189 \text{ (В)}.$$

Таким чином вертикальна складова напруженості електричного поля

$$E_v = \frac{U_r}{l_r} = \frac{0,189}{0,65} = 0,3 \text{ (В/м)}.$$

Отже область працездатності системи ЧПК верстатного обладнання в умовах дії електромагнітного випромінювання визначена вертикальною складовою напруженості електричного поля в межах від 0 до 0,3 В/м.

Висновок. Проведені для системи ЧПК верстатного обладнання розрахунки показали, що в умовах дії іонізуючих та електромагнітних випромінювань область її працездатності визначена потужністю дози іонізуючих випромінювань в межах від 0 до 167,5 Р/год і вертикальною складовою напруженості електричного поля в межах від 0 до 0,3 В/м.

## 6.6 Висновки

В розділі «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» проаналізовано умови праці на дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А», розглянуті організаційно-технічні рішення з гігієни праці, виробничої санітарії, забезпечення безпечної роботи, виконано розрахунок достатності природного освітлення, а також визначено області працездатності системи ЧПК верстатного обладнання в умовах дії іонізуючих та електромагнітних випромінювань.

## ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А».

При виконанні роботи розглянуто та вирішено 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 кулачків У6.02027А», оцінені їх позитивні сторони, внесені пропозиції щодо удосконалення технологічного процесу механічної обробки розглядуваної заготовки деталі.

2. Запропоновано два варіанта виготовлення заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А», а саме штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП) та виготовлення заготовки із прокату. Техніко-економічні розрахунки показали, що економічно доцільніше виготовляти заготовку із прокату, оскільки вартість заготовки при цьому складає 66,63 грн., що менше у порівнянні з штампуванням на КГШП – 67,1 грн.

3. Розроблено два варіанта удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» з використанням високопродуктивних верстатів з ЧПК. Проведено їх техніко-економічне порівняння, вибрано за мінімумом приведених витрат кращий варіант. Проведені розрахунки припусків, режимів різання, норм часу на операції.

4. Для удосконаленого маршруту механічної обробки спроектовано дільницю механічної обробки; розраховано приведену програму для роботи дільниці в середньосерійному виробництві, яка складає 51068 шт.; дільниця механічної обробки повинна містити 6 верстатів, кількість основних робітників, що її обслуговують – 8 чол., всього працівників на дільниці – 13 чол.

5. В науковій частині роботи проведено дослідження та порівняльний аналіз показників точності (сумарної похибки) при остаточній обробці розточуванням головного отвору деталі «Корпус кулачків У6.02027А» на верстаті з ручним

керуванням та з числовим програмним керуванням, що дозволило зробити відповідні висновки.

6. Проведені економічні розрахунки, які підтвердили доцільність впровадження удосконаленої технології та дільниці механічної обробки заготовки деталі «Корпус кулачків У6.02027А», визначені капітальні вкладення – 1480747,1 грн., одержаний прибуток – 912095,92 грн., термін окупності вкладень – 1,62 року.

7. В МКР розроблені заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях на дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в машинобудуванні : навчальний посібник / В. В. Кавецький, В. О. Козловський. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 100 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. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения : учебное пособие / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – М. : ООО ИД «Альянс», 2007. – 256 с.
5. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Гаряче об'ємне штампування : навчальний посібник / Ж. П. Дусанюк, І. О. Сивак, С. В. Дусанюк, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 106 с.
6. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и размерные напуски: ГОСТ 7505-89.– [чинний від 1990-07-06]. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 86с.
7. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2. Практикум : навчальний посібник / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 116 с.
8. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. Т. 3 – 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. – М. : Машиностроение, 2001. – 864 с.
9. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник. / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.

10. Допуски и посадки : справочник : в 2-х ч. / [сост. Мягков В.Д., Палей М.А., Романов А.Б, Брагинский В.А.]; под ред. В.Д. Мягкова. – Л. : Машиностроение, 1983. – Ч.1. – 1983. – 543 с.

11. Порівняльний аналіз точності обробки отвору остаточним розточуванням на токарному верстаті з ручним та числовим програмним керуванням / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, Р. Ю. Басистюк, К. Ю. Казарян // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. – Електрон. текст. дані. – 2019. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/view/7410>.

12. 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.

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. Маталин А. А. Технология машиностроения. Учебник для машиностроительных специальностей вузов / А. А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

16. 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.

17. Солонин И. С. математическая статистика в технологии машиностроения / И. С. Солонин. – М. : Машиностроение, 1972. – 216 с.



18. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : практикум / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 106 с.

19. Збірник задач і вправ з технології машинобудування : навчальний посібник / В. І. Аверченков, О. О. Горленко, В. Б. Ільцький [та ін.] – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 314 с.

20. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник / О. В. Дерібо. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 125 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 розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» в дипломних проектах і роботах студентів технічних спеціальностей / Уклад. І. В. Віштак. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 45 с.

23. Охорона праці : навчальний посібник / За ред. В. Кучерявого. – Львів : Оріяна-Нова, 2007. – 368 с.

## ДОДАТКИ

Додаток А

ВНТУ

ПОГОДЖЕНО

\_\_\_\_\_

Керівник або заступник

\_\_\_\_\_

Назва підприємства або установи

\_\_\_\_\_

Підпис

Ініціали та прізвище

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ р.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ ТАМ

Назва кафедри (скорочено)

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Л. Г. Козлов

Підпис

Науковий ступінь, наукове звання

ініціали та прізвище

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ  
на магістерську кваліфікаційну роботу

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ  
ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КУЛАЧКІВ У6.02027А»

08-26.МКР.001.00.000 ТЗ

Керівник роботи: к.т.н., доц. каф. ТАМ

Дусанюк Ж. П. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ р.

Виконавець: ст. гр. 1ПМ-18м  
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

Басистюк Р. Ю. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ р.

## **1 Підстави для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)**

а) актуальність розробки обумовлена тим, що в сучасних умовах розвитку машинобудівної галузі необхідно приймати прогресивні інженерні рішення при проектуванні технологічних процесів механічної обробки деталей виробів з метою забезпечення їх точності, надійності, довговічності, економічності;

б) наказ про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

## **2 Мета і призначення МКР**

а) мета – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» на основі прийняття прогресивних рішень при проектуванні технологічного процесу механічної обробки з використанням сучасного автоматизованого, високопродуктивного обладнання, що забезпечує необхідну точність, якість продукції при зменшенні її собівартості;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

**3 Джерела розробки:** завдання на МКР, дане технічне завдання, довідникова та технічна література, існуючий аналог.

## **4 Вхідні дані для виконання МКР**

При виконанні МКР в якості вхідних даних було задано:

- деталь типу «Корпус кулачків У6.02027А»;
- річна програма випуску розрахункового представника – 4500 шт.;
- приведена програма – 51068 шт.;
- матеріал деталі – сталь 45 ГОСТ 1050-88;
- серійність виробництва – середньосерійне;
- необхідність розгляду альтернативних варіантів виготовлення заготовки деталі та вибору найбільш оптимальної;
- необхідність проектування альтернативних варіантів технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Корпус кулачків У6.02027А» на базі автоматизованого обладнання з вибором оптимального варіанту.

## **5 Вимоги до виконання МКР**

МКР повинна бути виконана в задані терміни згідно завдання, затвердженого кафедрою ТАМ та замовником (якщо тема виконана за завданням підприємства).

При виконанні МКР забезпечити прийняття прогресивних інженерних рішень, що забезпечать досягнення поставленої мети.

Магістерська кваліфікаційна робота повинна складатися з 2-х частин:

1-а частина – розрахунково-пояснювальна записка;

2-а частина – графічна.

Склад кожного розділу (частини) наведений у рекомендованому змісті та основних вимогах до оформлення МКР, розроблених та затверджених кафедрою технологій та автоматизації машинобудування (ТАМ) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ).

### **6 Етапи та стадії розробки**

Магістерська кваліфікаційна робота складається з 4 основних частин:

- спеціальна;
- економічна частина;
- охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях;
- графічна.

На кожну частину, завдання видає викладач відповідної кафедри, контролює процес роботи та візує виконану роботу підписом у бланку завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Основні теоретичні та практичні дослідження проведені попередниками	02.09.19 р.	22.10.19 р.	Формування задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
2	Огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус»	02.09.19 р.	22.10.19 р.	Об'єкт дослідження, розділ 1
3	Спеціальна частина Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А». Порівняльний аналіз точності обробки отвору розточуванням на токарному верстаті з ручним та числовим програмним керуванням. Розрахунок елементів дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А».	04.10.19 р.	28.11.19 р.	розділ 2, 3, 4 публікація результатів
4	Підготовка економічної частини	04.10.19 р.	02.12.19 р.	розділ 5, апробація
5	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях	04.10.19 р.	02.12.19 р.	розділ 6
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації	04.10.19 р.	02.12.19 р.	пояснювальна записка

Загальне керівництво магістерською кваліфікаційною роботою здійснює викладач випускної кафедри, він же керує виконанням спеціальної частини.

**7 Економічні показники:** термін окупності; мінімальна ціна; річна потреба в продукції; економічна перевага в порівнянні з іншими.

### **8 Матеріали, що подаються до захисту МКР**

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, рецензія.



### **9 Порядок контролю виконання та захисту МКР**

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, яка затверджена наказом ректора.

### **10 Вимоги до оформлення МКР**

Вимоги викладені в «Положенні про порядок підготовки магістрів у Вінницькому національному технічному університеті» з урахуванням змін, що подані у бюлетені ВАК України № 9-10, 2011 р.

### **11 Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом**

Відсутні.

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту

ЗАТВЕРЖДУЮ  
керівник МКР: к.т.н., доцент каф. ТАМ

\_\_\_\_\_ Дусанюк Ж. П.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ р.

**Технічне завдання**

на удосконалення технологічного процесу та дільниці механічної обробки

**Найменування та область застосування**

Удосконалений технологічний процес та дільниця механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» призначена для механічної обробки поверхонь деталі згідно з кресленням, а також забезпечувати вимоги до точності деталі, що вказані в розділі «Технічні вимоги».

Дільниця механічної обробки повинна відповідати умовам безпечної роботи, передбаченими ГОСТ 12.2.029-77. Обладнання дільниці передбачається експлуатувати в приміщенні механоскладального цеху.

**Підстава для проектування**

Проектування дільниці механічної обробки деталі і удосконалення існуючого ТП механічної обробки на підставі технічного завдання до МКР, складеного керівником і затвердженого кафедрою ТАМ.

**Мета і призначення розробки**

Метою МКР є удосконалення існуючого базового ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А» і проектування дільниці механічної обробки на базі сучасних технологій, обладнання і на основі наукової організації праці.

**Джерела розробки**

- Дійсне технічне завдання.
- Креслення деталі і заготовки.
- Базова маршрутна технологія механічної обробки деталі «Корпус кулачків У6.02027А».
- Єдина система конструкторської та технічної документації.
- Загальні правила по розробці технологічних процесів вибір засобів технологічної оснастки згідно ГОСТ 14.301-83.

Технічні показники

Вхідні дані для проектування дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус кулачків У6.02027А»:

- річний об'єм випуску деталей –  $N_p = 4500$  шт.;
- маса деталі –  $m_d = 1,76$  кг;
- матеріал заготовки – сталь 45 ГОСТ 1050-88.

Технічні вимоги на деталь вказані в робочому кресленні, що додається до дійсного технічного завдання.

Виробнича дільниця служить для розміщення на ній верстатів, транспортних ліній, завантажувальних пристроїв, пристосувань та іншого допоміжного обладнання.

Верстати в лінії повинні бути розташовані у відповідності з технологічним процесом механічної обробки.

Дільниця повинна бути спроектована відповідно до вимог безпеки праці і пожежної безпеки.

Вимоги до забезпеченості використання дільниці механічної обробки, спроектованої на основі розробленого технологічного процесу

Спроектована дільниця механічної обробки повинна передбачати безпечність праці. Верстати, та пристосування на дільниці мають бути розташовані таким чином, щоб вони не заважали роботі працівників, тобто рухомі елементи верстатів (затискні ручки, захисні щити, які відокремлюють працівника від небезпечних зон верстатів) не повинні перекривати зону руху працівників. Проходи між верстатами повинні бути спроектовані з врахуванням того, що там можуть бути тимчасові склади для заготовок та напівфабрикатів, та візків, які транспортують заготовки в процесі обробки деталей, але це не повинно заважати рухатись робітнику.

Умови експлуатації, вимоги до технічного обслуговування і ремонту

Дільниця механічної обробки має цехову ремонтну базу і технічне обслуговування та ремонт здійснювати згідно правил ППР. Кінцеву підналадку і регулювання виконувати після обробки пробних заготовок.

Економічні показники.

До економічних показників входять:

- термін окупності;
- собівартість одиниці продукції;
- величина капітальних вкладень;
- економічна перевага в порівнянні з іншими.

Стадії та етапи розробки.

Зміст розділів МКР і терміни їх виконання згідно дійсного ТЗ і положення кафедри по оцінці рівня і ритмічності виконання роботи.

Розробив

Басистюк Р. Ю.

## Додаток Б

Графічна частина





*3D-модель деталі "Корпус кулачків У6.02027А"*



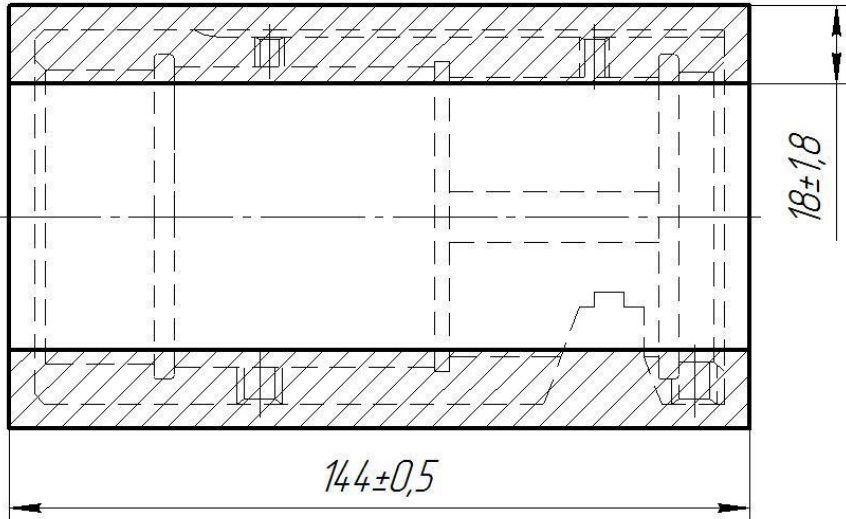
08-26.МКР.001.00.002

$\sqrt{Rz\ 320}$

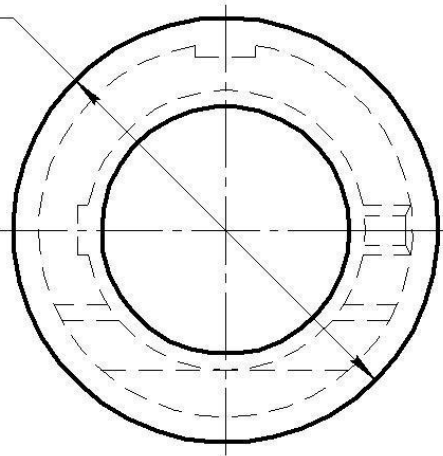
Перв. примен.

Справ. №

A



$\phi 83 \pm 1,5$



1. Питома кривизна 0,6 мкм/мм.

Подп. и дата

Инд. № дробл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата
Разраб.		Басистяк		
Пров.		Дусанюк		
Т.контр.				
Н.контр.		Сердюк		
Утв.		Козлов		

08-26.МКР.001.00.002

Корпус кулачкив  
У6.02027А  
(заготовка)

Лист	Масса	Масштаб
	4,139	1:1
Лист	Листов	1

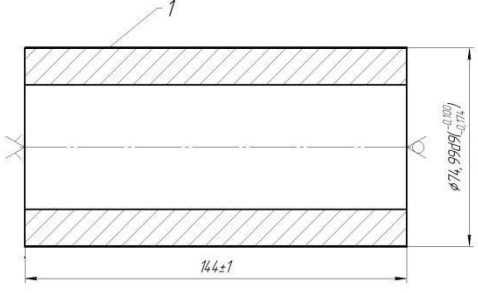
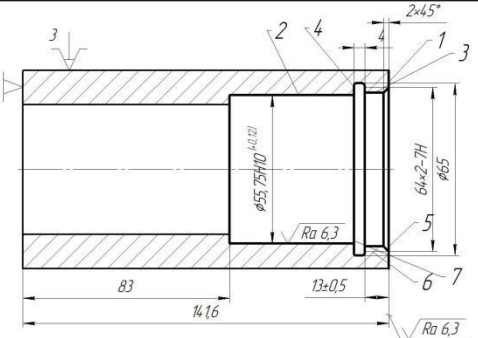
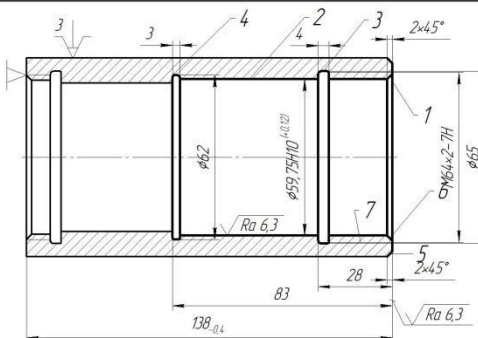
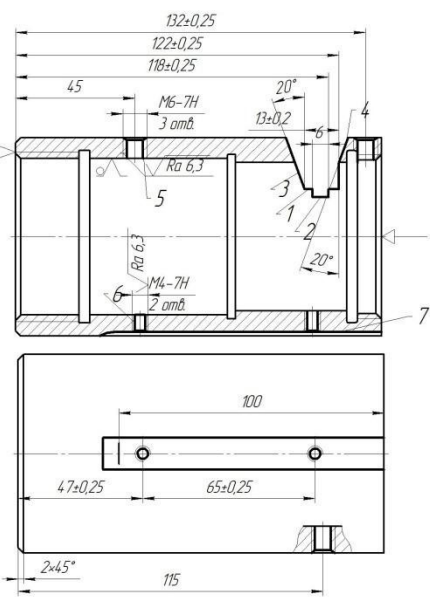
Труба 83\*18ГОСТ8734-75  
АСт.45ГОСТ8731-74

ВНТУ,  
ст. гр. 1ПМ-18М

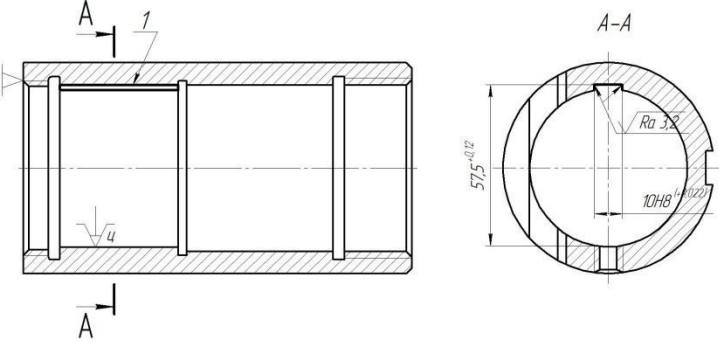
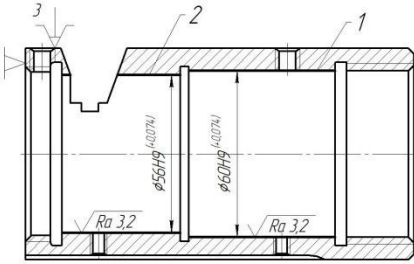
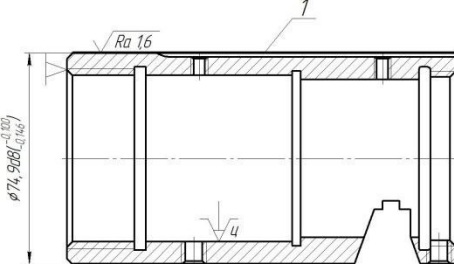
Копировал

Формат А4

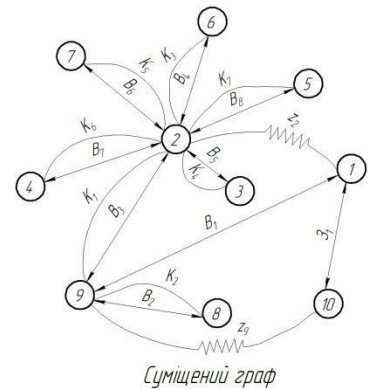
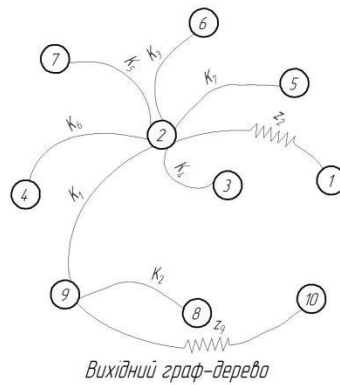
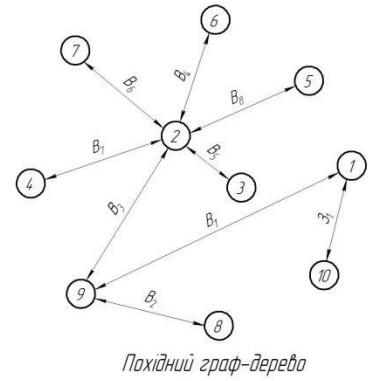
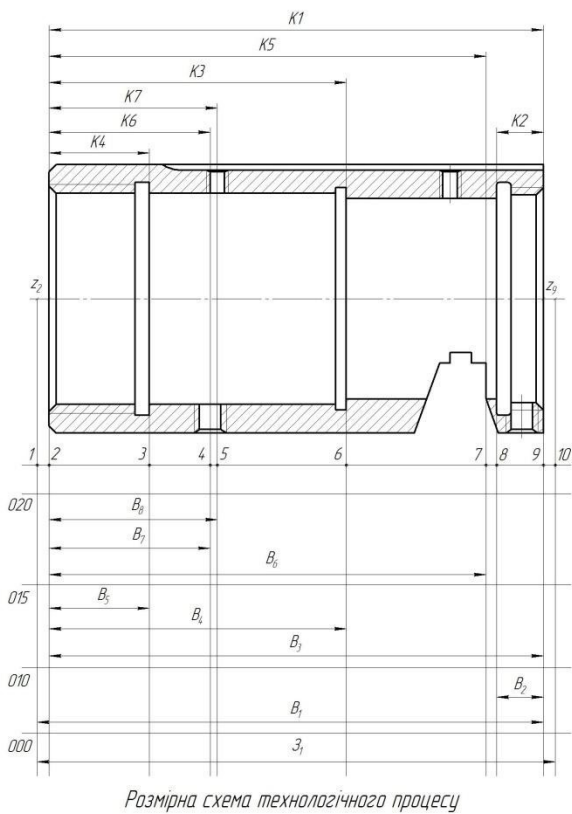
## Маршрут механічної обробки

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Операційний ескіз	Тип і модель обладнання
005	<p><u>Токарна з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Точити поверхню 1 в розмір <math>\varnothing 76,2_{-0,06}^{+0,01}</math>.</li> <li>3. Точити поверхню 1 в розмір <math>\varnothing 75,4_{-0,02}^{+0,01}</math>.</li> <li>4. Точити поверхню 1 згідно ескіза.</li> </ol>	 <p style="text-align: right;"><math>\sqrt{Ra\ 3,2}</math></p>	Токарний з ЧПК 16K20T1
010	<p><u>Токарно-револьверна з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Точити торець 1 згідно ескіза.</li> <li>3. Розточити пів. 3 попередньо 1 отв. 2 в розмір <math>\varnothing 54,13_{+0,14}^{+0,04}</math>.</li> <li>4. Розточити фаску 5 однакратно і отв. 3 попередньо і 2 згідно ескіза.</li> <li>5. Розточити канавку 4 згідно ескіза.</li> <li>6. Нарізати різь 6 згідно ескіза.</li> </ol>	 <p style="text-align: right;"><math>\sqrt{Ra\ 12,5\ (\sqrt{I})}</math></p> <p style="text-align: center;">Невказані граничні відхилення розмірів: h14, H14, інших ±IT14/2.</p>	Токарно-револьверний з ЧПК 114.201Ф30
015	<p><u>Токарно-револьверна з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Точити торець 1 однакратно.</li> <li>3. Точити фаску 5 однакратно.</li> <li>4. Розточити поверхню 2 в розмір <math>\varnothing 58,13_{-0,14}^{+0,04}</math>.</li> <li>5. Розточити фаску 6 однакратно, поверхню 2 згідно ескіза.</li> <li>6. Розточити канавку 3 і 4 згідно ескіза.</li> <li>7. Нарізати різь 7 згідно ескіза.</li> </ol>	 <p style="text-align: right;"><math>\sqrt{Ra\ 12,5\ (\sqrt{I})}</math></p> <p style="text-align: center;">Невказані граничні відхилення розмірів: h14, H14, інших ±IT14/2.</p>	Токарно-револьверний з ЧПК 114.201Ф30
020	<p><u>Вертикально-фрезерна з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати поверхню 1 згідно ескіза.</li> <li>3. Фрезерувати поверхню 2 згідно ескіза.</li> <li>4. Фрезерувати поверхню 3 згідно ескіза.</li> <li>5. Фрезерувати поверхню 4 згідно ескіза.</li> <li>6. Фрезерувати поверхню 7 згідно ескіза.</li> <li>7. Центрувати 3 отв. 5, 2 отв. 6.</li> <li>8. Сверлити 3 отв. 5 згідно ескіза.</li> <li>9. Нарізати різь в 3 отв. 5 згідно ескіза.</li> <li>10. Сверлити 2 отв. 6 згідно ескіза.</li> <li>11. Нарізати різь в 2 отв. 6 згідно ескіза.</li> </ol>	 <p style="text-align: right;"><math>\sqrt{Ra\ 12,5\ (\sqrt{I})}</math></p> <p style="text-align: center;">Невказані граничні відхилення розмірів: h14, H14, інших ±IT14/2.</p>	Вертикально-фрезерний з ЧПК 11260МФ3

## Маршрут механічної обробки (продовження)

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Операційний ескіз	Тип і модель обладнання
025	<p><u>Горизонтально-протягувальна</u></p> <p>1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Повернути деталь на 90°. 3. Протягнути паз 1 згідно ескіза.</p>		Горизонтально-протягувальний 7655У
030	<p><u>Токарна з ЧПК</u></p> <p>1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Розточити поверхню 1 згідно ескіза. 3. Розточити поверхню 2 згідно ескіза.</p>		Токарний з ЧПК 160НТ
035	<p><u>Токарна з ЧПК</u></p> <p>1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити поверхню 1 згідно ескіза.</p>		Токарний з ЧПК МК6801Ф3

# Розмірний аналіз технологічного процесу



Таблиця 1 – розрахункові розміри

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номінальний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
	Мінімальний розмір	Максимальний розмір				
B <sub>1</sub>	140	141,6	1,6	140	177 <sub>-1,6</sub>	-
B <sub>2</sub>	12,5	13,5	1	13	13 ± 0,5	-
B <sub>3</sub>	137,6	138	0,4	138	138 <sub>-0,4</sub>	-
B <sub>4</sub>	79,63	80,37	0,74	80	80 ± 0,37	-
B <sub>5</sub>	27,63	28,37	0,74	28	28 ± 0,37	-
B <sub>6</sub>	121,75	122,25	0,5	122	122 ± 0,25	-
B <sub>7</sub>	44,63	45,37	0,74	45	45 ± 0,37	-
B <sub>8</sub>	46,75	47,25	0,5	47	47 ± 0,25	-
Z <sub>1</sub>	143,6	144,6	1	144	-	144 ± 0,5

Таблиця 2 – Рівняння технологічних ланцюгів

№ рівн.	Розрахункове	Вихідне рівняння	Розмір, що визначається
1	$-K_5 + B_6 = 0$	$K_5 = B_6$	B <sub>6</sub>
2	$-K_3 + B_4 = 0$	$K_3 = B_4$	B <sub>4</sub>
3	$K_7 - B_8 = 0$	$K_7 = B_8$	B <sub>8</sub>
4	$-K_6 + B_7 = 0$	$K_6 = B_7$	B <sub>7</sub>
5	$-K_1 + B_2 = 0$	$K_1 = B_2$	B <sub>2</sub>
6	$-K_4 + B_5 = 0$	$K_4 = B_5$	B <sub>5</sub>
7	$-K_2 + B_3 = 0$	$K_2 = B_3$	B <sub>3</sub>
8	$-z_2 + B_1 - B_2 = 0$	$B_1 = B_2 + z_2$	B <sub>1</sub>
9	$-Z_3 - B_1 + Z_1 = 0$	$Z_1 = z_3 + B_1$	Z <sub>1</sub>

Таблиця 3 – Граничні припуски

Позначення припуску	Спосіб обробки, під час виконання якої знімається припуск	Кількісне значення мінімального припуску, мм
		Z <sub>min</sub> /Z <sub>max</sub>
Z <sub>2</sub>	Одноразове точіння	2/4
Z <sub>3</sub>	Одноразове точіння	2/4,6





## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ОТВОРУ РОЗТОЧУВАННЯМ НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ З РУЧНИМ ТА ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

**Мета роботи** – дослідження точності (сумарної похибки) остаточної обробки розточуванням отвору на токарному верстаті з ручним керуванням (РК) та з числовим програмним керуванням (ЧПК), їх порівняльний аналіз.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися **завдання**:

- розробка технологічного процесу механічної обробки розглядуваної деталі;
- встановлення величин складових сумарної похибки при остаточному розточуванні отвору на верстаті з РК та з ЧПК;
- дослідження величини сумарної похибки;
- порівняльний аналіз величини сумарної похибки при остаточній обробці отвору на верстаті з РК та з ЧПК;
- висновки по результатах проведених досліджень.

Дослідження виконувалося для деталі «Корпус кулачків У6.02027А». Початкові дані: матеріал сталь 45, маса деталі 1,76 кг, тип виробництва серійний, розмір партії деталей 215 шт., остаточна обробка розточуванням отвору  $\varnothing 60\text{H9}^{(+0,074)}$  на токарному верстаті з РК – 16К20, з ЧПК – 160НТ.

Для діаметрального розміру  $\varnothing 60\text{H9}^{(+0,074)}$  мм сумарну похибку при розточуванні на верстатах з РК можна визначити за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_{\text{пр}})^2 + (K_2 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_3 \varepsilon_i)^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_5 \varepsilon_{\text{т}})^2} \quad [\text{мкм}]; \quad (1)$$

на верстатах з ЧПК:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_{\text{пр}})^2 + (K_2 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{пе}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{прт}})^2 + (K_5 \varepsilon_{\text{к}})^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_7 \varepsilon_{\text{т}})^2} \quad [\text{мкм}]. \quad (2)$$

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ОТВОРУ РОЗТОЧУВАННЯМ НА ТОКАРНОМУ  
ВЕРСТАТІ З РУЧНИМ ТА ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ (продовження)**

Таблиця 1 – Складові та сумарна похибка обробки на верстаці з РК 16К20

Оброблюваний розмір, мм	Розмір партії деталей, шт.	$\varepsilon_{\text{пд}}$ , МКМ	$\varepsilon_{\text{н}}$ , МКМ	$\varepsilon_{\text{і}}$ , МКМ	$\varepsilon_{\text{в}}$ , МКМ	$\varepsilon_{\text{т}}$ , МКМ	$\varepsilon_{\Sigma}$ , МКМ	$T_{\delta}$ , МКМ	Наявність браку
$\varnothing 60\text{H}9^{(+0,074)}$	215	0,745	30	63	2,1	14,4	232	74	$\varepsilon_{\Sigma} > T_{\delta}$ , наявний брак
$\varnothing 60\text{H}9^{(+0,074)}$	31	0,745	30	9,11	2,1	6,31	72	74	$\varepsilon_{\Sigma} < T_{\delta}$ , брак відсутній

Таблиця 2 – Складові та сумарна похибка обробки на верстаці з ЧПК 160НТ

Оброблюваний розмір, мм	Розмір партії деталей, шт.	$\varepsilon_{\text{пд}}$ , МКМ	$\varepsilon_{\text{н}}$ , МКМ	$\varepsilon_{\text{пс}}$ , МКМ	$\varepsilon_{\text{прг}}$ , МКМ	$\varepsilon_{\text{к}}$ , МКМ	$\varepsilon_{\text{в}}$ , МКМ	$\varepsilon_{\text{т}}$ , МКМ	$\varepsilon_{\Sigma}$ , МКМ	$T_{\delta}$ , МКМ	Наявність браку
$\varnothing 60\text{H}9^{(+0,074)}$	215	0,46	12	10	7	10	0,83	6,04	44,8	74	$\varepsilon_{\Sigma} < T_{\delta}$ , брак відсутній

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ОТВОРУ РОЗТОЧУВАННЯМ НА ТОКАРНОМУ  
ВЕРСТАТІ З РУЧНИМ ТА ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ (продовження)**

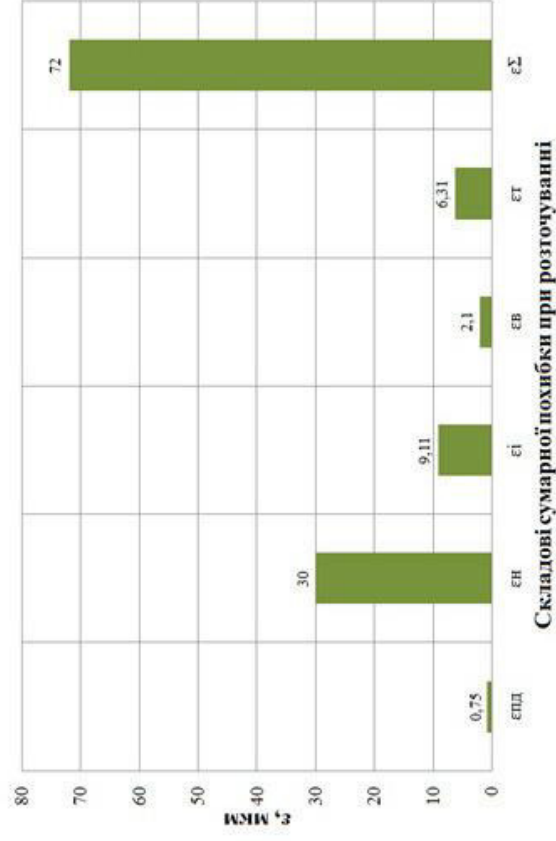


Рисунок 1 – Складові сумарної похибки при остаточному розточуванні отвору  $\varnothing 60H9^{(+0,074)}$  на верстаті 16К20 (розмір оброблюваної партії деталей 31 шт.)

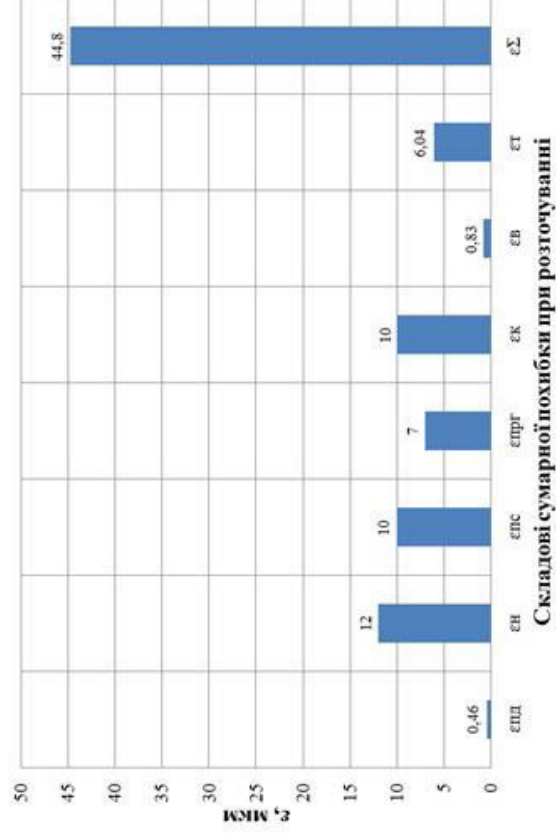


Рисунок 2 – Складові сумарної похибки при остаточному розточуванні отвору  $\varnothing 60H9^{(+0,074)}$  на верстаті 160НТ



## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ОТВОРУ РОЗТОЧУВАННЯМ НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ З РУЧНИМ ТА ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ (продовження)

### Висновки

1. При остаточному розточуванні отвору на верстаті з РК (16К20) найбільші значення мають складові сумарної похибки – це похибка настроєння верстата  $\varepsilon_n$  та похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструменту  $\varepsilon_i$  (особливо  $\varepsilon_i$ ). Тому якщо обробляти всю партію деталей без знімання різця для переточування, то точність обробки не буде забезпечена, так як сумарна похибка  $\varepsilon_{\Sigma}$  значно більша допуску розміру деталі  $T_{\delta}$ , тобто не забезпечується робота без браку ( $\varepsilon_{\Sigma} = 232 \text{ мкм} > T_{\delta} = 74 \text{ мкм}$ ). Необхідно значно зменшити партію деталей, яка обробляється без переточування різця. Для деталі «Корпус кулачків У6.02027А» вона повинна складати не 215 шт., а лише 31 шт. Тоді  $\varepsilon_{\Sigma} = 72 \text{ мкм} < T_{\delta} = 74 \text{ мкм}$ .
2. При використанні верстата з ЧПК (160НТ) всі складові сумарної похибки є порівняно невеликими по значеннях і тому сумарна похибка при остаточному розточуванні отвору  $\varepsilon_{\Sigma}$  менша допуску розміру деталі  $T_{\delta}$ , гарантовано забезпечується точність обробки без браку для всієї заданої партії деталей без переточування інструмента.
3. Похибка настроєння верстата з ЧПК є значно меншою ніж верстата з РК за рахунок зменшення похибки регулювання положення різця.
4. При остаточному розточуванні отвору на верстаті з ЧПК на величину сумарної похибки обробки не впливає похибка із-за розмірного зношування інструменту, так як в програму введена періодична корекція положення інструмента.
5. При необхідності забезпечення заданої точності остаточного розточування отвору рекомендується використовувати верстат з ЧПК або верстат з РК підвищеної точності.
6. Результати виконаного аналізу можуть бути використані під час проектування нових технологічних процесів механічної обробки у машинобудівному виробництві, а також у навчальному процесі.





## *Техніко-економічні показники*

<i>Техніко-економічні показники</i>	<i>Базовий маршрут</i>	<i>Удосконалений маршрут</i>
<i>Маса деталі, кг</i>	<i>1,76</i>	<i>1,76</i>
<i>Річна програма випуску, шт.</i>	<i>4500</i>	<i>4500</i>
<i>Маса заготовки, кг</i>	<i>4,139</i>	<i>4,139</i>
<i>Коефіцієнт точності маси заготовки</i>	<i>0,557</i>	<i>0,557</i>
<i>Собівартість заготовки, грн.</i>	<i>66,63</i>	<i>66,63</i>
<i>Кількість верстатів, шт.</i>	<i>15</i>	<i>6</i>
<i>Середній коефіцієнт завантаження обладнання, <math>\eta_{зсер}</math></i>	<i>34%</i>	<i>42%</i>
<i>Середній коефіцієнт використання за основним часом, <math>\eta_{зосер}</math></i>	<i>49%</i>	<i>75%</i>
<i>Кількість основних робітників</i>	<i>30</i>	<i>8</i>
<i>Середній розряд робітників</i>	<i>5</i>	<i>3,4</i>
<i>Виробнича площа, м<sup>2</sup></i>	<i>300</i>	<i>180</i>
<i>Собівартість одиниці продукції, грн.</i>	<i>149,32</i>	<i>106,83</i>
<i>Капітальні вкладання, грн.</i>	<i>-</i>	<i>1480747,1</i>
<i>Економічний ефект, грн.</i>	<i>-</i>	<i>912095,92</i>
<i>Термін окупності, років</i>	<i>-</i>	<i>1,62</i>