

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

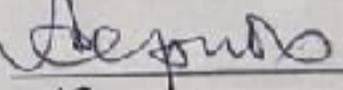
«Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки  
деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В»»

08-64.МКР.019.00.000 ПЗ

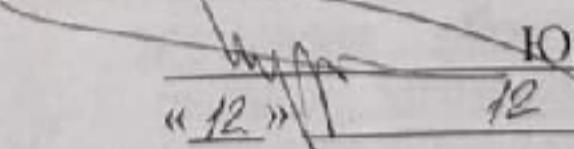
Виконав: студент 2-го курсу, гр. 2ПМ-24м  
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

 Денис АДАМЛЮК

Керівник: к.т.н., професор каф. ТАМ

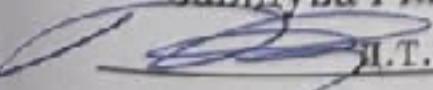
 Олександр ДЕРІБО  
«12» 12 2025 р.

Опонент: к.т.н., професор каф. АТМ

 Юрій БУРШНІКОВ  
«12» 12 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ТАМ

 д.т.н., проф. Леонід КОЗЛОВ

«12» 12 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

завідувач кафедри ТАМ  
д.т.н., професор Леонід КОЗЛОВ

«07» 10 2025 р.

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

Адамлюку Денису Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В»

керівник роботи Дерібо Олександр Володимирович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом ВНТУ від «24» 09 2025 року № 313.

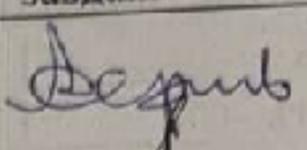
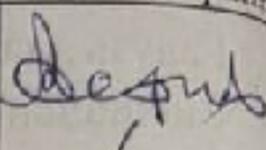
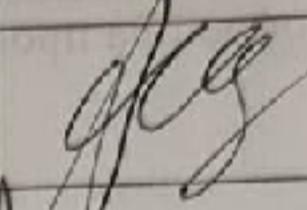
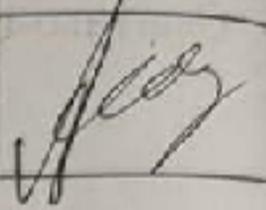
2. Строк подання студентом роботи: 17 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі «Головка циліндра задня Ц40.055-001В»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 100 000 шт.; довідкова література

4. Зміст текстової частини: анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В»; аналіз факторів впливу на точність діаметрального розміру головного отвору в сталевій заготовці, який обробляється остаточно тонким розточуванням на багатоцільовому верстаті з ЧПК; розрахунок елементів дільниці механічної обробки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В»; економічне обґрунтування удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В»; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): деталь «Головка циліндра задня Ц40.055-001В» (А3); головка циліндра задня (випуск) (А3); маршрут механічної обробки (А1); розмірний аналіз технологічного процесу (А1); карта налагоджень (операція 005) (А1); аналіз показників точності обробки головного отвору при тонкому розточуванні (4А1); план дільниці механічного цеху (А1); техніко-економічні показники (А1)

6. Консультанти розділів роботи

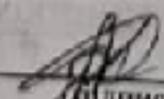
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Олександр ДЕРІБО, професор кафедри ТАМ		
Економічна частина	Олександр ЛЕСЬКО, завідувач кафедри ЕПВМ		

7. Дата видачі завдання « 7 » 10 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

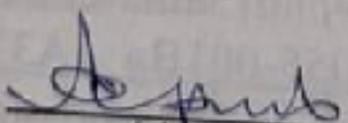
№ з/п	Назва етапів МКР	Срок виконання етапів МКР	Примітка
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	до 25.10.2025р.	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	до 25.10.2025р.	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	до 30.10.2025р.	
4	Розв'язання поставлених задач	до 20.11.2025р.	
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	до 22.11.2025р.	
6	Виконання розділу «Економічна частина»	до 25.11.2025р.	
7	Попередній захист МКР	до 02.12.2025р.	
8	Перевірка роботи на плагіат	до 04.12.2025р.	
9	Нормоконтроль МКР	до 13.12.2025р.	
10	Опонування МКР	до 13.12.2025р.	
11	Захист МКР	до 25.12.2025р.	

Студент

  
(підпис)

Денис АДАМЛЮК

Керівник роботи

  
(підпис)

Олександр ДЕРІБО

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.9

Адамлюк Д. С. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – Прикладна механіка, освітня програма – Технології машинобудування. Вінниця : ВНТУ, 2025. 133 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 23 назв; рис.: 23; табл. 38.

У магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В». У загальній частині роботи проведено огляд технологій виготовлення деталі типу «Корпус», обґрунтована доцільність удосконалення існуючого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В».

В технологічній частині виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В» з використанням верстатів з ЧПК та вибрано кращий з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки; визначено режими різання та технічні норми часу; проаналізовано фактори впливу на точність діаметрального розміру головного отвору в сталевій заготовці, який обробляється остаточно тонким розточуванням на багатоцільовому верстаті з ЧПК; розраховано приведену програму, кількість обладнання та працівників для удосконаленої ділянки механічної обробки.

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

Ключові слова: технологічний процес, механічна обробка, заготовка, деталь, розмірно-точнісний аналіз, ділянка механічної обробки.

## ABSTRACT

Adamliuk D. S. Ye. Improvement of the technological process of mechanical processing of the workpiece of the «Rear cylinder head Ts40.055-001V» type part. Master's qualification work in specialty 131 – applied mechanics, educational program – mechanical engineering technology. Vinnytsia : VNTU, 2025. 133 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 23 titles; fig.: 23; tabl. 38.

In the master's qualification work, the technological process of machining a workpiece of the type «Rear cylinder head Ts40.055-001V» was improved. In the general part of the work, a review of the manufacturing technologies of the «Housing» type part was conducted, the feasibility of improving the existing technological process of machining a workpiece of the type «Rear cylinder head Ts40.055-001V» was substantiated.

In the technological part, a variant selection and a feasibility study of the method of manufacturing the workpiece were performed; variants of the route for machining a workpiece of the type «Rear cylinder head Ts40.055-001V» were developed using CNC machines and the best one was selected based on the minimum reduced costs; dimensional and precision modeling of the improved technological process of machining was performed; cutting modes and technical time standards were determined; analyzed the factors influencing the accuracy of the diametrical size of the main hole in a steel workpiece, which is processed by final fine boring on a multi-purpose CNC machine; calculated the resulting program, the number of equipment and workers for the improved machining section.

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

Keywords: technological process, machining, workpiece, part, dimensional accuracy analysis, machining section.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»</b> .....	11
1.1 Характеристика об'єкту виробництва, його службове призначення та технічних умов на виготовлення.....	11
1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Корпус».....	12
<b>2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ГОЛОВКА ЦИЛІНДРА ЗАДНЯ Ц40.055-001В»</b> .....	17
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі.....	17
2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт.....	20
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки.....	25
2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь.....	37
2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чистових і чорнових технологічних баз.....	39
2.6 Розробка удосконаленого маршруту механічної обробки.....	42
2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат.....	44
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу.....	45
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів.....	53
2.10 Призначення режимів різання.....	57
2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання.....	66
2.12 Визначення технічних норм часу.....	68

<b>3 АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ТОЧНІСТЬ ДІАМЕТРАЛЬНОГО РОЗМІРУ ГОЛОВНОГО ОТВОРУ В СТАЛЕВІЙ ЗАГОТОВЦІ, ЯКИЙ ОБРОБЛЯЄТЬСЯ ОСТАТОЧНО ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ НА БАГАТОЦІЛЬОВОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПК.....</b>	<b>74</b>
3.1 Постановка задачі дослідження.....	74
3.2 Результати дослідження.....	74
3.3 Висновки.....	82
<b>4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ГОЛОВКА ЦИЛІНДРА ЗАДНЯ Ц40.055-001В».....</b>	<b>84</b>
4.1 Розрахунок приведеної програми.....	84
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження.....	87
4.3 Побудова графіків завантаження обладнання.....	89
4.4 Розрахунок кількості працівників на ділянці.....	90
<b>5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ГОЛОВКА ЦИЛІНДРА ЗАДНЯ Ц40.055-001В».....</b>	<b>94</b>
5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки.....	94
5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В».....	101
5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції.....	107
5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу.....	111
5.5 Розрахунок величини чистого прибутку.....	112
5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення.....	112
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>116</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>118</b>
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної роботи.....	121
Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина.....	122

## ВСТУП

**Актуальність.** Машинобудування є однією з ключових галузей промисловості, а рівень його розвитку значною мірою визначається якістю машин, приладів і обладнання, що виготовляється. Підвищення точності, надійності та скорочення термінів розробки й освоєння нових виробів безпосередньо залежать від удосконалення технологічних процесів.

Зростання ефективності машинобудівного виробництва досягається шляхом постійного покращення та інтенсифікації технологій обробки, що включає збільшення швидкостей різання, оптимізацію режимів роботи та скорочення часу допоміжних операцій.

Особливо важливим це є для підприємств із широкою номенклатурою деталей, де виконання сучасних вимог щодо продуктивності та гнучкості виробництва неможливе без застосування металообробного обладнання, оснащеного системами числового програмного керування (ЧПК).

**Мета і завдання дослідження.** Метою магістерської кваліфікаційної роботи є удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В».

При цьому повинні бути вирішені такі **завдання**:

- огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус»;
- варіантний вибір способу виготовлення заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В»;
- проектування удосконаленого маршруту механічної обробки з використанням верстатів з ЧПК;
- розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу механічної обробки;
- визначення режимів різання та норм часу;
- розрахунок кількості обладнання та працівників;
- проектування ділянки механічної обробки деталі «Головка циліндра задня Ц40.055-001В»;

- розрахунок кількості обладнання та працівників;
- проектування ділянки механічної обробки деталі «Головка циліндра задня Ц40.055-001В»;
- розрахунок економічної доцільності впровадження удосконаленого технологічного процесу механічної обробки деталі «Головка циліндра задня Ц40.055-001В».

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

**Предмет дослідження** – технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В».

**Методи дослідження.** Метод теорії розмірних ланцюгів, який дозволив виконати розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу; метод лінійного програмування (симплекс-метод), який дозволив визначити оптимальні режими різання.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Наукова новизна роботи полягає у подальшому розвитку методології дослідження рівня впливу технологічних факторів на точність тонкого розточування головних отворів в заготовках деталей типу «Корпус» на багатоцільових верстатах з ЧПК різальним інструментом, оснащеним надтвердим матеріалом, в умовах серійного виробництва.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В» та ділянки для його реалізації; при цьому запропоновані такі рішення:

- для найбільш доцільних способів виготовлення заготовки – лиття за виплавними моделями та лиття в оболонкові форми спроектовано заготовки та техніко-економічним порівнянням встановлено, що економічно доцільнішим варіантом є виготовлення заготовки литтям за виплавними моделями;
- розроблений оригінальний технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В», який дає

можливість знизити собівартість, енерговитрати та трудомісткість, підвищити продуктивність праці;

- розроблено план ділянки для реалізації удосконаленого технологічного процесу.

**Достовірність теоретичних положень** магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується повною відповідністю поставленим задачам.

**Апробація.** Основні положення й результати досліджень доповідалися й обговорювалися на LIV Всеукраїнській науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2025). Вінниця, 24-27 березня 2025 р. У співавторстві опубліковано тезу доповіді.

## 1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»

1.1 Характеристика об'єкту виробництва, його службове призначення, технічні умови на виготовлення

Задана деталь «Головка циліндра задня Ц40.055-001В» (рис. 1.1) виготовляється з ливарної сталі 40Л та призначена для герметичного закриття порожнини циліндра, а також для його кріплення до базової рами машини.

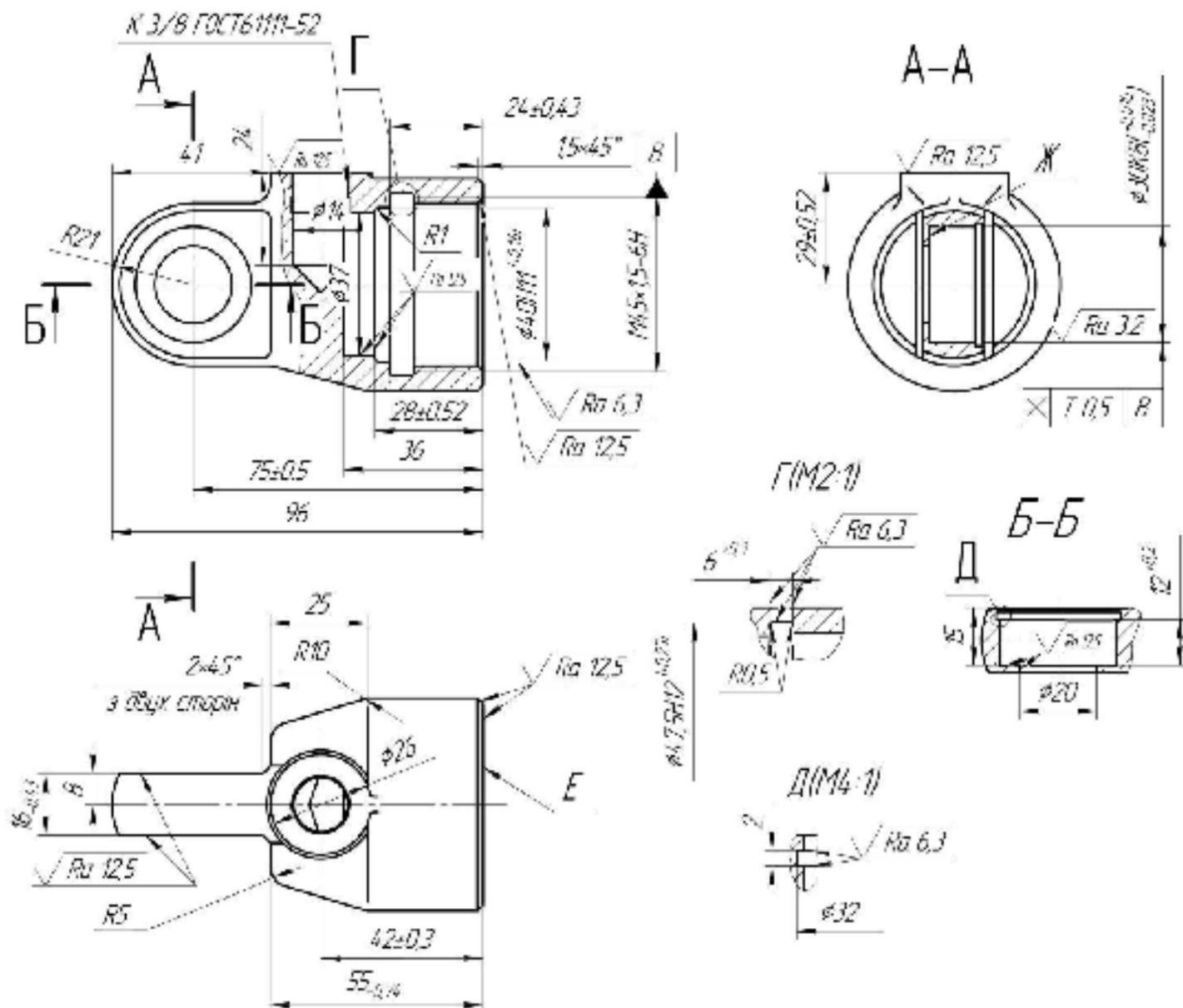


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі «Головка циліндра задня Ц40.055-001В»

За результатами аналізу креслення деталі встановлено, що основними конструкторськими базами є внутрішня різьба  $M45 \times 1,5 - 6H$  та торцева поверхня Е.

До допоміжних конструкторських баз віднесено отвір  $\phi 30 K 8 \begin{matrix} +0,010 \\ -0,023 \end{matrix}$  мм, торець  $\phi 26$  мм, кріпильний різьбовий отвір  $K 3/8$  за ГОСТ 6111-52, отвір  $\phi 14$  мм, а також торець Ж.

Зовнішня циліндрична поверхня  $\varnothing 55$  мм, яка не підлягає механічній обробці, фаска  $1,5 \times 45^\circ$ , внутрішня циліндрична поверхня  $\varnothing 40H11$  мм, канавка шириною 2 мм, отвір  $\varnothing 37$  мм і канавка  $\varnothing 47,5H12^{(+0,25)}$  мм належать до вільних поверхонь деталі.

Заготовку доцільно отримувати методом лиття. З урахуванням конструктивних особливостей деталі та заданої програми її випуску, найбільш раціональним способом є лиття за виплавними моделями. Застосування даної технології забезпечує знижену шорсткість поверхонь у порівнянні з іншими методами лиття та сприяє досягненню позитивного економічного ефекту.

### 1.2 Загальний огляд існуючих ТП обробки деталі типу «Корпус»

Технологічний процес (ТП) механічної обробки деталі «Головка циліндра задня Ц40.055-001В» формується з урахуванням типу виробництва та базується на типових або групових технологічних процесах обробки деталей-аналогів.

Оскільки деталь «Головка циліндра задня Ц40.055-001В» належить до корпусних, доцільно використати типовий маршрут механічної обробки для деталей типу «Корпус» [1–11].

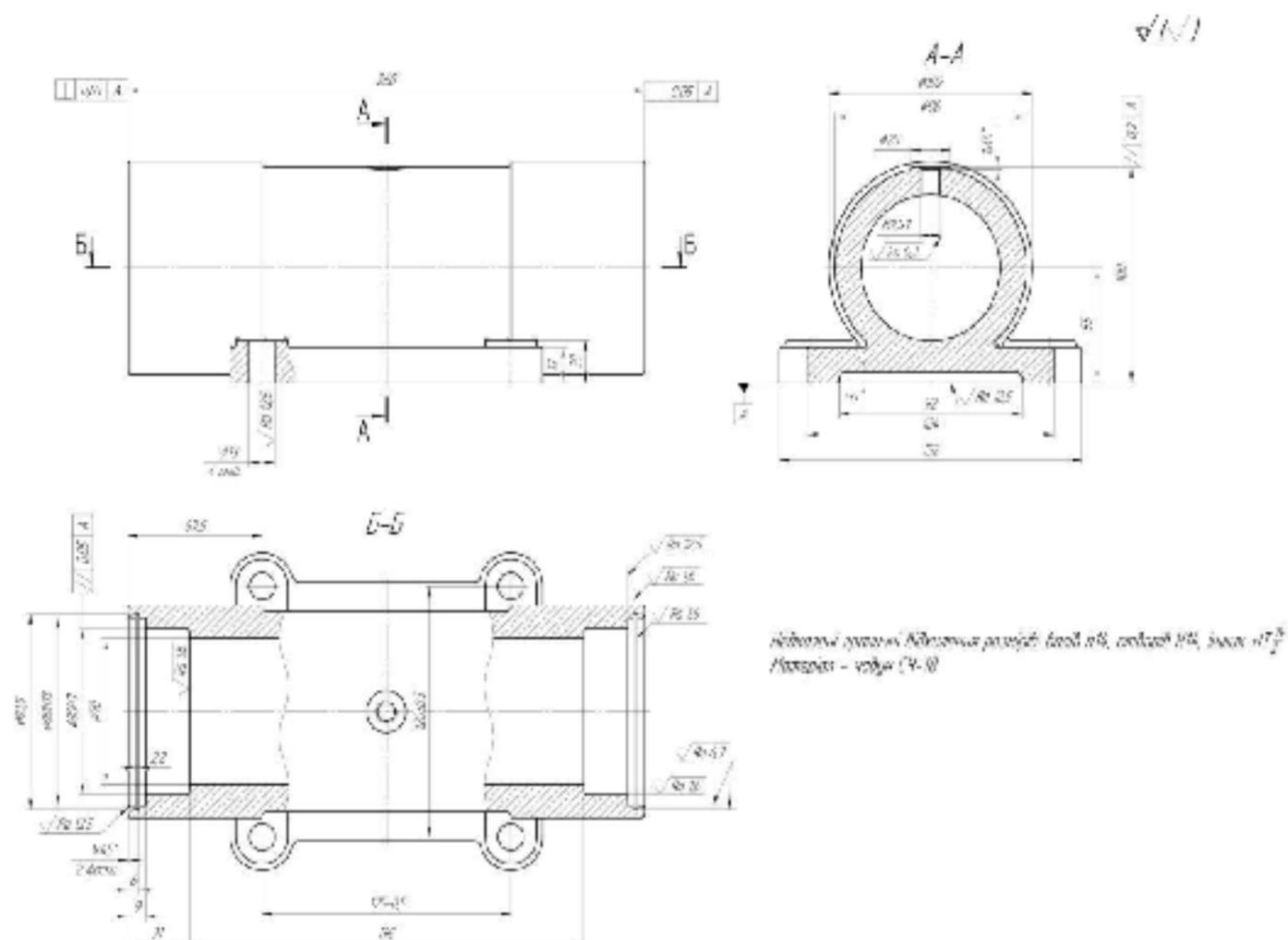


Рисунок 1.2 – Типова деталь «Корпус»

Таблиця 1.1 – Типовий ТП механічної обробки деталі «Корпус»

№ операції	Зміст або найменування операції	Верстат, обладнання	Оснастка
005	Лиття		
010	Обрубка і очищення виливка		
015	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Фрезерувати площину основи остаточно.</li> <li>2. Свердлити чотири отвори Ø13 остаточно.</li> <li>3. Фрезерувати площину бобишки Ø20 остаточно.</li> <li>4. Свердлити і нарізати різь М10×1-7Н в одному отворі остаточно.</li> <li>5. Фрезерувати торець Ø102, витримуючи розмір 230 остаточно.</li> <li>6. Розточити розточки Ø80H7; Ø90H13 і фаску 1×45° остаточно.</li> <li>7. Фрезерувати канавку b=2,2±0,5 остаточно.</li> <li>8. Повернути стіл на 180°.</li> <li>9. Розточити розточки Ø80H7; Ø90H13 і фаску 1×45° остаточно.</li> <li>10. Фрезерувати канавку b=2,2±0,5 остаточно.</li> </ol>	Багатоцільовий з ЧПК і інструментальним магазином IP500MФ4	Наладка УСПО
020	Притупити гострі кромки	Верстак	
025	Технічний контроль		
030	Нанесення антикорозійного покриття		

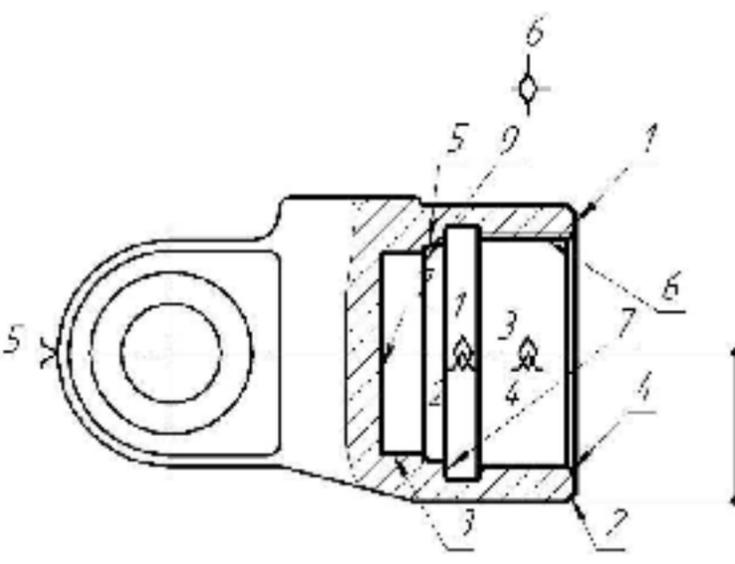
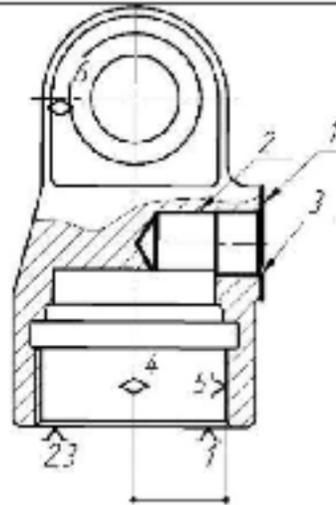
Обладнання, передбачене типовим маршрутом механічної обробки, може бути застосоване для виготовлення заданої деталі, оскільки використовувані методи обробки є аналогічними, а технічні можливості верстатів забезпечують формування всіх необхідних поверхонь.

Базовий маршрут механічної обробки деталі наведено в таблиці 1.2.

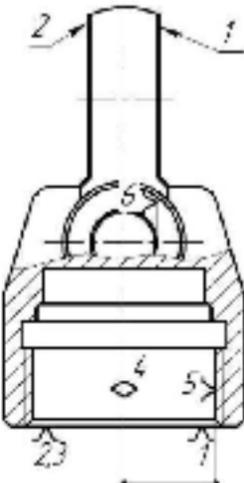
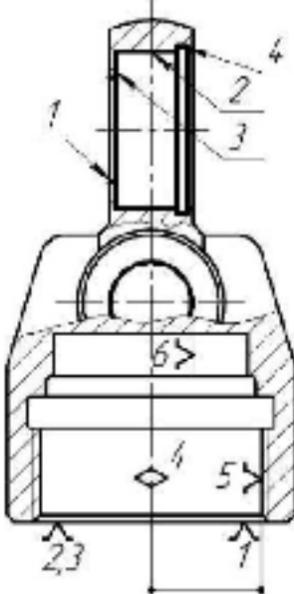
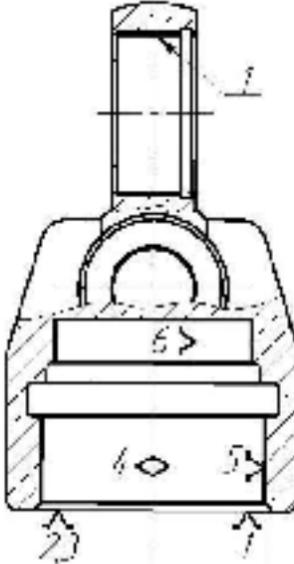
Верстати, що входять до складу даного маршруту, належать до застарілого обладнання, проте дозволяють отримати необхідну точність обробки досліджуваної деталі. Основним недоліком розглянутого технологічного процесу є застосування верстатів з ручним програмним

керуванням. Їх використання зумовлює збільшення основного часу обробки через обмежені режими різання, зростання допоміжних витрат часу, а також ускладнення маршруту за рахунок збільшення кількості операцій, що, у свою чергу, потребує більшої кількості одиниць обладнання.

Таблиця 1.2 – Базовий ТП механічної обробки деталі «Головка циліндра задня Ц40.055-001В»

Номер, назва і зміст операції	Ескіз обробки зі схемою базування	Тип і модель верстата
1	2	3
<p>005 Токарно-револьверна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити заготовку.</li> <li>2. Підрізати торець 1 однократно.</li> <li>3. Точити фаску 2 однократно.</li> <li>4. Розточити отвір 6 попередньо, торець 8 однократно, отвір 5 попередньо, торець 9 однократно, отвір 3 однократно, торець 7 однократно.</li> <li>5. Розточити отвори 6 і 5 остаточно.</li> <li>6. Точити канавку 8.</li> <li>7. Зенкувати фаску 4.</li> <li>8. Нарізати різь в отворі 6.</li> <li>9. Зняти заготовку.</li> </ol>		<p>Токарно-револьверний 1П365</p>
<p>010 Токарно-револьверна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити заготовку.</li> <li>2. Підрізати торець 1 однократно.</li> <li>3. Центрувати отвір 2.</li> <li>4. Свердлити отвір 2.</li> <li>5. Зенкувати фаску 3.</li> <li>5. Нарізати різь в отворі 2.</li> <li>6. Зняти заготовку.</li> </ol>		<p>Токарно-револьверний 1П365</p>

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
<p>015 Горизонтально-фрезерна</p> <p>1. Встановити заготовку. 2. Фрезерувати площини 1 та 2 однократно. 3. Зняти заготовку.</p>		<p>Горизонтально-фрезерний 6P80Г</p>
<p>020 Токарно-револьверна</p> <p>1. Встановити заготовку. 2. Розточити отвір 2 попередньо, торець 3 і отвір 1 однократно. 3. Розточити отвір 2 попередньо. 5. Розточити канавку 4 однократно. 8. Зняти заготовку.</p>		<p>Токарно-револьверний ПЗ365</p>
<p>025 Алмазно-розточувальна</p> <p>1. Встановити заготовку. 2. Розточити отвір 1 остаточно. 3. Зняти деталь.</p>		<p>Алмазно-розточувальний 2705В</p>
<p>030 Мийна</p>	<p>-</p>	<p>Мийка</p>
<p>035 Контрольна</p>	<p>-</p>	<p>Контрольна плита</p>

Під час виконання першої операції (005) здійснюється формування основних базових поверхонь деталі – торця 1 та різьбового отвору 6, які надалі використовуються як технологічні бази. Установлення заготовки виконується за необробленими чорновими поверхнями з одноразовим

базуванням, що дозволяє мінімізувати похибки, пов'язані з повторним переустановленням на наступних операціях.

На другій операції (010), після завершення обробки базових поверхонь, проводиться механічна обробка отвору під штуцер на токарно-револьверному верстаті. При цьому базування заготовки здійснюється вже по чистових технологічних базах.

На третій, четвертій і п'ятій операціях (015, 020, 025) виконується обробка вуха та ступінчатого отвору з посадочним місцем під підшипник. Недоліком цих операцій є те, що обробка досить точного отвору виконується не з одного установа, а отже якість і точність отвору погіршується, а також необхідно більше верстатів та робітників.

Загальним недоліком всіх операцій даного технологічного процесу є використання в великосерійному виробництві верстатів з ручним керуванням. Використання даних верстатів потребує більш кваліфікованих робітників, витрачається більше часу на ручні прийоми, а отже собівартість виробів зростає, а продуктивність праці падає.

В великосерійному виробництві доцільне використання шестикоординатних оброблювальних центрів, автоматичних ліній, токарно-револьверних верстатів з ЧПК, верстів з поворотним столом, автоматичних верстатів, багатоцільових та комбінованих верстатів, багатошпindelних верстатів, які дають змогу обробити за одну операцію максимум поверхонь деталі, а в багатьох випадках і всю деталь. Слід також зауважити, що сучасне верстатне обладнання забезпечує оперативне переналагодження для обробки інших деталей у межах своїх технічних можливостей.

## **2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ГОЛОВКА ЦИЛІНДРА ЗАДНЯ Ц40.055-001В»**

### 2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі

#### 2.2.1 Якісний аналіз технологічності

Геометрія деталі характеризується підвищеною складністю, що ускладнює вибір як чорнових, так і чистових технологічних баз і, відповідно, знижує її технологічність.

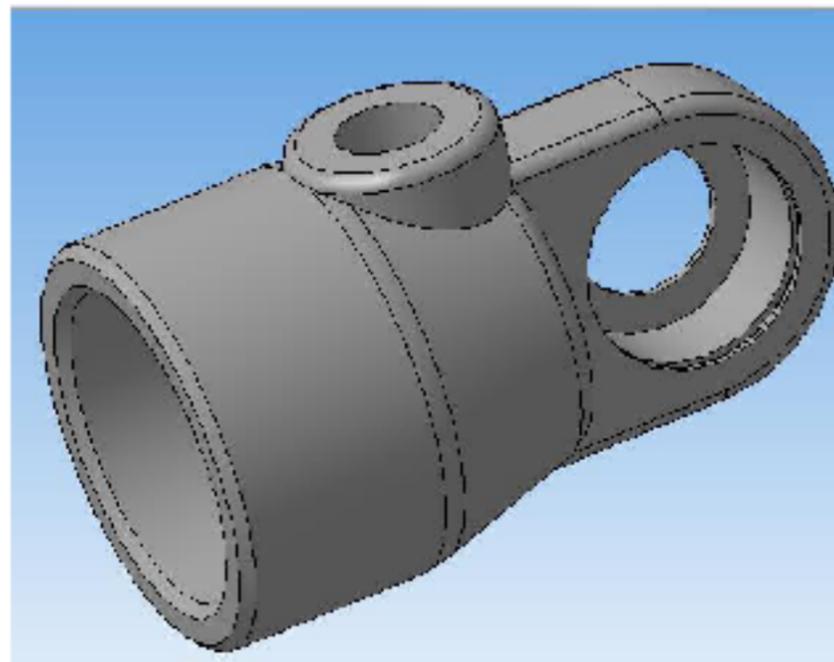


Рисунок 2.1 – Тривимірна модель деталі «Головка циліндра задня Ц40.055-001В»

Загалом конструкцію деталі можна вважати технологічною, однак наявні окремі поверхні, що ускладнюють її виготовлення, зокрема: конічний різьбовий отвір К3/8 за ГОСТ 61111-52, радіусна канавка шириною 6 мм, а також глухі отвори діаметром  $\varnothing 37$  мм і  $\varnothing 14$  мм.

Водночас у конструкції деталі присутні поверхні, придатні для використання в якості технологічних баз (зазначені вище), тому застосування штучних баз є недоцільним. Існуючі базові поверхні повністю забезпечують надійне встановлення заготовки під час виконання операцій механічної обробки.

Так як матеріалом деталі є ливарна сталь, то для виготовлення заготовки деталі необхідно використати лиття.

### 2.2.2 Кількісний аналіз технологічності

Коефіцієнт уніфікації [1, 3]:

$$K_{yn} = \frac{Q_{yn}}{Q_{zag}} = \frac{64}{69} = 0,93; \quad (2.1)$$

де  $Q_{zag}$ ,  $Q_{yn}$  – загальна та уніфікована відповідно кількість елементів.

Таблиця 2.1 – Розрахунок коефіцієнта уніфікації

Лінійні розміри	Діаметральні розміри	Кутові розміри	Шореткість	Різь метрична
24*	Ø40H11 <sup>(+0,16)</sup> *	45° *(3 пов.)	12,5 * (15пов.)	M45×1,5-6H*
6 <sup>+0,3</sup> *	Ø47,5H12 <sup>(+0,25)</sup>		6,3 * (7пов.)	K3/8ГОСТ611111-52
24 *	Ø37		3,2*	
1,5 (2 пов.)*	Ø14*			
28±0,52 *	Ø20*			
36 *	Ø32*			
75 ±0,5*	Ø25 *			
16 <sub>-0,43</sub> *	Ø30K8 <sub>(-0,023)</sub> <sup>(+0,01)</sup> *			
8*	R1 *			
55 <sub>-0,74</sub> *	R0,5 (2пов.)*			
42 <sub>-0,3</sub> *				
96				
15*				
12 <sup>+0,2</sup> *				
29±0,52				
2(2 пов.)*				
Σ <sub>zag.</sub> = 18	Σ <sub>zag.</sub> = 11	Σ <sub>zag.</sub> = 3	Σ <sub>zag.</sub> = 23	Σ <sub>zag.</sub> = 2
Σ <sub>уніф.</sub> = 16	Σ <sub>уніф.</sub> = 9	Σ <sub>уніф.</sub> = 3	Σ <sub>уніф.</sub> = 23	Σ <sub>уніф.</sub> = 1

Примітка: позначення «\*» мають уніфіковані розміри.

Коефіцієнт точності [1, 3]:

$$K_{м.ч.} = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{13,5} = 0,92; \quad (2.2)$$

де

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{311}{23} = 13,5;$$

де  $T_i$ ,  $n_i$  – квалітет точності та кількість поверхонь заданого квалітету.

Таблиця 2.2 – Розрахунок коефіцієнта точності обробки

Квалітет (розміри)	Кількість поверхонь, шт.	Розрахунок
8 ( $\varnothing 30K8^{+0,01}_{-0,023}$ )	1	$8 \cdot 1 = 8$
11 ( $\varnothing 40H11^{+0,16}$ )	1	$11 \cdot 1 = 11$
12 ( $\varnothing 47,5H12^{+0,18}$ )	1	$12 \cdot 1 = 12$
14 ( $\varnothing 14, \varnothing 37, \varnothing 20, \varnothing 55, \varnothing 32, \varnothing 26, 16, 15, 12, 2, 36, 28, 18, 75, 6, 1 \times 45$ (2пов.), $2 \times 45$ (2пов.), 8)	20	$14 \cdot 20 = 280$
Сума	23	311

Коефіцієнт шорсткості [1, 3]:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{cp}} = \frac{1}{10,21} = 0,1; \quad (2.3)$$

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

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{234,8}{23} = 10,21;$$

де  $Ш_i$ ,  $n_i$  – шорсткість та кількість поверхонь заданої шорсткості.

Таблиця 2.3 – Розрахунок коефіцієнта шорсткості

Шорсткість (розміри)	Кількість поверхонь, шт.	Розрахунок
3,2 ( $\text{Ø}30\text{K}8^{(+0,01}_{-0,023})}$ )	1	$3,2 \cdot 1 = 3,2$
6,3 ( $\text{Ø}40\text{H}11^{(+0,16)}; 6^{+0,3}$ (2пов.); 2(2пов.), $\text{Ø}47,5\text{H}12, \text{Ø}32$ .)	7	$6,3 \cdot 7 = 44,1$
12,5 (16(2 пов.), 12(2пов.), 1×45(2пов.), $\text{Ø}26$ , $\text{Ø}55,2 \times 45,36, \text{Ø}20, \text{Ø}37$ (2пов.), $\text{Ø}40\text{H}11$ )	15	$12,5 \cdot 15 = 187,5$
Сума	23	234,8

Висновок. Отримані значення коефіцієнтів становлять:  $K_y = 0,93 > 0,6$  ;  
 $K_m = 0,92 > 0,8$  ;  $K_{\text{ш}} = 0,1 < 0,32$  . Таким чином, за сукупністю кількісних  
критеріїв досліджувана деталь належить до технологічних.

## 2.2 Визначення типу виробництва і форми організації робіт

На початковому етапі проєктування тип виробництва може бути встановлений орієнтовним методом, який базується на даних щодо маси деталі та обсягу її випуску.

Відомо, що маса досліджуваної деталі становить  $m = 0,617$  кг, а відповідно до умов виготовлення річна програма випуску  $N = 100000$  шт. Згідно з табличними значеннями, наведеними у [3], виробництво даної деталі відноситься до масового.

Подальше уточнення типу виробництва здійснюється шляхом розрахунку коефіцієнта закріплення операцій [3]:

$$K_{\text{з.о.}} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i}, \quad (2.4)$$

де,  $\sum O_i$  – сумарна кількість операцій та робочих місць відповідно для виконання операцій.

Для розрахунку коефіцієнта закріплення операцій  $K_{z.o.}$  виконано такі дії.

Насамперед визначено характерні переходи механічної обробки основних поверхонь деталі, а саме:

- розточування отвору  $\varnothing 40$  з точністю за 11-м квалітетом;
- попереднє розточування різьбового отвору  $M45 \times 1,5-6H$  відповідно до 14-го квалітету;
- остаточне розточування різьбового отвору  $M45 \times 1,5-6H$  з точністю за 11-м квалітетом;
- однократне підрізання торця  $\varnothing 55$  за 14-м квалітетом;
- попереднє розточування отвору  $\varnothing 30$  за 14-м квалітетом;
- напівчистове розточування отвору  $\varnothing 30$  за 11-м квалітетом;
- чистове розточування отвору  $\varnothing 30$  з точністю за 8-м квалітетом;
- свердління отвору  $\varnothing 14$  з точністю за 14-м квалітетом.

Норми основного часу  $T_o$  для обробки зазначених поверхонь були визначені з використанням формул наближеного нормування відповідно до джерел [1, 3].

Тоді штучно-калькуляційний час  $T_{шт.-к.}$ :

$$T_{шт.-к.} = T_o \cdot \varphi_k \text{ [хв.]}, \quad (2.6)$$

де  $\varphi_k$  – коефіцієнт.

Розрахована кількість верстатів по переходам:

$$C_{pi} = \frac{N \cdot T_{шт.-к.}}{60 F_o \cdot \eta_{z.n.}} \text{ [шт.]}, \quad (2.6)$$

де  $N = 100000$  шт. – річна програма випуску;

$F_o = 3890$  год. – ефективний річний фонд часу роботи верстата;

$\eta_{z.n.} = 0,65$  – нормативний коефіцієнт завантаження.

Прийнята кількість верстатів по переходам:

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = P_7 = P_8 = 1.$$

Таблиця 2.4 – Коефіцієнт закріплення операцій  $K_{\gamma,0}$ 

Переходи механічної обробки	Формула та розрахунок $T_{ocn}$ , хв.	$\phi_{\kappa}$	$T_{\text{зм-к}} = T_{ocn} \cdot \phi_{\kappa}$ , хв	$C_p$	$P$	$\eta_{\gamma,\phi}$	$\eta_{\gamma,n}$	$O$	$K_{\gamma,0}$
Розточити отвір $\varnothing 40$ (згідно 11 квалітету)	$T_{ocn1} = 0,2 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,2 \cdot 40 \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 0,224$	1,35	0,3	0,2	1	0,2	0,65	3,25	7,63
Розточити отвір М45×1,5-6Н попередньо (згідно 14 квалітету)	$T_{ocn2} = 0,18 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 45 \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 0,146$	1,35	0,2	0,13	1	0,13	0,65	5	
Розточити отвір М45×1,5-6Н остаточно (згідно 11 квалітету)	$T_{ocn4} = 0,2 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,2 \cdot 45 \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 0,162$	1,35	0,22	0,145	1	0,145	0,65	4,48	
Підрізати торець $\varnothing 55$ однократно (згідно 14 квалітету)	$T_{ocn4} = 0,037 \cdot (D^2 - d^2) \times 10^{-3} = 0,037 \cdot (55^2 - 40^2) \cdot 10^{-3} = 0,05$	1,35	0,07	0,05	1	0,05	0,65	13	
Розточити отвір $\varnothing 30$ попередньо (згідно 14 квалітету)	$T_{ocn5} = 0,17 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 30 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0,077$	1,35	0,1	0,066	1	0,066	0,65	9,85	
Розточити отвір $\varnothing 30$ попередньо (згідно 11 квалітету)	$T_{ocn6} = 0,18 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 30 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0,081$	1,35	0,11	0,073	1	0,073	0,65	8,9	
Розточити отвір $\varnothing 30$ остаточно (згідно 8 квалітету)	$T_{ocn7} = 0,2 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,2 \cdot 30 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0,09$	1,35	0,12	0,079	1	0,079	0,65	8,23	
Свердлити отвір $\varnothing 14$ однократно (згідно 14 квалітету)	$T_{ocn8} = 0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 14 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 0,175$	1,35	0,24	0,158	1	0,158	0,65	4,11	

Фактичний коефіцієнт завантаження верстатів:

$$\eta_{z.\phi.} = \frac{C_p}{P}. \quad (2.7)$$

Кількість операцій за кожним робочим місцем:

$$O = \frac{\eta_{z.k.}}{\eta_{z.\phi.}}. \quad (2.8)$$

Визначено коефіцієнт закріплення операцій за формулою 2.4.

Згідно нормативних даних при  $K_{z.o} > 40$  виробництво відноситься до одиничного; при  $20 < K_{z.o} \leq 40$  – дрібносерійне; при  $10 < K_{z.o} \leq 20$  – середньосерійне; при  $1 < K_{z.o} \leq 10$  – великосерійне; при  $K_{z.o} < 1$  – масове.

$$K_{z.o} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i} = \frac{4+5+5+13+10+9+9+5}{1+1+1+1+1+1+1+1} = 7,625 \text{ – виробництво великосерійне.}$$

Визначення форми організації роботи

Заданий добовий випуск деталей [3]:

$$N_{\phi} = \frac{N}{254} = \frac{100000}{254} = 393,7 \text{ (шт).}$$

Прийнято  $N_{\phi} = 394$  (шт).

Добова продуктивність лінії:

$$Q_{\phi} = \frac{F_{\phi}}{T_{\text{шт-к.сп}}} \cdot \eta_z = \frac{3890}{0,17} \cdot 0,65 = 14873,5 \text{ (шт).}$$

Прийнято  $Q_{\phi} = 14874$  (шт).

Середній штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-к.ср} = \frac{\sum_i^n T_{шт-к.i}}{n} = \frac{0,3 + 0,2 + 0,22 + 0,07 + 0,1 + 0,11 + 0,12 + 0,24}{8} = 0,17 \text{ (хв)}.$$

Так як  $N_o = 394$  шт.  $<$   $Q_o = 14874$  шт. – організація потової лінії недоцільна.

Кількість деталей в партії:

$$n = \frac{N \cdot t}{254} \text{ [шт.]};$$

$$n = \frac{100000 \cdot 2}{254} = 787,4 \text{ (шт.)}$$

Прийнято  $n = 788$  шт.

Кількість змін для обробки партії:

$$c = \frac{T_{шт-к.ср} \cdot n}{476 \cdot 0,65} = \frac{0,17 \cdot 788}{476 \cdot 0,65} = 0,43.$$

Розмір партії деталей, необхідний для забезпечення повного завантаження обладнання на основних операціях протягом цілого числа змін, визначається за залежністю:

$$n_{пр} = \frac{476 \cdot 0,65 \cdot c_{пр}}{T_{шт-к.ср}} = \frac{476 \cdot 0,65 \cdot 1}{0,17} = 1820 \text{ (шт)}$$

Прийнято  $n_{пр} = 1820$  шт.

Висновок. За результатами розрахунків встановлено, що тип виробництва належить до великосерійного, форма організації виробничого процесу – групова, а розмір партії деталей, які одночасно запускаються в обробку, становить  $n_{пр} = 1820$  шт.

## 2.3 Варіантний вибір способу виготовлення заготовки

### 2.3.1 Вибір альтернативних способів отримання заготовки

З огляду на те, що матеріалом деталі є сталь 40Л, виготовлення заготовки доцільно здійснювати методом лиття, оскільки даний матеріал характеризується добрими ливарними властивостями. Відповідно до літературних джерел [12–15], для виготовлення заготовок із сталі 40Л можуть бути використані такі способи лиття: у піщано-глинисті форми, в оболонкові форми, за виплавними моделями, а також лиття в облицьований кокіль.

Для обґрунтування вибору способу виготовлення заготовки використано такі початкові дані:

- тип виробництва – великосерійний,  $N_p = 100000$  шт.;
- матеріал деталі – сталь 40Л;
- маса деталі –  $m = 0,617$  кг;
- наявність термічної обробки вилівка – передбачена (до твердості 156–217 НВ);
- густина матеріалу –  $\rho = 7900$  кг/м<sup>3</sup>;
- максимальний габаритний розмір деталі –  $l_{max} = 96$  мм.

Аналіз наведених параметрів, зокрема невеликої маси деталі, матеріалу та умов великосерійного виробництва, дозволяє на основі кількісних показників і якісної оцінки технологічних можливостей різних способів лиття визначити найбільш раціональні варіанти виготовлення заготовки. Найбільш доцільними в даному випадку є лиття за виплавними моделями та лиття в оболонкові форми.

Лиття за виплавними моделями ефективно застосовується у великосерійному та масовому виробництві дрібних, але конструктивно складних деталей (переважно масою до 10 кг), для яких висувуються підвищені вимоги до точності геометричних параметрів і якості поверхонь. Даний спосіб є особливо доцільним у випадках, коли механічна обробка необхідна лише для окремих спряжених поверхонь. Застосування заготовок, отриманих таким методом, замість штапованих дозволяє зменшити витрати металу на 55–75%, скоротити трудомісткість механічної обробки на 50–60% та знизити собівартість деталей приблизно на 20%.

Лиття в оболонкові форми також забезпечує високу точність виливків (до 12-го квалітету), характеризується малими припусками на механічну обробку та добре піддається механізації й автоматизації. Це дає можливість отримувати до 500 виливків за годину, що є важливою перевагою для умов великосерійного виробництва.

### 2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки

У даній роботі для призначення припусків на механічну обробку застосовано табличний метод відповідно до рекомендацій [14, 15].

Клас розмірної точності заготовки визначається способом лиття, максимальним габаритним розміром деталі, видом сплаву, наявністю термічної обробки та температурою плавлення металу. Згідно з початковими даними, при виготовленні заготовок методом лиття за виплавними моделями можливий діапазон класів розмірної точності становить 6–10, а при литті в оболонкові форми – 9т–13. З урахуванням умов великосерійного виробництва та рекомендацій джерела [14], для першого варіанта прийнято клас точності 7т, а для другого – клас 9.

Ступінь жолоблення елементів виливка залежить від співвідношення мінімального та максимального розмірів елементів  $\frac{16}{96} = 0,166$ , а також від наявності термічної обробки. На основі цих факторів для обох варіантів обрано

діапазон значень 5–8. Відповідно до рекомендацій [14], для лиття за виплавними моделями прийнято ступінь жолоблення 5, а для лиття в оболонкові форми – 6, що відповідає оптимальним умовам великосерійного виробництва.

Точність поверхонь виливків визначається технологією лиття, габаритними розмірами заготовки та типом матеріалу. Для першого варіанта лиття обрано діапазон ступенів точності поверхонь 6–11, для другого – 9–15. Згідно з рекомендаціями [14], прийнято відповідно 7 та 10, що є доцільним для заданого типу виробництва.

Параметри шорсткості поверхонь виливків для сталі 40Л, яка підлягає термічній обробці, приймалися з урахуванням класу точності поверхонь і умов великосерійного виробництва. Для лиття за виплавними моделями при класі точності 7 прийнято значення шорсткості  $Ra = 8,0$  мкм, а для лиття в оболонкові форми при класі точності 10 –  $Ra = 16$  мкм.

Клас точності маси виливків залежить від методу лиття, номінальної маси заготовки та типу сплаву. Відповідно до вихідних даних, для лиття за виплавними моделями обрано діапазон 5т–11, а для лиття в оболонкові форми – 7–15. З урахуванням рекомендацій [14], для першого варіанта прийнято клас точності маси 7т, для другого – 9, що є оптимальним для великосерійного виробництва.

Ряд припусків на механічну обробку визначається ступенем точності поверхонь (7 та 10 відповідно), матеріалом заготовки та наявністю термічної обробки. Для лиття за виплавними моделями прийнято діапазон значень 2–5, а для лиття в оболонкові форми – 3–6. З наведених діапазонів обрано значення 3 та 4 відповідно.

Таблиця 2.5 – Проектування заготовки, що виготовлена литтям за виплавними моделями

Вихідні дані	Лиття за виплавними моделями									
	Згідно ДСТУ 8981–2020					Прийнято				
Клас розмірної точності виливків	6-10					7т				
Ступінь жолоблення елементів виливків	5-8					5				
Ступінь точності поверхонь виливків	6-11					7				
Шорсткість поверхонь виливків	Ra = 8,0 мкм									
Клас точності маси виливків	5т-11					7т				
Ряд припусків на обробку виливків	2-5					3				
Розрахункові розміри	ø37Н14	36h14	75±0,5	16h14	24h14	ø 30К8	28±0,52	ø 40Н11	Ø20Н14	
Допуски:										
розмірів	0,7	0,7	0,9	0,64	0,64	0,7	0,7	0,8	0,64	
форми чи розміщення	0,32									
зміщення по площині роз'єму	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
зміщення через перекіс стержня	0,22	-	-	-	-	0,22	-	0,24	0,28	
нерівностей	0,2									
маси	6,4									
Загальний допуск	0,9	0,9	1,1	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	
Припуски:										
мінімальний	0,3									
Розрахункові розміри	ø37Н14	36h14	75±0,5	16h14	24h14	ø 30К8	28±0,52	ø 40Н11	Ø20Н14	
	Кількість переходів механічної обробки									
За точністю розмірів	1	1	1	1	1	4	1	2	1	
за відхиленнями форми і взаємного розміщення поверхонь	-	-	-	-	-	2	-	-	-	
прийнята кількість переходів	1	1	1	1	1	4	1	2	1	
Загальний припуск	0,8	1,1	1,1	0,7	1,1	1,3	1,1	1,2	0,8	
Розміри заготовки:										
розраховані	Ø35,4	37,1	76,1	17,4	25,1	Ø27,4	30,1	Ø37,6	Ø18,4	

Таблиця 2.6 – Проектування заготовки, що виготовлена литтям в оболонкові форми

Вихідні дані	Лиття в оболонкові форми								
	Згідно ДСТУ 8981–2020					Прийнято			
Клас розмірної точності виливків	9Г-13					9			
Ступінь жолоблення елементів виливків	5-8					6			
Ступінь точності поверхонь виливків	9-15					10			
Шорсткість поверхонь виливків	Ra = 16 мкм								
Клас точності маси виливків	7-15					9			
Ряд припусків на обробку виливків	3-6					4			
Розрахункові розміри	ø37H14	36h14	75h14	16h14	24h14	ø 30K8	29±0,52	ø 40H11	Ø20H14
Допуски:									
розмірів	1,8	1,8	2,2	1,6	1,6	1,8	1,8	2,0	1,6
форми чи розміщення	0,4								
Розрахункові розміри	ø37H14	36h14	75h14	16h14	24h14	ø 30K8	29±0,52	ø 40H11	Ø20H14
зміщення по площині роз'єму	-	1,4	1,4	-	1,4	-	1,4	-	-
зміщення через перекіс стержня	0,44	-	-	-	-	0,44	-	0,5	0,56
нерівностей	0,4								
маси	16,0								
Загальний допуск	2,0	2,0	2,4	1,6	1,6	1,8	1,8	2,0	1,6
Припуски:									
мінімальний	0,4								
	Кількість переходів механічної обробки								
За точністю розмірів	1	1	1	1	1	4	1	3	1
за відхиленнями форми і взаємного розміщення поверхонь	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Розрахункові розміри	ø37H14	36h14	75h14	16h14	24h14	ø 30K8	29±0,52	ø 40H11	Ø20H14
прийнята кількість переходів	1	1	1	1	1	4	1	3	1
Загальний припуск	1,5	1,9	1,9	1,5	1,9	2,6	1,9	2,6	1,5
Розміри заготовки:									
розраховані	Ø34	37,9	76,9	19	25,9	Ø24,8	30,9	Ø34,8	Ø17

Допуски лінійних розмірів.

Для заготовок зі сталі 40Л, що підлягають термічній обробці та виготовляються у великосерійному виробництві, значення допусків розмірів

визначались за довідковими таблицями ДСТУ 8981–2020 [15] з урахуванням номінальних розмірів і способу лиття.

При застосуванні лиття за виплавними моделями прийняті такі значення допусків:

$\varnothing 37H14 - 0,7$  мм;  $36h14 - 0,7$  мм;  $75h14 - 0,9$  мм;  
 $16h14 - 0,56$  мм;  $24h14 - 0,64$  мм;  $\varnothing 30K8 - 0,7$  мм;  
 $29 \pm 0,52 - 0,7$  мм;  $\varnothing 40H11 - 0,8$  мм;  $\varnothing 20H14 - 0,64$  мм.

Для лиття в оболонкові форми відповідні допуски становлять:

$\varnothing 37H14 - 1,8$  мм;  $36h14 - 1,8$  мм;  $75h14 - 2,2$  мм;  
 $16h14 - 1,6$  мм;  $24h14 - 1,6$  мм;  $\varnothing 30K8 - 1,8$  мм;  
 $29 \pm 0,52 - 1,8$  мм;  $\varnothing 40H11 - 2,0$  мм;  $\varnothing 20H14 - 1,6$  мм.

Допуски форми та розташування.

Значення допусків форми та взаємного розташування поверхонь також визначались згідно з [15]. Для лиття за виплавними моделями для всіх розмірів прийнято допуск 0,32 мм, тоді як при використанні оболонкових форм – 0,4 мм.

Допуски зміщення по площині роз'єму.

Допуски зміщення визначались залежно від мінімальної товщини стінки, що виходить на площину роз'єму (16 мм), та класу розмірної точності. Для класу 7т (лиття за виплавними моделями) допуск становить 0,56 мм, а для класу 9 (лиття в оболонкові форми) – 1,4 мм.

Допуски зміщення внаслідок перекосу стержня.

При литті за виплавними моделями допуски зміщення через перекіс стержня приймалися на два класи точніше від класу розмірної точності та становлять:

$\varnothing 37H14 - 0,22$  мм (товщина стінки 6 мм);

$\varnothing 30K8 - 0,22$  мм;  
 $\varnothing 40H11 - 0,24$  мм (товщина 7 мм);  
 $\varnothing 20H14 - 0,28$  мм (товщина 12 мм).

Для лиття в оболонкові форми відповідні значення дорівнюють:

$\varnothing 37H14 - 0,44$  мм;  
 $\varnothing 30K8 - 0,44$  мм;  
 $\varnothing 40H11 - 0,5$  мм;  
 $\varnothing 20H14 - 0,56$  мм.

Допуски нерівностей поверхні.

Допуски нерівностей визначались за ступенем точності поверхонь вилівка. Для лиття за виплавними моделями при 7-му ступені точності прийнято значення 0,2 мм, а для оболонкових форм при 10-му ступені – 0,4 мм.

Допуск маси вилівка.

Допустиме відхилення маси заготовки встановлювалось залежно від номінальної маси та класу точності. Для лиття за виплавними моделями при класі 7т допуск маси становить 6,4%, тоді як для лиття в оболонкові форми при класі 9 – 16%.

Загальний допуск.

Загальний допуск для обох способів лиття визначався з урахуванням сумарного впливу допусків розмірів, форми та розташування поверхонь і приймався відповідно до рекомендацій [14, 15].

Припуски на механічну обробку.

Мінімальний припуск на обробку поверхонь призначався за рядом припусків і є однаковим для всіх поверхонь вилівка. Його призначення полягає

в усуненні дефектів литої поверхні, вирівнюванні нерівностей та зниженні шорсткості, але він не забезпечує досягнення заданої точності розмірів і розташування. Для цього необхідно призначення загального припуску, величина якого залежить від кількості переходів механічної обробки.

Для лиття за виплавними моделями мінімальний припуск прийнято рівним 0,3 мм, а для лиття в оболонкові форми – 0,4 мм.

Таблиця 2.7 – Розрахунок розмірів заготовки

Розрахунок розмірів заготовки	
Лиття за виплавними моделями	Лиття в оболонкові форми
$\varnothing 37-0,8-0,8=\varnothing 35,4$ (мм)	$\varnothing 37-1,5-1,5=\varnothing 34$ (мм)
$36+1,1-1,1=36$ (мм)	$36+1,9-1,9=36$ (мм)
$75+1,1=76,1$ (мм)	$75+1,9=76,9$ (мм)
$16+0,7+0,7=17,4$ (мм)	$16+1,5+1,5=19$ (мм)
$24+1,1=25,1$ (мм)	$24+1,9=25,9$ (мм)
$\varnothing 30-1,3-1,3=\varnothing 27,4$ (мм)	$\varnothing 30-2,6-2,6=\varnothing 24,8$ (мм)
$28+1,1-1,1=28$ (мм)	$28+1,9-1,9=28$ (мм)
$\varnothing 40-1,2-1,2=\varnothing 37,6$ (мм)	$\varnothing 40-2,6-2,6=\varnothing 34,8$ (мм)
$\varnothing 20-0,8-0,8=\varnothing 18,4$ (мм)	$\varnothing 20-1,5-1,5=\varnothing 17$ (мм)

Загальні припуски на механічну обробку.

Для заготовок, отриманих литтям за виплавними моделями, величини загальних припусків на обробку для відповідних номінальних розмірів становлять:

$$\begin{aligned} &\varnothing 37H14 - 0,8 \text{ мм}; 36h14 - 0,8 \text{ мм}; 75h14 - 1,1 \text{ мм}; \\ &16h14 - 0,7 \text{ мм}; 24h14 - 0,8 \text{ мм}; \varnothing 30K8 - 1,3 \text{ мм}; \\ &29\pm 0,52 - 0,8 \text{ мм}; \varnothing 40H11 - 1,2 \text{ мм}; \varnothing 20H14 - 0,8 \text{ мм}. \end{aligned}$$

При виготовленні заготовок лиття в оболонкові форми відповідні значення загальних припусків мають такі величини:

$$\begin{aligned} &\varnothing 37H14 - 1,5 \text{ мм}; 36h14 - 1,5 \text{ мм}; 75h14 - 1,9 \text{ мм}; \\ &16h14 - 1,5 \text{ мм}; 24h14 - 1,5 \text{ мм}; \varnothing 30K8 - 2,6 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$29 \pm 0,52 - 1,5$  мм;  $\varnothing 40H11 - 2,6$  мм;  $\varnothing 20H14 - 1,5$  мм.

### 2.3.3 Оформлення ескізу заготовки

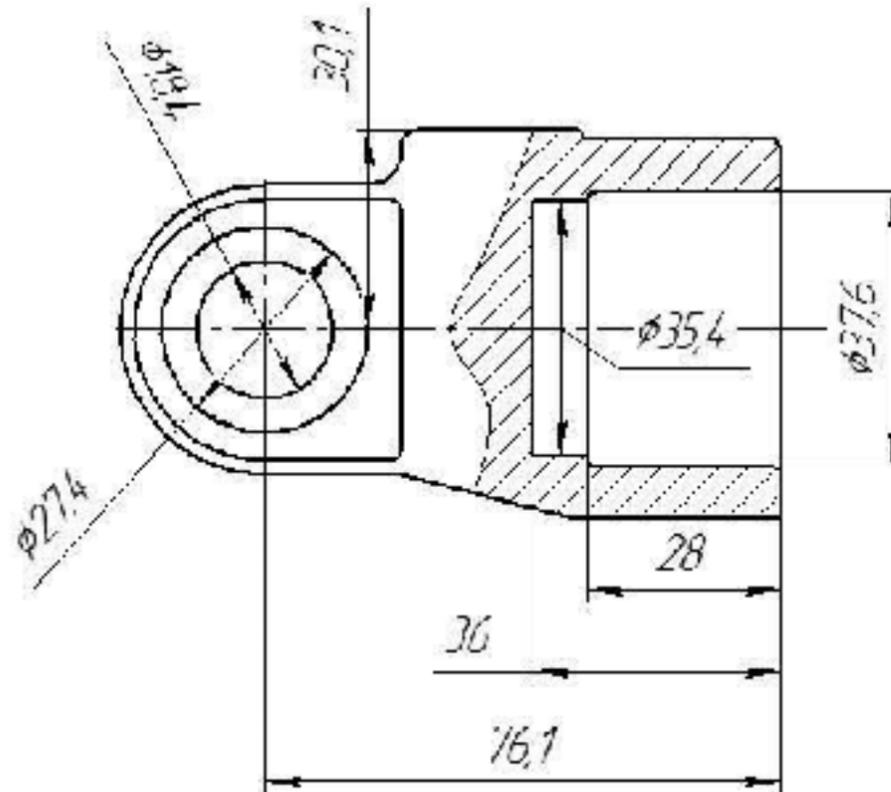


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки при литті за виплавними моделями

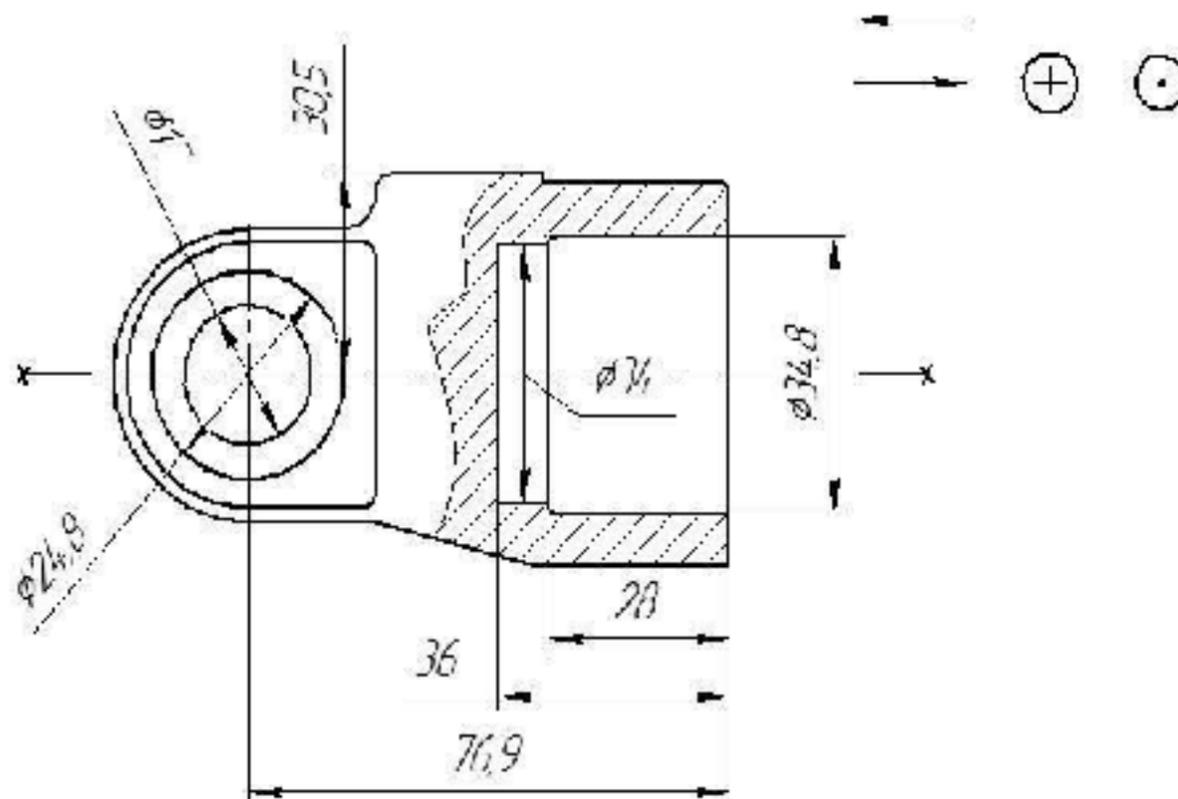


Рисунок 2.3 – Ескіз заготовки при литті в оболонкові форми

### 2.3.4 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси заготовки

Масу заготовки визначено шляхом побудови тривимірної моделі заготовки. За результатами моделювання маса заготовки, отриманої методом

лиття за виплавними моделями, становить  $G_{\text{мг}1} = 0,753$  кг, тоді як при виготовленні в оболонкових формах –  $G_{\text{мг}2} = 0,857$  кг.

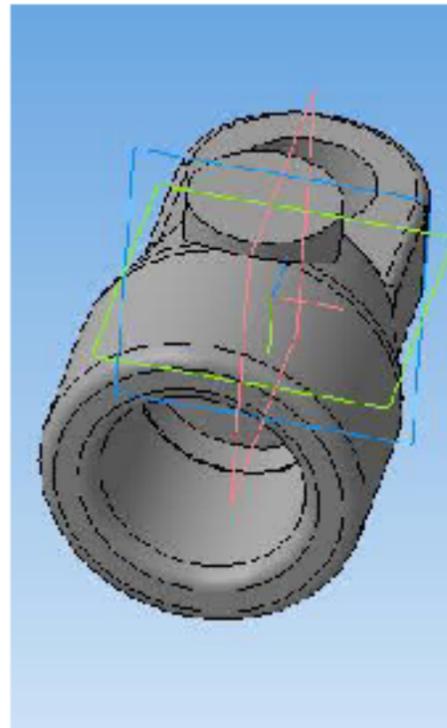


Рисунок 2.4 – 3D-модель заготовки за виплавними моделями

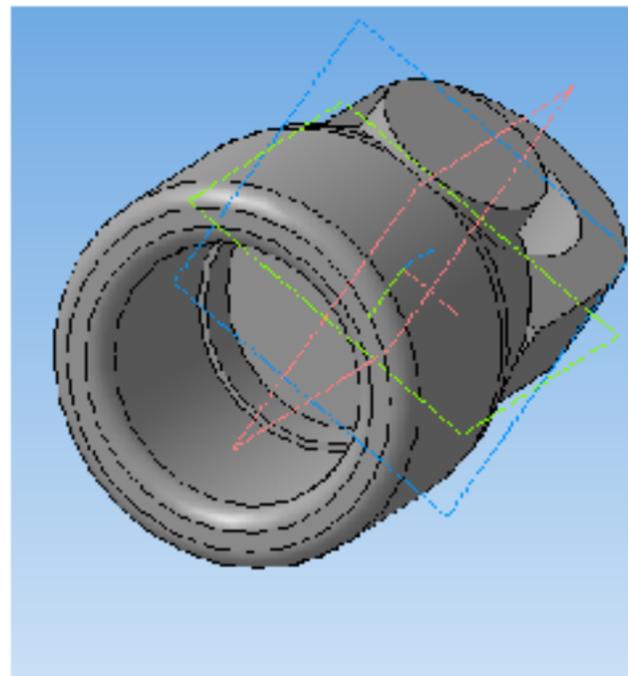


Рисунок 2.5 – 3D-модель заготовки в оболонкові форми

Коефіцієнт точності маси заготовки [14]:

$$K_{T.M.} = \frac{G_{\text{дес}}}{G_{\text{загот}}} \cdot \quad (2.9)$$

Коефіцієнт точності маси заготовки при литті за виплавними моделями:

$$K_{T.M.1} = \frac{G_{\text{дем}}}{G_{\text{загот}}} = \frac{0,617}{0,753} = 0,82.$$

Згідно [14], рекомендований діапазон коефіцієнта точності маси заготовки становить 0,85–0,95, тоді як розрахункове значення дорівнює 0,82. Це свідчить про те, що спроектована заготовка за даним показником знаходиться поблизу нижньої межі рекомендованого інтервалу. Зменшення коефіцієнта точності маси порівняно з нормативними значеннями обумовлене наявністю напусків, зокрема отвору  $\varnothing 14$  мм, а також канавок і фасок. Формування зазначених елементів у виливку істотно ускладнює процес виготовлення форм і з технологічної точки зору є недоцільним.

Коефіцієнт точності маси заготовки при литті в оболонковій формі:

$$K_{T.M.2} = \frac{G_{\text{дем}}}{G_{\text{загот}}} = \frac{0,617}{0,857} = 0,72.$$

Згідно [14] випливає, що середній рекомендований коефіцієнт точності маси заготовки становить 0,85–0,9, тоді як розрахункове значення для даної заготовки дорівнює 0,72. Це дозволяє зробити висновок, що за цим показником спроектована заготовка поступається варіанту, виконаному методом лиття за виплавними моделями.

### 2.3.5 Техніко-економічне порівняння варіантів заготовки

Собівартість виготовлення литої заготовки [14]:

$$C_{\text{заг.лив}} = \frac{(G_{\text{заг}} \cdot C_{\text{л}} \cdot K_{\text{т}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{п}})}{1000} - \frac{(G_{\text{заг}} - G_{\text{дем}}) \cdot C_{\text{відх}}}{1000} \text{ [грн.]}, \quad (2.10)$$

де  $C_{л}$  – базова вартість 1 т заготовок;

$K_T, K_M, K_C, K_B, K_{II}$  – коефіцієнти [14].

Для лиття за виплавними моделями:

$$C_{л} = 36\ 000 \text{ грн./т.}; C_{\text{обр}} = 2000 \text{ грн./т.}$$

$$K_T = 1,0; K_M = 1,0; K_C = 1; K_B = 0,74; K_{II} = 0,83.$$

Тоді

$$C_{\text{заг. лит}} = \frac{(0,753 \cdot 36000 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,74 \cdot 1 \cdot 0,83)}{1000} - \frac{(0,753 - 0,617) \cdot 2000}{1000} = 16,78(\text{грн}).$$

Для лиття в оболонкові форми [14]:

$$C_{л} = 28\ 400 \text{ грн./т.}; C_{\text{обр}} = 2000 \text{ грн./т.}$$

$$K_T = 1,0; K_M = 1,36; K_C = 1; K_B = 1,1; K_{II} = 0,82.$$

Тоді

$$C_{\text{заг. лит}} = \frac{(0,853 \cdot 28400 \cdot 1,0 \cdot 1,36 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,82)}{1000} - \frac{(0,853 - 0,617) \cdot 2000}{1000} = 29,25(\text{грн}).$$

Економічний ефект при використанні лиття за виплавними моделями:

$$E = (C_{\text{заг}2} - C_{\text{заг}1})N = (29,25 - 16,78)100000 = 1247000(\text{грн}).$$

Провівши аналіз отриманих даних, доцільно остаточно обрати для виготовлення заготовки метод лиття за виплавними моделями. Цей спосіб є економічно вигіднішим порівняно з литтям в оболонкові форми і забезпечує вищий коефіцієнт точності маси заготовки ( $0,82 \geq 0,72$ ).

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

Визначимо загальне уточнення для поверхні  $\varnothing 30\text{K}8\left(\begin{smallmatrix} +0,010 \\ -0,023 \end{smallmatrix}\right)$  (шорсткість поверхні  $Ra = 3,2$  мкм).

Обробка отвору  $\varnothing 30\text{K}8\left(\begin{smallmatrix} +0,010 \\ -0,023 \end{smallmatrix}\right)$  виконується на операції з одного установа (див. рис. 2.6).

Заготовка – виливок за виплавними моделями, допуск заготовки на розмір  $\varnothing 30\text{K}8\left(\begin{smallmatrix} +0,010 \\ -0,023 \end{smallmatrix}\right) - T_{\text{заг}} = 700$  мкм (7 клас розмірної точності згідно з [14]), допуск деталі  $T_{\text{дет}} = 33$  мкм.

Загальне уточнення [7]:

$$\varepsilon = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_2}{T_3} \dots = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \dots ; \quad (2.11)$$

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}} = \frac{700}{33} \approx 21 \text{ (мкм)}.$$

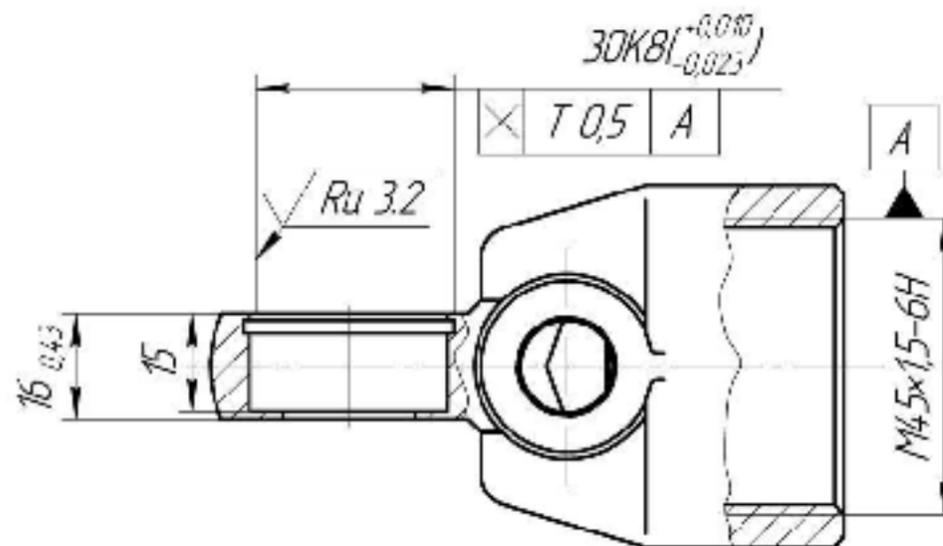


Рисунок 2.6 – Ескіз обробки поверхні  $\varnothing 30\text{K}8\left(\begin{smallmatrix} +0,010 \\ -0,023 \end{smallmatrix}\right)$

Прийнято  $\varepsilon_1 = 5$ ;  $\varepsilon_2 = 2,8$ .

Загальне уточнення на останньому переході:

$$\varepsilon_3 = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2} = \frac{21}{5 \cdot 2,8} = 1,5 \text{ (мкм)}.$$

Тоді допуски проміжних технологічних розмірів:

$$T_1 = \frac{T_{\text{заг}}}{\varepsilon_1} = \frac{700}{5} = 140 \text{ (мкм)} (\approx IT11);$$

$$T_2 = \frac{T_1}{\varepsilon_2} = \frac{140}{2,8} = 50 \text{ (мкм)} (\approx IT9);$$

$$T_3 = T_{\text{дет}} = \frac{T_2}{\varepsilon_1} = \frac{50}{1,5} = 33,33 \text{ (мкм)} (IT8).$$

Прийняті переходи механічної обробки поверхні  $\varnothing 30K8^{+0,010}_{-0,023}$ :  
розточування попереднє, розточування попереднє, розточування остаточне.

Загальне уточнення при обробці поверхні  $\varnothing 40H11^{+0,016}$  ( $Ra = 6,3$  мкм):

$$\varepsilon_y = \frac{800}{160} = 5 \text{ (мкм)}$$

Прийнято  $\varepsilon_1 = 3,3$ ,  $\varepsilon_2 = 1,52$ .

Допуски проміжних технологічних розмірів:

$$T_1 = \frac{800}{3,3} = 242,4 \text{ (мкм)} (\approx IT13);$$

$$T_2 = \frac{242,4}{1,52} = 159,5 \text{ (мкм)} (IT11).$$

Прийняті переходи механічної обробки поверхні  $\varnothing 40H11^{+0,016}$ :  
розточування попереднє, розточування остаточне.

Таблиця 2.8 – Кількість ступенів і способи обробки точних поверхонь [1, 3]

Розмір циліндричної поверхні або номер плоскої поверхні (на ескізі)	Вимоги точності, що враховувались під час вибору кількості ступенів і способів обробки	Спосіб обробки
1	2	3
Циліндричні поверхні		
$\varnothing 47,5H12^{(+0,25)}$	12-й квалітет; Ra 6,3	Однократне точіння
M45×1,5-6H	Ra 6,3; вимога перетину осей	Чорнове точіння, Чистове точіння, Нарізання різі
$\varnothing 32$	14-й квалітет; Ra 6,3	Однократне точіння
$\varnothing 20$	14-й квалітет; Ra 12,5	Однократне розточування
$\varnothing 14$	14-й квалітет; Ra 12,5	Свердління
$\varnothing 37$	14-й квалітет; Ra 12,5	Однократне точіння
Плоскі поверхні		
2	14-й квалітет; Ra 6,3	Однократне точіння
$6^{+0,3}$	14-й квалітет; Ra 6,3	Однократне точіння
$6_{-0,43}$	14-й квалітет; Ra 12,5	Фрезерування однократне
$29 \pm 0,52$	14-й квалітет; Ra 12,5	Фрезерування однократне
96	14-й квалітет; Ra 12,5	Підрізання торця однократне

## 2.5 Вибір чистових і чорнових технологічних баз

### 2.5.1 Вибір чистових технологічних баз

Щоб уникнути виникнення похибок базування, рекомендується використовувати один комплект технологічних баз та забезпечити співпадання технологічних та конструкторських баз [1].

На операції 010 використовується такий комплект чистових технологічних баз як внутрішня циліндрична поверхня та суміжний торець (рис. 2.7).

Для діаметральних розмірів  $\varnothing 14$  мм та K3/8 за ГОСТ 61111–52 похибка базування відсутня, оскільки діаметральні розміри забезпечуються відповідним інструментом.

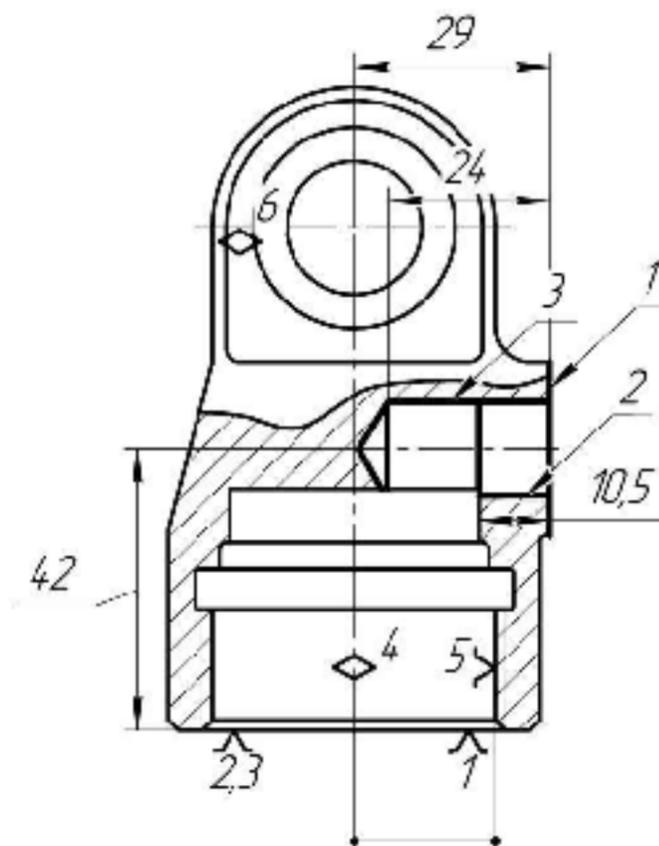


Рисунок 2.7 – Чистові технологічні бази (операція 010)

Таблиця 2.9 – Аналіз похибок базування на операції 010

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
Вертикально-фрезерна з ЧПК	24	відсутня	Обробка з одного установка
	10,5	відсутня	Обробка з одного установка
	42	відсутня	Виконується принцип суміщення баз
	29	наявна	Буде рівна зазору між отвором і оправкою

Схема базування заготовки на операції 015 показана на рис. 2.7.

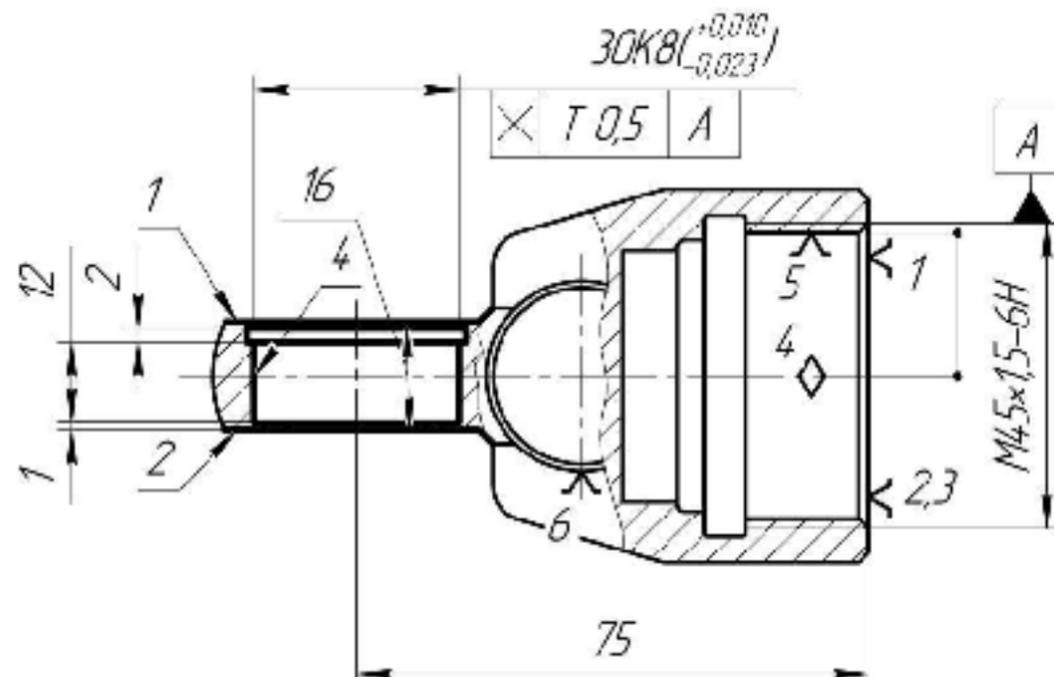


Рисунок 2.8 – Чистові технологічні бази (операція 015)

Для діаметральних розмірів  $\varnothing 20$  мм,  $\varnothing 47,5H12^{(+0,25)}$  та  $\varnothing 30K8^{(+0,010 / -0,023)}$  похибка базування відсутня.

Таблиця 2.10 – Аналіз похибок базування на операції 015

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
Вертикально-фрезерна з ЧПК	16	відсутня	Обробка з одного установка
	2	відсутня	Обробка з одного установка
Вертикально-фрезерна з ЧПК	12	відсутня	Обробка з одного установка
	$ \sqrt{7,05}   A  $	наявна	Буде рівна зазору між отвором і оправкою
	75	відсутня	Виконання принципу суміщення баз
	1	відсутня	Обробка з одного установка

### 2.5.2 Вибір чорнових технологічних баз

У даному випадку, при виборі чорнових технологічних баз вирішується задача забезпечення зв'язку між обробленими та необробленими поверхнями [1]. Установка заготовки на операції 005 здійснюється по необробленій (чорновій) поверхні  $\varnothing 55$  мм у трикулачковому самоцентрувальному патроні.

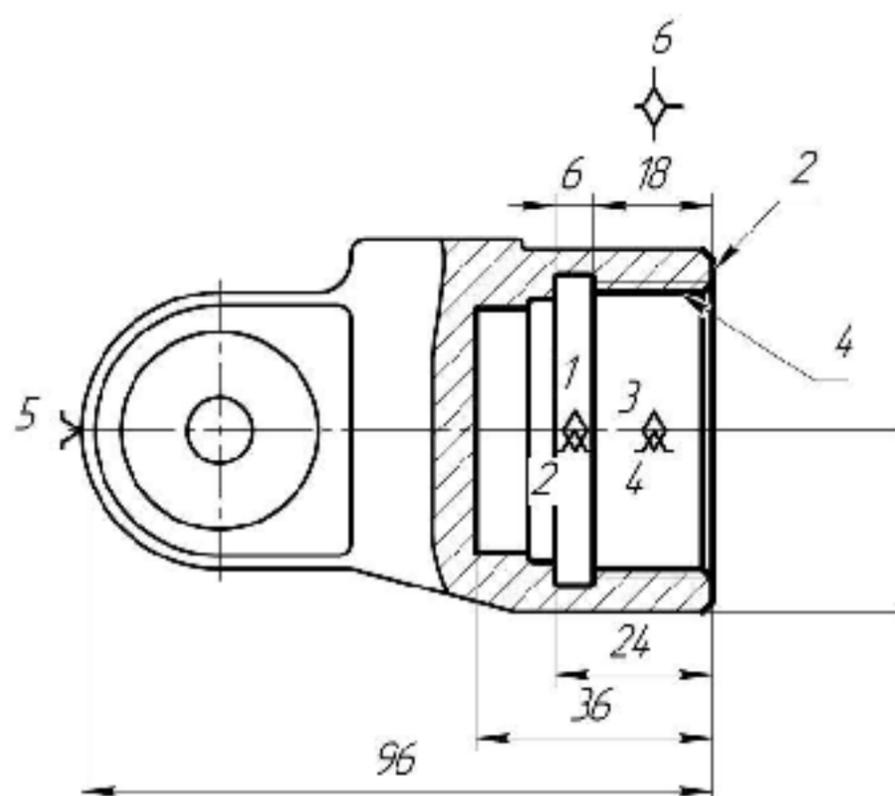


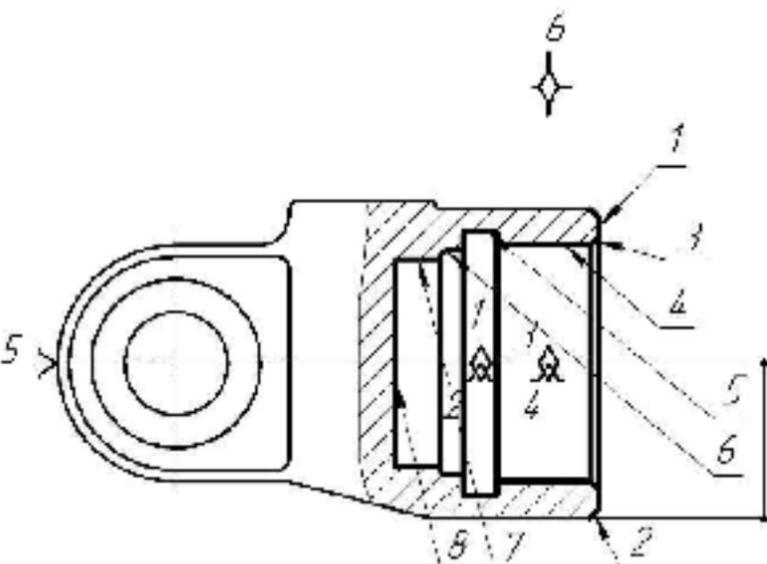
Рисунок 2.9 – Чорнові технологічних бази (операція 005)

## 2.6 Розробка удосконаленого ТП механічної обробки

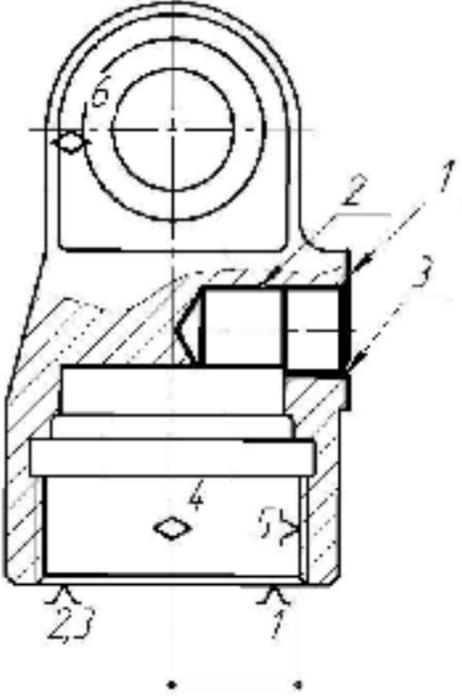
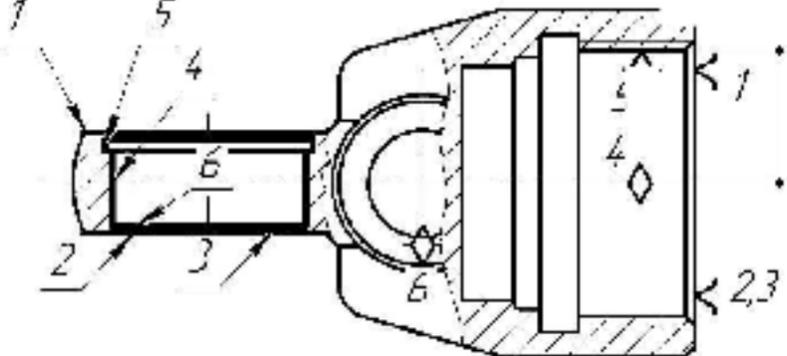
Враховуючи критичний аналіз базового ТП механічної обробки деталі «Головка циліндра задня Ц40.055-001В» (див. розділ 1, таблиця 1.2), розроблено варіант удосконаленого ТП, в якому замість застарілих верстатів з ручним керуванням використано верстати з ЧПК. Також операції 015, 020, 025 базового ТП можна об'єднати в одну, завдяки використанню верстата з ЧПК (ЛТ260МФ3 на 015 операції) з магазином на 14 інструментів.

Удосконалений ТП механічної обробки показаний в табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Удосконалений маршрут механічної обробки

Номер, назва і зміст операції	Ескіз обробки зі схемою базування	Тип і модель верстата
1	2	3
<p>005 Токарно-револьверна з ЧПК</p> <p>1. Встановити заготовку.            2. Підрізати торець 1 однократно, точити фаску 2.            3. Розточити отвір 4 попередньо, отвір 6 попередньо, отвір 7 однократно, підрізати торець 8 однократно.            4. Точити канавку 5.            5. Розточити фаску 3 однократно, отвір 4 остаточно, отвір 6 остаточно.            6. Нарізати різь в отворі 4.            7. Зняти заготовку.</p>		<p>Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30</p>

## Продовження таблиці 2.11

1	2	3
<p>010 Токарно-револьверна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити заготовку.</li> <li>2. Підрізати торець 1 однократно.</li> <li>3. Центрувати отвір 2.</li> <li>4. Свердлити отвір 2.</li> <li>5. Зенкувати фаску 3.</li> <li>6. Нарізати різь в отворі 2.</li> <li>7. Зняти заготовку.</li> </ol>		<p>Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30</p>
<p>015 Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати площини 1 та 2 однократно.</li> <li>3. Розточити отвір 3 однократно.</li> <li>4. Фрезерувати отвір 4 і торець 6.</li> <li>5. Розточити отвір 4 поперечно.</li> <li>6. Фрезерувати канавку 5 однократно.</li> <li>7. Розточити отвір 4 остаточно.</li> <li>8. Зняти деталь.</li> </ol>		<p>Вертикально-фрезерний з ЧПК ЛТ260МФ3</p>
<p>020 Мийна</p>	<p>-</p>	<p>Мийка</p>
<p>025 Контрольна</p>	<p>-</p>	<p>Контрольна плита</p>

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

Розрахуємо затрати на обробку деталей для операцій базового та удосконаленого ТП [1], використавши вартість однієї верстатогодини:

$$C_o = \frac{C_{n-c} \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot k_B} \text{ [грн.]}, \quad (2.12)$$

де  $C_{n-c}$  – цехові годинні приведені витрати [1];

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

Таблиця 2.12 – Собівартість виконання механічної обробки по операціям

№ операції	$T_{шт-к}$ , хв	Верстат	Вартість однієї верстатогодини, грн/год.	Вартість однієї верстатогодини, грн/хв.	Собівартість операції, грн.
Базовий ТП					
005	2,3	1П365	51,9	0,865	1,99
010	1,72	1П365	51,9	0,865	1,49
015	0,73	6Р80Г	42,3	0,705	0,52
020	0,72	1П365	51,9	0,865	0,62
025	0,6	2705В	43,9	0,732	0,44
$\Sigma$					5,06
Удосконалений ТП					
005	0,76	1В340Ф30	39,0	0,65	0,49
010	0,83	1В340Ф30	39,0	0,65	0,54
015	0,68	ЛТ250МФ3	80,7	1,335	0,91
$\Sigma$					1,94

Побудуємо діаграму собівартості обробки для операцій базового та удосконаленого ТП (рис. 2.10).

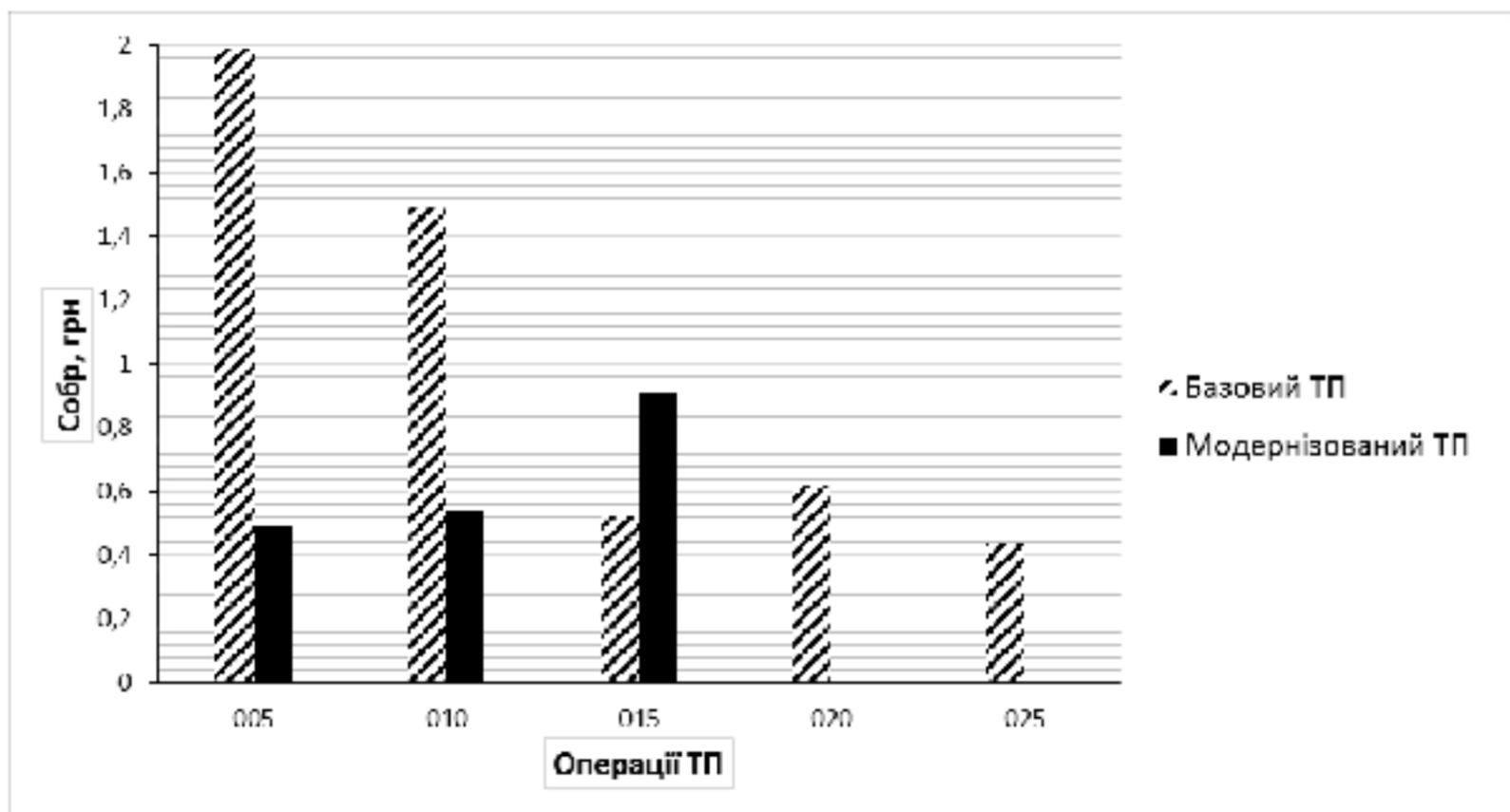


Рисунок 2.10 – Собівартість обробки на операціях

Економічний ефект, який виникає в наслідок зменшення собівартості виготовлення деталі визначається за формулою [1]:

$$E = (C_{\text{баз}} - C_{\text{удоск}}) \cdot N_p \text{ [грн.],} \quad (2.13)$$

де  $C_{\text{баз}}$  – собівартість виготовлення деталі при використанні базового ТП;

$C_{\text{удоск}}$  – собівартість при використанні удосконаленого ТП.

$$E = (7,85 - 1,9) \cdot 100000 = 595000 \text{ (грн).}$$

## 2.8 Розмірно-точнісне моделювання ТП

### 2.8.1 Вибір розташування технологічних розмірів

При складанні розмірної схеми необхідно керуватись принципами єдності і співпадання баз, щоб розмірний ланцюг був найкоротшим [16].

### 2.8.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів.

Таблиця 2.13 – Допуски вихідної заготовки та допуски проміжних технологічних розмірів

Вихідна заготовка			
Розмір	Спосіб виготовлення	Клас розмірної точності	Допуск, мм
$Z_1$	Лиття за виплавними моделями	7T	0,7
$Z_2$			0,7
$Z_3$			0,9
$Z_4$			0,9
Механічна обробка			
Технологічний розмір	Спосіб обробки	Квалітет точності	Допуск, мм
$B_1$	одноразове точіння	14	1
$B_2$	одноразове точіння	14	1,04
$B_3$	одноразове точіння	14	0,62
$B_4$	одноразове точіння	14	0,86
$B_5$	попереднє точіння	11	0,4
$B_6$	попереднє точіння	9	0,2
$B_7$	чистове точіння	8	0,1
$B_8$	одноразове точіння	12	0,6

### 2.8.3 Розмірна схема ТП

Розмірна схема технологічного процесу показана на рис. 2.11.



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

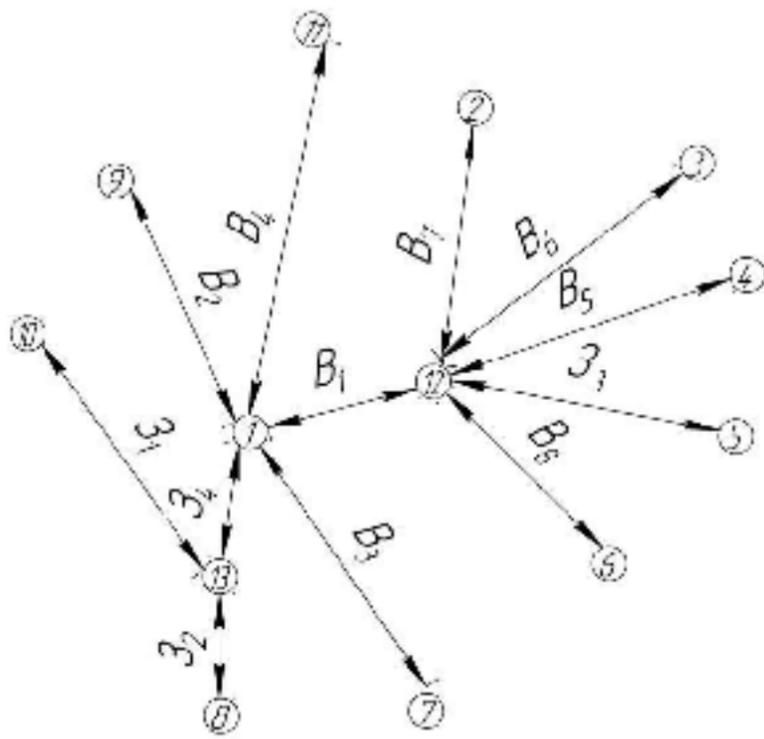


Рисунок 2.12 – Похідний граф-дерево

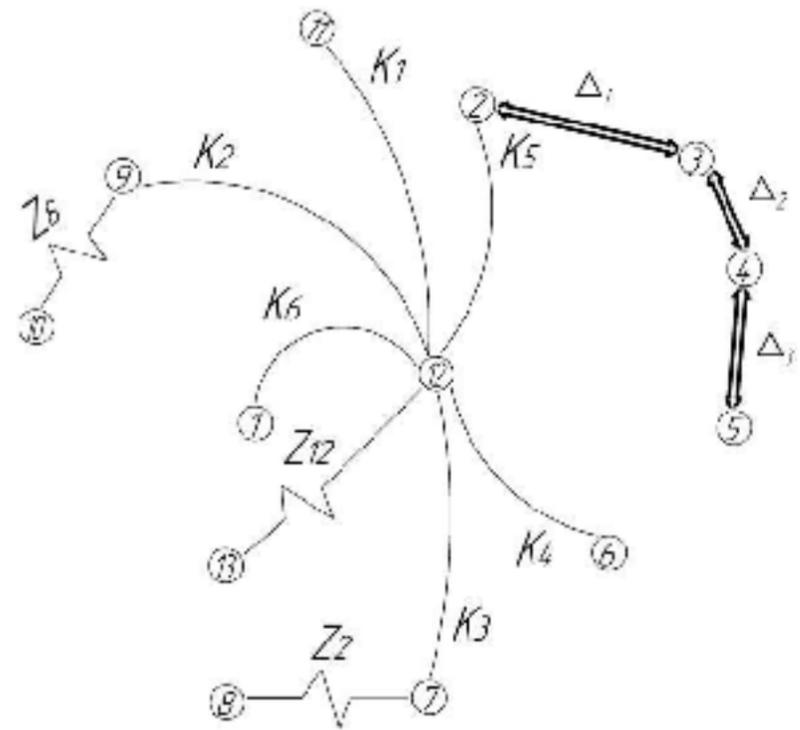


Рисунок 2.13 – Вихідний граф-дерево

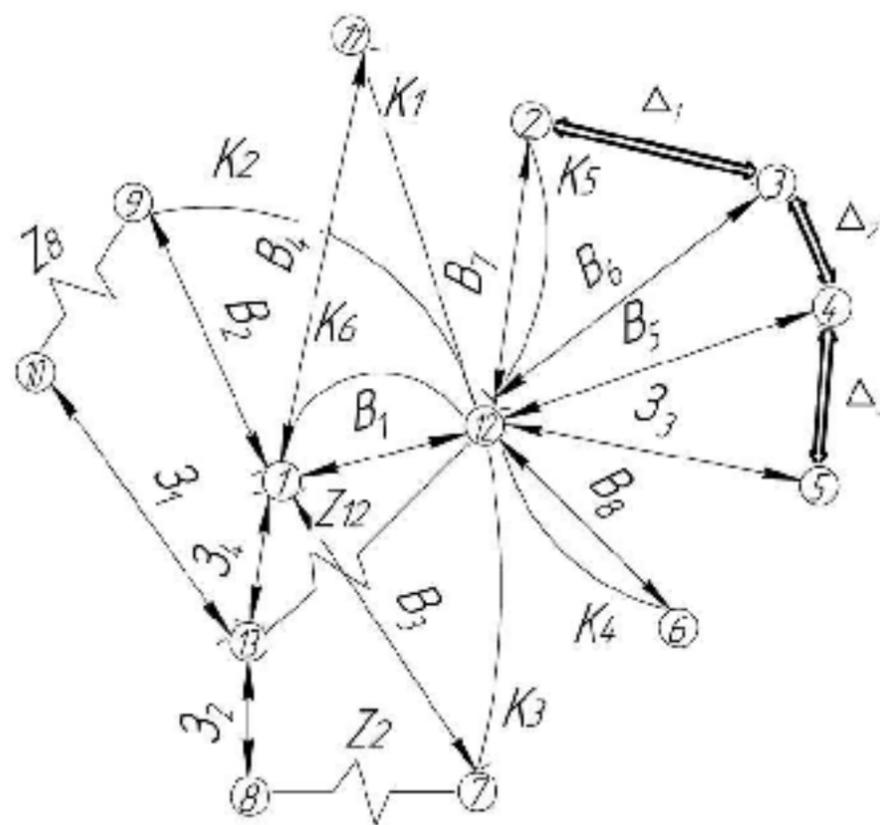


Рисунок 2.14 – Суміщений граф

### 2.8.5 Проміжні мінімальні припуски

Проміжні мінімальні припуски визначено нормативним методом на основі довідкових даних [8]:

$$Z_{\min 8} = 1,1 \text{ мм}; Z_{\min 12} = 1,1; Z_{\min 2} = 1,1 \text{ мм.}$$

### 2.8.6 Таблица рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Таблиця 2.14 – Таблица рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

№ рівняння	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що визначається
1	$-K_6 + B_1 = 0$	$K_6 = B_1$	$B_1$
2	$-K_4 + B_8 = 0$	$K_4 = B_8$	$B_8$
3	$-K_5 + B_7 = 0$	$K_5 = B_7$	$B_7$
4	$K_1 - B_1 + B_4 = 0$	$K_1 = B_1 - B_4$	$B_4$
5	$-K_2 - B_2 + B_1 = 0$	$K_2 = -B_2 + B_1$	$B_2$
6	$K_6 - K_3 - B_3 = 0$	$K_6 = K_3 + B_3$	$B_3$
7	$-z_{12} - B_1 + Z_4 = 0$	$z_{12} = -B_1 + Z_4$	$Z_4$
8	$-z_8 + B_2 - B_1 + Z_4 - Z_1 = 0$	$z_8 = B_2 - B_1 + Z_4 - Z_1$	$Z_1$
9	$-z_7 + B_3 - B_1 + Z_4 - Z_2 = 0$	$z_7 = B_3 - B_1 + Z_4 - Z_2$	$Z_2$
10	$-\Delta_1 + B_7 - B_6 = 0$	$\Delta_1 = B_7 - B_6$	$B_6$
11	$-\Delta_2 + B_6 - B_5 = 0$	$\Delta_2 = B_6 - B_5$	$B_5$
12	$-\Delta_3 + B_5 - B_1 + Z_4 - Z_3 = 0$	$\Delta_3 = B_5 - B_1 + Z_4 - Z_3$	$Z_3$

### 2.8.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків

Відповідно до наведени в табл. 2.14 рівнянь знаходимо значення технологічних розмірів:

- рівняння 1:

$$B_1 = K_6 = 96 \pm 0,5 \text{ (мм)};$$

- рівняння 2:

$$B_8 = K_4 = 42 \pm 0,3 \text{ (мм)};$$

- рівняння 3:

$$B_7 = K_5 = 75 \pm 0,05 \text{ (мм)};$$

- рівняння 4:

$$B_{4\min} = -K_{1\max} + B_{1\min} = -24,43 + 95,5 = 71,64 \text{ (мм)};$$

$$B_{4\max} = -K_{1\min} + B_{1\max} = -23,57 + 96,5 = 72,93 \text{ (мм)};$$

- рівняння 5:

$$B_{2\min} = -K_{2\max} + B_{1\min} = -28,44 + 95,5 = 67,06 \text{ (мм)};$$

$$B_{2\max} = -K_{2\min} + B_{1\max} = -27,66 + 96,5 = 68,84 \text{ (мм)};$$

- рівняння 6:

$$B_{3\min} = K_{6\min} - K_{3\max} = 95,5 - 35,69 = 59,81 \text{ (мм)};$$

$$B_{3\max} = K_{6\max} - K_{3\min} = 96,5 - 36,31 = 60,19 \text{ (мм)};$$

- рівняння 7:

$$Z_{12\min} = -B_{1\max} + Z_{4\min};$$

Оскільки невідомою у цьому рівнянні є ланка  $Z_4$ , то запишемо його відносно цієї ланки:

$$Z_{4\min} = Z_{12\min} + B_{1\max};$$

Підставивши числові значення відомих ланок, отримаємо:

$$Z_{4\min} = 1,1 + 96,5 = 97,6 \text{ (мм)};$$

$$Z_{4\max} = Z_{4\min} + T(Z_4) = 97,6 + 0,9 = 98,5 \text{ (мм)};$$

$$Z_{12\max} = Z_{4\max} - B_{1\min} = 98,5 - 96 = 2,5 \text{ (мм)}.$$

На кресленні заготовки має бути вказаний розмір:

$$Z_4 = Z_{4\text{ср}} \pm \frac{1}{2} T(Z_4) = \frac{Z_{4\max} + Z_{4\min}}{2} \pm \frac{1}{2} T(Z_4) = \frac{98,5 + 97,5}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot 0,9 = 98 \pm 0,45 \text{ (мм)};$$

- рівняння 8:

$$Z_{8 \min} = B_{2 \min} - B_{1 \max} + Z_{4 \min} - Z_{1 \max} ;$$

$$Z_{1 \min} = B_{2 \min} - B_{1 \max} + Z_{4 \max} - Z_{8 \min} = 27,56 - 96,5 + 97,6 - 1,1 = 27,56 \text{ (мм)};$$

$$Z_{1 \max} = Z_{1 \min} + T(Z_1) = 27,56 + 0,7 = 28,56 \text{ (мм)};$$

$$Z_{8 \max} = B_{2 \max} - Z_{1 \min} = 28,44 - 27,12 = 1,32 \text{ (мм)};$$

- рівняння 9:

$$Z_{7 \min} = B_{3 \min} - B_{1 \max} + Z_{4 \min} - Z_{2 \max} ;$$

$$Z_{2 \min} = B_{3 \max} - B_{1 \max} + Z_{4 \max} - Z_{7 \min} = 35,69 - 96,5 + 97,6 - 1,1 = 35,69 \text{ (мм)};$$

$$Z_{2 \max} = Z_{2 \min} + T(Z_2) = 35,69 + 0,7 = 36,39 \text{ (мм)};$$

$$Z_{7 \max} = B_{3 \max} - Z_{2 \min} = 36,31 - 34,28 = 2,03 \text{ (мм)};$$

- рівняння 10:

$$\Delta_1 = B_7 - B_6 .$$

Ланкою замикання цього рівняння є розмір  $\Delta_1$ . Вважатимемо, що:

$$(\Delta_1)_{\text{ном}} = (\Delta_1)_{\text{сер}} = 0 ,$$

де  $(\Delta_1)_{\text{сер}}$  – середнє значення розміру  $\Delta_1$ .

Таким чином,

$$B_{7 \text{ ном}} = B_{7 \text{ сер}} = B_{6 \text{ ном}} = B_{6 \text{ сер}} = 75 \text{ (мм)} .$$

З урахуванням того, що поле допуску розміру  $B_6$  має бути розташоване симетрично відносно  $B_{6 \text{ сер}}$ , в технологічному документі слід вказати розмір

$$B_{6 \text{ сер}} \pm \frac{1}{2} T(B_6) , \text{ тобто } 75 \pm 0,2 \text{ (мм)} .$$

- рівняння 11:

$$\Delta_2 = B_6 - B_5 ;$$

Ланкою замикання цього рівняння є розмір  $\Delta_2$ . Вважатимемо, що:

$$(\Delta_2)_{\text{ном}} = (\Delta_2)_{\text{сер}} = 0,$$

де  $(\Delta_2)_{\text{сер}}$  – середнє значення розміру  $\Delta_2$ .

Таким чином,

$$B_{6 \text{ ном}} = B_{6 \text{ сер}} = B_{5 \text{ ном}} = B_{5 \text{ сер}} = 75 \text{ (мм)}.$$

З урахуванням того, що поле допуску розміру  $B_5$  має бути розташоване симетрично відносно  $B_{5 \text{ сер}}$ , в технологічному документі слід вказати розмір

$$B_{5 \text{ сер}} \pm \frac{1}{2}T(B_5), \text{ тобто } 75 \pm 0,1 \text{ (мм)}.$$

- рівняння 12:

$$\Delta_3 = B_5 - B_1 + Z_4 - Z_3.$$

Ланкою замикання цього рівняння є розмір  $\Delta_3$ . Вважатимемо, що

$$(\Delta_3)_{\text{ном}} = (\Delta_3)_{\text{сер}} = 0,$$

де  $(\Delta_3)_{\text{сер}}$  – середнє значення розміру  $\Delta_3$ .

Таким чином,

$$Z_{3 \text{ min}} = B_{5 \text{ min}} - B_{1 \text{ max}} + Z_{4 \text{ min}} = 75 - 96,5 + 97,6 = 76,1 \text{ (мм)};$$

$$Z_{3 \text{ max}} = Z_{3 \text{ min}} + T(Z_3) = 76,1 + 0,9 = 77 \text{ (мм)}.$$

Результати розмірного аналізу, зокрема значення проміжних технологічних розмірів, розміри вихідної заготовки та максимальні припуски, наведені в табл. 2.15-2.16.

Таблиця 2.15 – Максимальні припуски

$z_{7,max}$ , мм	$z_{8,max}$ , мм	$z_{12,max}$ , мм
2,03	1,32	2,5

Таблиця 2.16 – Значення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, мм

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номинальний розмір	Значення розміру у технологічному у документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
	мін. розмір	макс. розмір				
B <sub>1</sub>	95,5	96,5	1	96	96±0,5	-
B <sub>2</sub>	67,78	68,84	1,04	68,32	68,32±0,52	-
B <sub>3</sub>	59,57	60,19	0,62	59,88	59,88±0,31	-
B <sub>4</sub>	71,64	72,93	0,86	72,07	72,07±0,43	-
B <sub>5</sub>	74,8	75,2	0,4	75	75±0,2	-
B <sub>6</sub>	74,9	75,1	0,2	75	75±0,1	-
B <sub>7</sub>	74,95	75,05	0,1	75	75±0,05	-
B <sub>8</sub>	41,7	42,3	0,6	42	42±0,3	-
Z <sub>1</sub>	27,56	28,26	0,7	27,91	-	27,91±0,35
Z <sub>2</sub>	35,69	36,39	0,7	36,04	-	36,04±0,35
Z <sub>3</sub>	76,1	77	0,9	76,55	-	76,55±0,45
Z <sub>4</sub>	97,6	98,5	0,9	98,05	-	98,05±0,45

## 2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

Визначимо припуски і технологічні розміри при обробці поверхні  $\varnothing 30K8^{+0,010}_{-0,023}$  на операції 015. Схема базування з розмірними ланцюгами показана на рис. 2.15.

Значення  $R_z$  і  $h$  після переходів обробки отвору  $\varnothing 30K8^{+0,010}_{-0,023}$  [1]:

- у вихідній заготовці складають відповідно 100 мкм і 200 мкм;
- після розточування попереднього – 50 мкм і 50 мкм;
- після розточування попереднього – 20 мкм і 25 мкм.

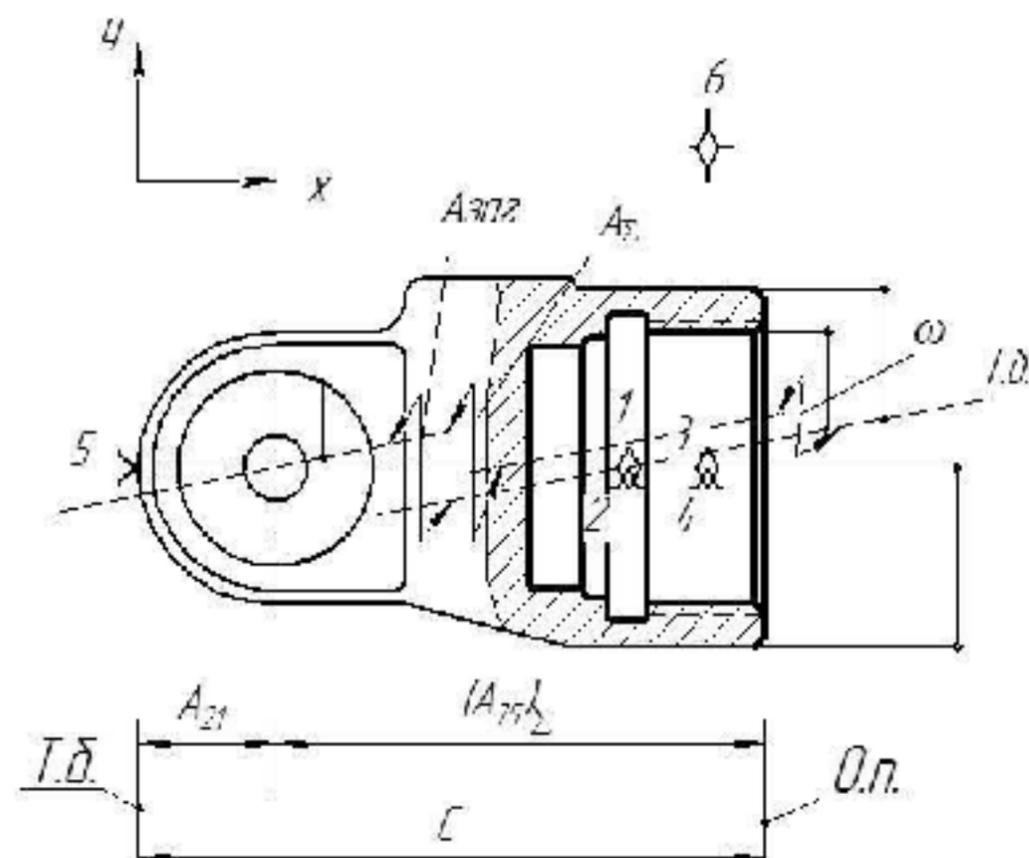


Рисунок 2.15 – Ескіз обробки (операція 015)

Жолоблення отвору:

$$\rho_{\text{жол}} = \sqrt{(\Delta_{\text{ж}} d)^2 + (\Delta_{\text{ж}} l)^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.14)$$

де  $\Delta_{\text{ж}} = 0,8$  мкм/мм – питоме жолоблення [1];

$d$ ,  $l$  – відповідно діаметр і довжина отвору.

Таким чином,

$$\rho_{\text{жол}} = \sqrt{(0,8 \cdot 30)^2 + (0,8 \cdot 15)^2} = 29 \text{ (мкм)}.$$

Знайдемо  $\rho_{\text{зм}}$ , як середньоквадратичне значення сумарних похибок механічної обробки розмірів, тобто

$$\rho_{\text{зм}} = \sqrt{\varepsilon_6 (A_{75})^2 + \omega (A_{75})^2} = \sqrt{520^2 + 160^2} = 544 \text{ (мкм)};$$

$$\varepsilon_{6_{75}} = T(C) + T(A_{21}) = 0 + 0,52 = 0,52 \text{ (мкм)};$$

$$\omega(A_{75}) = 160 \text{ (мкм)};$$

$$\rho_{zm_y} = \sqrt{T(A_{zaz})^2 + \omega_y^2} = \sqrt{870^2 + 500^2} = 1003(\text{мкм});$$

$$T_{zaz} = 0,87(\text{мм}) = 870(\text{мкм});$$

$$\omega_y = 0,5(\text{мм}) = 500(\text{мкм});$$

$$\rho_{zm} = \sqrt{\rho_{zm_x}^2 + \rho_{zm_y}^2} = \sqrt{544^2 + 1003^2} = 1141(\text{мкм});$$

$$\rho_{zaz} = \sqrt{(29)^2 + (1141)^2} = 1141(\text{мкм}).$$

Залишкове значення просторових відхилень:

- після розточування попереднього  $\rho_1 = 0,05 \cdot 1141 = 57$  мкм;

- після розточування остаточного  $\rho_2 = 0,05 \cdot 57 = 3$  (мкм).

Похибка встановлення:

$$\varepsilon_B = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{пр}^2} \quad [\text{мкм}], \quad (2.15)$$

де  $\varepsilon_6$ ,  $\varepsilon_3$  і  $\varepsilon_{пр}$  – відповідно похибка базування, закріплення і пристрою.

Похибки  $\varepsilon_3$  та  $\varepsilon_{пр}$  не розглядаємо (для етапу визначення припусків).

Тоді формулу (2.15) можна записати:

$$\varepsilon_B = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} \quad [\text{мкм}]. \quad (2.16)$$

Визначимо похибку базування  $\varepsilon_{6_x}$  у напрямі осі X.

Величина  $T(A_\delta)$  дорівнює максимально можливному зміщенню осі отвору у вихідній заготовці, яке виникає внаслідок зазору між отвором  $\text{Ø}45H8$  та оправкою  $\text{Ø}45g6$ . Отже, похибка базування в даному напрямі чисельно дорівнює максимальному зазору в посадці.

Максимальний зазор визначається як різниця між найбільшим граничним розміром отвору  $D_{\max}$  та найменшим граничним розміром оправки  $d_{\min}$ , тобто

$$\varepsilon_{\delta_x} = T(A_{\delta}) = D_{\max} - d_{\min} \quad [\text{МКМ}]. \quad (2.17)$$

Таким чином

$$\varepsilon_{\delta_x} = 45,039 - 44,975 = 0,064(\text{мм}) = 64(\text{МКМ});$$

Оскільки за прийнятої схеми встановлення сили затискання спрямовані у напрямі осі  $Y$ , то похибка закріплення у напрямі осі  $X$  відсутня. Таким чином, похибка встановлення у напрямі осі  $X$ :  $\varepsilon_{\delta_x} = \varepsilon_{\delta_x} = 64 \text{ МКМ}$ .

Знайдемо похибку встановлення у напрямі осі  $Y$  ( $\varepsilon_{\delta_y}$ ).

Оскільки сили закріплення спрямовані паралельно осі  $Y$ , у цьому напрямі виникає похибка закріплення, величина якої складає 90 МКМ. Отже, похибка встановлення у напрямі осі  $Y$  дорівнює  $\varepsilon_{\delta_y} = \varepsilon_{\delta_y} = 90 \text{ МКМ}$ .

Похибка встановлення:

- при розточуванні попередньому  $\varepsilon_{\sigma_1} = \sqrt{64^2 + 90^2} = 110(\text{МКМ});$
- при розточуванні попередньому  $\varepsilon_{\sigma_2} = 0,05 \cdot 110 = 6(\text{МКМ});$
- при розточуванні остаточному  $\varepsilon_{\sigma_3} = 0,05 \cdot 5,5 = 0,3(\text{МКМ}) \approx 0;$

Розрахункові мінімальні проміжні припуски [1]:

$$2z_{\min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{\sigma_i}^2}), [\text{МКМ}] \quad (2.18)$$

- попереднього

$$2z_{\min} = 2(100 + 200 + \sqrt{1141^2 + 110^2}) = 2 \cdot 1346(\text{МКМ});$$

- попереднього

$$2z_{\min} = 2(50 + 50 + \sqrt{57^2 + 6^2}) = 2 \cdot 157 (\text{мкм});$$

- остаточного

$$2z_{\min} = 2(20 + 25 + \sqrt{3^2}) = 2 \cdot 48 (\text{мкм}).$$

Оскільки розрахований мінімальний припуск для розточування остаточного може бути меншим за мінімальну товщину стружки, яку здатен зняти різець, приймаємо мінімально допустимий припуск. Таким чином, остаточно  $2z_{\min} = 2 \cdot 75 = 150$  (мкм).

Таблиця 2.17 – Розрахунок припусків і технологічних розмірів на механічну обробку  $\varnothing 30\text{K}8\left(\begin{smallmatrix} +0,010 \\ -0,023 \end{smallmatrix}\right)$  (мм) [1]

Технологічні переходи обробки отвору $\varnothing 30\text{K}8\left(\begin{smallmatrix} +0,010 \\ -0,023 \end{smallmatrix}\right)$	Елементи припуску, мкм				Розрахований мінімальний припуск $2z_{\min}$ , мкм	Розрахунковий розмір $d_p$ , мм	Допуск $T$ , мкм	Граничні значення технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	$Rz$	$h$	$\rho$	$\varepsilon_B$				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2z_{\min}$	$2z_{\max}$
Заготовка (випуск)	100	200	1141	–	–	26,854	700	26,15	26,85	–	–
Розточування попереднє	50	50	57	110	2·1346	29,546	130	29,42	29,55	2,7	3,27
Розточування попереднє	20	25	3	6	2·157	29,86	52	29,81	29,86	0,31	0,39
Розточування остаточне	3	-	-	0	2·75	30,01	33	29,97	30,01	0,15	0,17
Загальний припуск										3,16	3,83

## 2.10 Призначення режимів різання

Операція 015 вертикально-фрезерна з ЧПК (верстат ЛТ260МФ3).

Перехід 2. Фрезерувати площини 1 та 2 в розмір згідно ескізу.

Ріжучий інструмент – фреза дискова  $D = 100$  мм;

Глибина різання складає –  $t = 1,4$  мм, так як одночасно обробляються дві сторони деталі.

Потужність верстату  $N_{дв} = 5,5$  кВт.

Подача –  $S_z = 1,4$  мм/об. [17-20].

Корегуючи по паспорту верстата, приймаємо  $S_z = 1,4$  мм/об.

Період стійкості фрези  $T = 120$  хв.

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot B^u \cdot z^p \cdot s^y} \cdot K_v, \text{ [м/хв]} \quad (2.19)$$

де  $C_v = 1340$ ;  $q = 0,2$ ;  $y = 0,12$ ;  $m = 0,35$ ;  $p = 0$ ;  $x = 0,4$ ;  $u = 0$  – коефіцієнти для розрахунку швидкості різання.

$K_v$  – загальний поправковий коефіцієнт для швидкості різання.

Загальний поправковий коефіцієнт:

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{PV} \cdot K_{IV}, \quad (2.20)$$

де  $K_{MV} = 1$  – коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу;

$K_{PV} = 1$  – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки;

$K_{IV} = 0,9$  – коефіцієнт, який враховує матеріал інструмента.

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,9;$$

$$V = \frac{740 \cdot 100^{0,2}}{120^{0,35} \cdot 1,4^{0,4} \cdot 45^0 \cdot 10^0 \cdot 1,4^{0,12}} \cdot 0,9 = 292,1 \text{ (м/хв)}.$$

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 292,1}{3,14 \cdot 100} = 930,3 \left( \frac{\text{об}}{\text{хв}} \right);$$

Прийнято (згідно паспортних даних верстата)  $n = 1050$  об/хв., тоді дійсна швидкість:

$$V = \frac{n \cdot \pi \cdot D}{1000} = \frac{1050 \cdot 3,14 \cdot 100}{1000} = 330 \left( \frac{\text{м}}{\text{хв}} \right);$$

Осьову силу різання під час фрезерування:

$$P_z = \frac{10 C_p \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}, \text{ [Н]} \quad (2.21)$$

де  $C_p = 261$ ;  $x = 0,9$ ;  $q = 1,1$ ;  $y = 0,8$ ;  $u = 1,1$ ;  $w = 0,1$  – коефіцієнти для розрахунку сили різання;

$K_{mp} = 1$  – коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу.

$$P_z = \frac{10 \cdot 261 \cdot 1,4^{0,9} \cdot 0,12^{0,8} \cdot 45^{1,1} \cdot 10}{100^{1,1} \cdot 1050^{0,1}} \cdot 1 = 1012,5 \text{ (Н)}.$$

Потужність різання:

$$N_{\text{таб}} = P_z \cdot V / (1020 \cdot 60) = 1012,5 \cdot 330 / (1020 \cdot 60) = 5,1 \text{ (кВт)}.$$

Операція 010 токарно-револьверна з ЧПК (верстата 1В340Ф30).

Перехід 3: свердлити отвір  $\varnothing 14$  мм.

Ріжучий інструмент: свердло спіральне Р6М5 ГОСТ 10903-77 ( $2\varphi=118^\circ$ ; форма підточки – Н).

Глибина різання:

$$t = \frac{d}{2} = \frac{14}{2} = 7 \text{ (мм)}$$

Призначаємо подачу.

Глибина свердління відноситься до діаметра:  $l/d=24/14<5$ , отже, поправковий коефіцієнт для визначення подачі буде рівний  $K_{ls}=0,8$ , отже, подача буде рівна:

$$S_0 = S_{маб} \cdot K_{ls} = 0,51 \cdot 0,8 = 0,41 \text{ (мм/об)}.$$

Корегуючи по паспорту верстата, приймаємо  $S_0 = 0,41$  мм/об.

Період стійкості свердла:  $T = 25$  хв.

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v, \text{ [м/хв]} \quad (2.22)$$

де  $C_v = 7$ ;  $q = 0,4$ ;  $y = 0,7$ ;  $m = 0,2$  – складові швидкості різання.

$K_v$  – загальний поправковий коефіцієнт для швидкості різання, який враховує фактичні умови різання. Загальний поправковий коефіцієнт визначається за формулою:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{lv} \cdot K_{nv}, \quad (2.23)$$

де  $K_{lv} = 1$  – коефіцієнт, який враховує глибину свердління;

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1;$$

$$V = \frac{7 \cdot 14^{0,4}}{25^{0,2} \cdot 0,41^{0,7}} \cdot 1 = 20,37 \text{ (м/хв)}.$$

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 20,37}{3,14 \cdot 14} = 463,4 \left( \frac{\text{об}}{\text{хв}} \right);$$

Згідно паспортних даних приймаємо  $n=400$  об/хв, тоді дійсна швидкість:

$$V = \frac{n \cdot \pi \cdot D}{1000} = \frac{400 \cdot 3,14 \cdot 14}{1000} = 17,58 \left( \frac{\text{м}}{\text{хв}} \right);$$

Крутний момент під час свердління:

$$M_{кр} = 10 C_M \cdot s^y \cdot D^q \cdot K_p, \text{ [Н}\cdot\text{м]} \quad (2.24)$$

де  $C_M = 0,0345$ ;  $q = 2$ ;  $y = 0,8$  – складові крутного моменту;

$K_p$  – загальний поправковий коефіцієнт для крутного моменту, який враховує фактичні умови різання, в даному випадку він залежить тільки від матеріалу оброблюваної заготовки та визначається з рівності:

$$K_p = K_{MP},$$

де  $K_{MP} = 1$  – коефіцієнт, який враховує матеріал оброблюваної заготовки.

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 0,16^{0,8} \cdot 14^2 \cdot 1 = 15,6 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Визначаємо потужність різання при заданих режимах різання:

$$N_{таб} = M_{кр} \cdot n / 9750 = 15,6 \cdot 400 / 9750 = 0,64 \text{ (кВт)} < N_{верст}.$$

Максимальна потужність яка потрібна для переходу свердління отвору складає 12 кВт, що менше допустимого значення по верстату. Отже, встановлені режими різання можуть бути здійснені на даному верстаті.

Операція 005 токарно-револьверна (верстата 1В340Ф30).

Потужність електродвигуна  $N_d = 15$  кВт.

Пристосування: трикулачковий самоцентрувальний патрон.

На переході 1 виконується точіння торцю 2 однократно, точіння фаски 1 однократно по контуру .

При цьому знімаються припуски:

поверхня 2 – припуск 2,5 мм;

Різальний інструмент: Різець прохідний Т15К6; переріз державки 25×25 мм;  $\gamma=120$ ;  $\lambda=6$ ;  $\phi=45^\circ$ ;  $r=1$ мм .

При цьому рекомендована подача для точіння торців складає  $S_{от1}=0,43$  мм/об.

Але для того, щоб врахувати конкретні умови роботи інструмента визначимо комплекс коефіцієнтів [17-20].

Коефіцієнт, що залежить від виду інструментального матеріалу (в даному випадкові Т15К6) –  $K_{SU}=1,0$ ;

Коефіцієнт, що залежить від способу кріплення пластини (механічне кріплення) -  $K_{SP}=1,1$ ;

Коефіцієнт, що залежить від перерізу державки (25×25) -  $K_{SG}=1$ ;

Коефіцієнт, що залежить від міцності ріжучої частини інструменту, а саме від його товщини, що згідно рекомендацій прийнята рівною 6 мм -  $K_{sh}=1,0$ ;

Коефіцієнт, що враховує механічні властивості оброблюваного матеріалу -  $K_{sm}=1,15$ ;

Коефіцієнт, що враховує схему установки ( в трикулачковому самоцентрувальному патроні) -  $K_{sy}=1,2$ ;

Коефіцієнт, що залежить від стану поверхні -  $K_{sp}=1$ ;

Коефіцієнт, що враховує геометричні параметри різця -  $K_{S\phi}=1,4$ ;

Коефіцієнт, що враховує жорсткість верстату -  $K_{Sj}=0,75$ .

Загальний коефіцієнт становить:

$$K=1,0 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 0,75=1,59.$$

Відповідно подача складатиме:

$$S_{o1}=0,43 \cdot 1,59=0,684 \text{ (мм/об);}$$

Швидкість різання визначається за таблицями і складає  $V_{\text{різ1}}=172 \text{ (м/хв)}$ .

При цьому потужність складає  $N=6,84 \text{ (кВт)}$ .

Але для того щоб врахувати умови в яких виконується процес, вид інструменту і стан деталі введемо поправкові коефіцієнти [17-20].

Коефіцієнт, що враховує вид інструментального інструменту  $K_{vi}=1$ ;

Коефіцієнт, що враховує групу оброблюваності матеріалу  $K_{vc}=1$ ;

Коефіцієнт, що враховує жорсткість верстату  $K_{vj}=0,75$ ;

Коефіцієнт, що враховує механічні властивості оброблюваного матеріалу  $K_{vm}=1,3$ ;

Коефіцієнт, що враховує геометричні параметри різця  $K_{vp}=1$ ;

Коефіцієнт, що враховує період стійкості ріжучої частини інструменту  $K_{vt}=0,8$ ;

Коефіцієнт, що враховує наявність охолодження (без охолодження)  $K_{vj}=0,75$ ;

Коефіцієнт, що враховує вид обробки - для підрізання торцю:  $K_{vo}=1$ ;

Загальний коефіцієнт складає:

$$K_1=1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,75 \cdot 1=0,585.$$

Отже, швидкість різання складатиме:

$$V=172 \cdot 0,585=100,62 \text{ (м/хв.)}$$

Частота обертання шпинделя визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, [\text{об/хв}] \quad (2.25)$$

Відповідно отримаємо:

$$n_1 = 1000 \cdot 100,62 / 3,14 \cdot 55 = 582,63 \text{ (об/хв.)}$$

Оскільки на верстаті безступінчаста коробка швидкостей, то приймаємо частоту обертання:  $n_1 = 585$  об/хв.

Хвилинна подача визначається за формулою:

$$S_M = n \cdot S_o [\text{мм/хв}] \quad (2.26)$$

В даному випадкові отримаємо:

$$S_{M1} = 585 \cdot 0,684 = 400,14 \text{ (мм/хв.)}$$

Визначаємо фактичну швидкість різання,

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n_\phi}{1000} [\text{м/хв}], \quad (2.27)$$

$$V_\phi = \frac{3,14 \cdot 55 \cdot 585}{1000} = 101 \text{ (м/ хв.)}$$

Визначаємо фактичну потужність різання,

$$N_\phi = N \cdot \frac{V_\phi}{V} [\text{кВт}], \quad (2.28)$$

$$N_\phi = 6,84 \cdot \frac{101}{100,62} = 6,86 \text{ (кВт.)}$$

Максимальна потужність яка потрібна для переходу підрізання торця складає 6,86 кВт, що менше допустимого значення по верстату. Отже, встановлені режими різання можуть бути забезпечені на даному верстаті.

Всі отримані дані зводимо до таблиці 2.18, де розміщуємо величини режимів різання, які вибираємо за нормативними таблицями.

Таблиця 2.18 – Режими різання

Операція 005 – токарно-револьверна з ЧПК (верстат 1В340Ф30)						
Технологічні переходи і робочі ходи	d, мм	t, мм	S, мм\об	v, м/хв	N, кВт	n, об/хв
1	2	3	4	5	6	7
<u>2 перехід</u> Підрізати торець 1 і фаску 2 однократно	55	2,5	0,83	140	11	810
<u>3 перехід</u> Розточити отвір 4 попередньо, отвір 6 попередньо, отвір 7 однократно, підрізати торець 8 однократно.	43,6 38,76 37 37	1,65 0,58 0,8 1,1	0,45	185	8,2	1351
<u>4 перехід</u> Точити канавку 5	47,5	3,8	0,12	139	6,0	932
<u>5 перехід</u> Розточити фаску 3 однократно, отвір 4 остаточно, отвір 6 остаточно.	46 45 40	1,5 0,9 0,62	0,35	203	6,3	1436
<u>6 перехід</u> Нарізати різь в отворі 4.	45	1,15	1,5	158	1,56	1117
Операція 010 – токарно-револьверна з ЧПК (верстат 1В340Ф30)						
<u>2 перехід</u> Підрізати торець 1 однократно.	26	1,1	0,45	185	8,2	2300
<u>3 перехід</u> Центрувати отвір 2	5	1	0,3	16,6	1,23	1057
<u>4 перехід</u> Зенкувати фаску 3.	15	1	0,07	14,7	1,4	312
<u>5 перехід</u> Нарізати різь в отворі 2.	K3/8	1,5	1,5	27,4	0,73	622
Операція 015 – вертикально-фрезерна з ЧПК (верстат ЛТ260МФ3)						
<u>2 перехід</u> Фрезерувати площини 1 та 2 однократно.	100	1,4	1,4	330	5,1	1050

## Продовження таблиці 2.18

1	2	3	4	5	6	7
<u>3 перехід</u> Розточити отвір 3 однократно.	20	0,8	0,57	172	4,5	2500
<u>4 перехід</u> Фрезерувати отвір 4, і торець 6 однократно	29,55	1,62	2,88	153	5	1600
<u>5 перехід</u> Розточити отвір 4 попередньо.	29,86	0,195	0,56	172	4,3	1824
<u>6 перехід</u> Фрезерувати канавку 5 однократно.	32	1,25	0,6	37	3,5	368
<u>7 перехід</u> Розточити отвір 4 остаточно	30	0,085	0,38	227	4,7	2400

### 2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання

Оптимізація режимів різання [1] на переході 4 операції 005.

Всі способи оптимізації базуються на побудові математичної моделі процесу різання та його оптимізації.

В техніці застосовують метод оптимізації за допомогою лінійного програмування. Метод побудований на представленні рівнянь, які характеризують той чи інший процес у вигляді обмежень вибору з припустимих значень параметру об'єкта (режими різання) оптимальних значень по тій чи іншій функції, яка оцінюється.

Обмеження при виборі режимів різання:

- По стійкості різального інструмента;
- По потужності приводу головного руху;
- По найменшій частоті обертання шпинделя;
- По найбільшій частоті обертання шпинделя;
- По найменшій та найбільшій припустимій подачі;
- По шорсткості поверхні, яка отримується в процесі обробки.

За допомогою програми «Оптимізація режиму різання при точінні» [1] розраховуємо оптимальні режими різання на переході 4 операція 005.

Потрібно ввести наступні параметри:

Параметри верстату – потужність верстату (15 кВт), максимальну силу подачі (2300 Н), частота обертання шпинделя (12,5 – 1600 об/хв), повздовжня подача (0,07 – 0,7 мм/об);

Параметру процесу різання – глибина (3,8 мм), стійкість інструменту (60 хв), шорсткість поверхні (25Rz), діаметр деталі 50мм.

Радіус і кути різця –  $\phi = 45^\circ$ ,  $\phi_1 = 45^\circ$ ,  $r = 0,5$ ;

Матеріал заготовки – сталь 45;

Матеріал інструменту – T5K10.

Вікно оптимізації режимів різання зображено на рисунку 2.16.

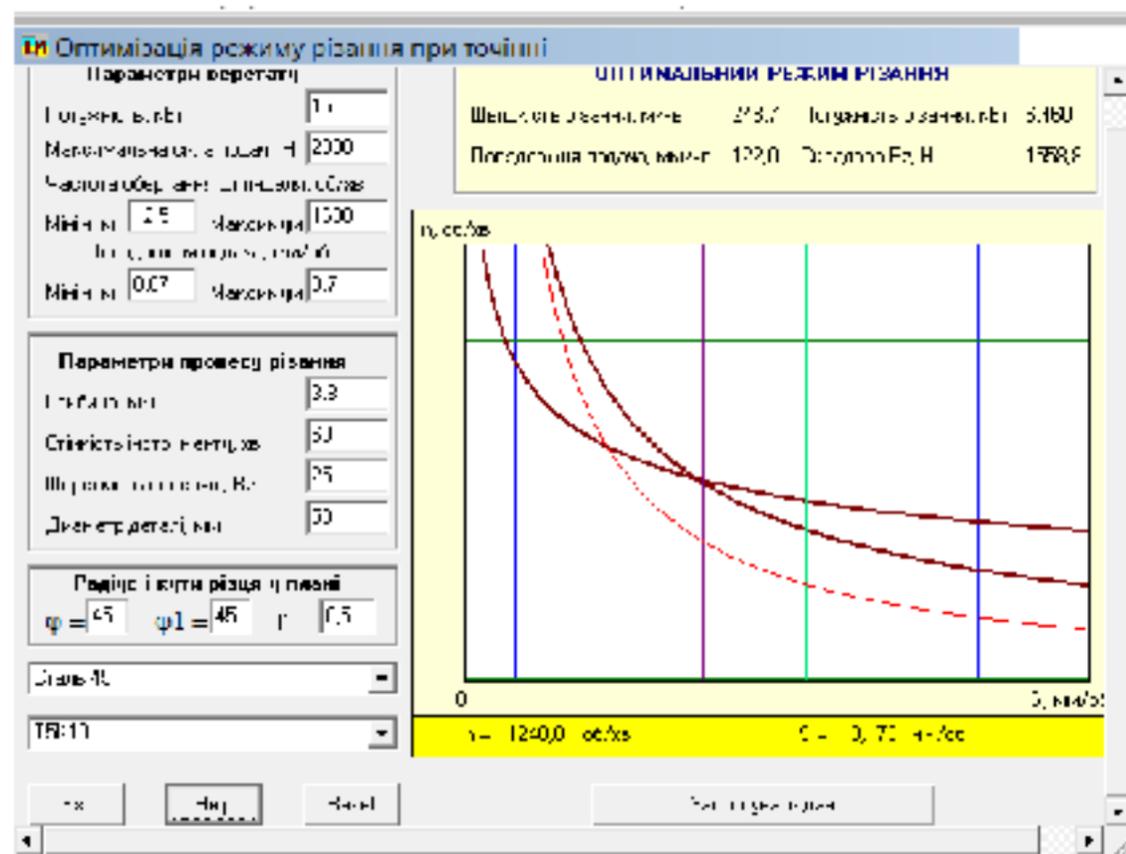


Рисунок 2.16 – Вікно оптимізації режимів різання на переході 4 операції 005

Зробивши аналіз отриманих даних видно, що оптимальним режимом різання на переході 4 операції 005 будуть такі дані: швидкість різання – 248,7 м/хв; подача – 122 мм/хв; потужність різання – 6,46 кВт; складова  $P_z$  (сила різання) – 1558,8 Н.

За допомогою програми «Оптимізація режиму різання при точінні» [1] розраховуємо оптимальні режими різання на переході 2 операція 010.

Потрібно ввести наступні параметри:

Параметри верстату – потужність верстату (15кВт), максимальну силу подачі (2300Н), частота обертання шпинделя (12,5 – 1600 об/хв), повздовжня подача (0,07 – 0,7 мм/об);

Параметру процесу різання – глибина (1,1 мм), стійкість інструменту (90 хв), шорсткість поверхні (25 Rz), діаметр деталі 26 мм.

Радіус і кути різця –  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 45^\circ$ ,  $r = 0,5$ ;

Матеріал заготовки – сталь 45;

Матеріал інструменту – Т5К10.

Вікно оптимізації режимів різання зображено на рисунку 2.17.

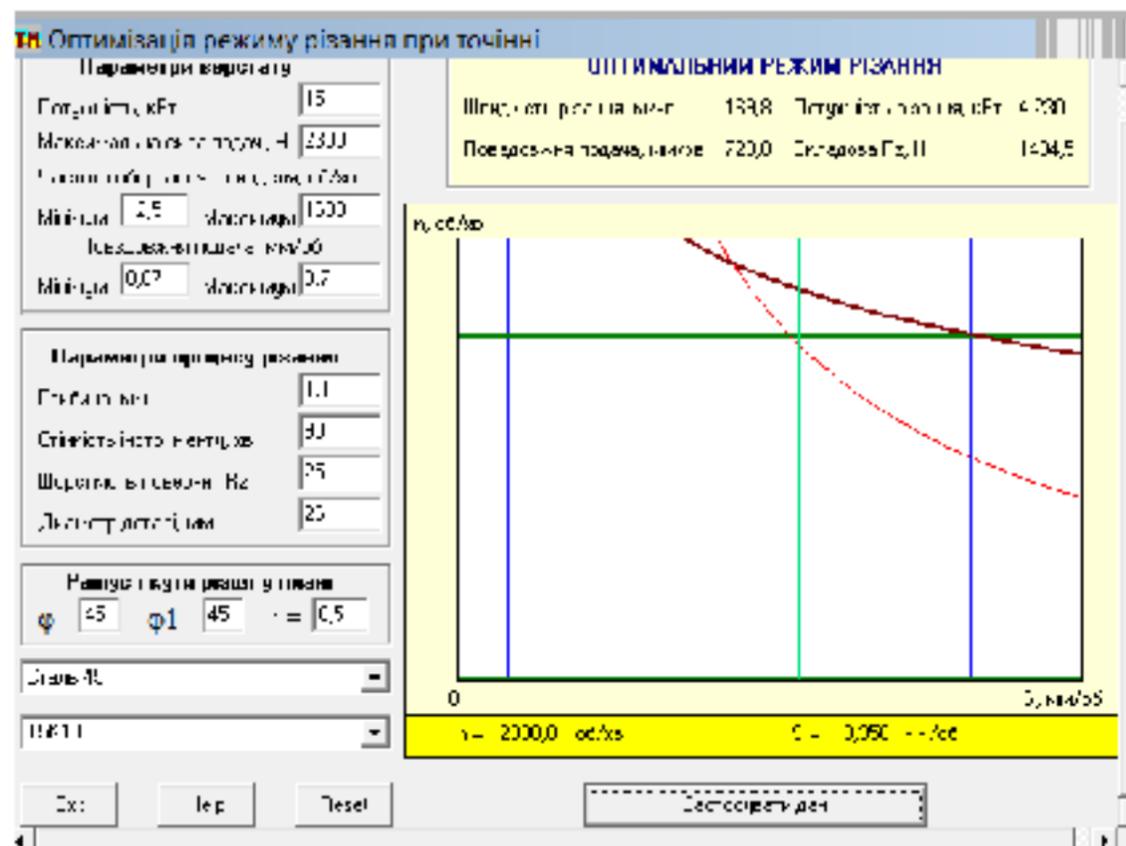


Рисунок 2.17 – Вікно оптимізації режимів різання на переході 2 операції 010

Зробивши аналіз отриманих даних видно, що оптимальним режимом різання на переході 2 операції 010 будуть такі дані: швидкість різання – 169,8 м/хв; подача – 728 мм/хв; потужність різання – 4,23 кВт; складова  $P_z$  (сила різання) – 1494,5 Н.

## 2.12 Визначення технічних норм часу

Норма штучно-калькуляційного часу  $T_{шт-к}$  [17-20]:

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{п.з}}{n}, \text{ [хв]} \quad (2.29)$$

де  $T_{п.з}$  – підготовчо-заклучний час;  $n$  – кількість деталей в партії;  $T_{шт}$  – норма штучного часу;

$$T_{шт} = T_o + T_{доп} + T_{об} + T_{відп}, \text{ [хв]} \quad (2.30)$$

де  $T_o$  – основний час;  $T_{доп}$  – допоміжний час;

$$T_{доп} = T_{ус} + T_{зак} + T_{уп} + T_{вим}, \text{ [хв]} \quad (2.31)$$

де  $T_{ус}$  – час на установку і зняття деталі;  $T_{зак}$  – час на закріплення і розкріплення деталі;  $T_{уп}$  – час на прийоми управління;  $T_{вим}$  – час на вимірювання деталі;  $T_{об}$  – час на обслуговування робочого місця;  $T_{відп}$  – час на відпочинок.

Визначимо всі складові які необхідні для розрахунку штучно-калькуляційного часу [1, 17-20].

Підготовчо-заклучний час ( $T_{п.з}$ ) визначається із нормативних таблиць, він залежить від типу верстата і довжини його столу. Для фрезерного верстата ЛТ260МФ3 підготовчо-заклучний час складе – 20,3 хв., для токарно-револьверного верстата 1В340Ф30 – 11,45 хв.

Для визначення основного часу для всіх операцій базового та удосконаленого ТП використаємо формулу:

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S}, \text{ [хв]} \quad (2.32)$$

де  $L=l+l_1$ ,

$l_1$  -врізання та перебіг;  $n$  – частота обертання;  $S$  – подача.

Таблиця 2.19 – Значення L для верстатів з ЧПК

№ переходу	Операція 005	Операція 010	Операція 015
	L, мм	L, мм	L, мм
2	18,7	17	152
3	61,8	6	7
4	7,37	30	15,7
5	35	7	16
6	24	15,5	15,7
7	-	-	16

Розраховуємо основний час.

- Операція 005:

$$T_{o_{005}} = \frac{18,7}{810 \cdot 0,83} + \frac{69,8}{1351 \cdot 0,45} + \frac{7,37}{300 \cdot 0,12} + \frac{35}{1436 \cdot 0,35} + \frac{24}{1117 \cdot 1,5} = 0,43(\text{хв});$$

- Операція 010:

$$T_{o_{010}} = \frac{17}{2300 \cdot 0,45} + \frac{6}{1057 \cdot 0,3} + \frac{30}{585 \cdot 0,68} + \frac{7}{312 \cdot 0,07} + \frac{15,5}{622 \cdot 1,5} = 0,44(\text{хв});$$

- Операція 015:

$$T_{o_{015}} = \frac{152}{1050 \cdot 1,4} + \frac{7}{2500 \cdot 0,57} + \frac{15,7}{1600 \cdot 2,88} + \frac{16}{1824 \cdot 0,56} + \frac{15,7}{368 \cdot 0,6} + \frac{16}{2400 \cdot 0,38} = 0,32(\text{хв});$$

Результати розрахунку основного часу наведені в таблиці 2.20.

Таблиця 2.20 – Значення основного часу для операцій

№ операції	005	010	015	Σ
Основний час $T_o$ , хв.	0,43	0,44	0,22	1,09

Час на установку і зняття деталі ( $T_{yc}$ ) залежить від типу затискного пристрою, способу закріплення (ручне чи автоматичне) та від розмірів деталі. Розглянемо операції базового та удосконаленого ТП:

Операція 005 - установка в 3-х кулачковому самоцентрувальному патроні з пневмоприводом,  $T_{vc} = 0,09$  (хв);

Операція 010 - установка в спеціальному пристосуванні,  $T_{yc} = 0,12$  (хв);

Операція 015 - установка в спеціальному пристосуванні,  $T_{yc} = 0,11$  (хв).

Час на закріплення і розкріплення ( $T_{зак}$ ) деталі залежить від способу закріплення та маси деталі. Розглянемо операції базового та удосконаленого ТП:

Операція 005 - закріплення деталі пневматичним 3-ох кулачковим патроном,  $T_{зак} = 0,03$  (хв);

Операція 010 - затискання в спеціальному пристосуванні,  $T_{зак} = 0,07$  (хв);

Операція 015 - затискання гідравлічними зажимами,  $T_{зак} = 0,03$  (хв).

В час на прийоми управління ( $T_{уп}$ ) залежить від типу верстата та переходів обробки, а також від виду подачі (ручна чи автоматична). Також він включає: час на зміну частоти обертання шпинделя, на зміну подачі, час на заміну інструменту.

В час на прийоми управління входить час на швидке підведення та відведення інструменту, час на заміну інструменту.

Кількість замін інструмента та затрачений на це час зведемо до таблиці 2.21.

Таблиця 2.21 – Час затрачений на заміну інструменту

№ операції	Кількість замін інст.	Час на заміну 1-го інст.	Загальний час на операцію
005	4	0,02	0,08
010	4	0,02	0,08
015	5	0,03	0,15

Знаходимо сумарний час на прийоми управління по операціях

технологічних процесів.

Результати розрахунків часу на прийоми управління верстатами зводимо до таблиці 2.22.

Таблиця 2.22 – Зведена таблиця часу на прийоми управління верстатами по операціях технологічного процесу

Номер операції	005	010	015
$T_{уп}$	0,08	0,08	0,15

Час на вимірювання деталі ( $T_{вим}$ ) визначається часом, який необхідно затратити на проведення вимірювання контрольно-вимірювальним приладом, він залежить від типу вимірювального приладу та від кінцевого розміру (проміжні розміри не контролюються) деталі, який контролюється. Маючи всі необхідні дані визначаємо час на вимірювання з нормативних таблиць, для удосконаленого та базового ТП даний час буде однаковим, тому що деталь одна і розміри, які необхідно контролювати теж однакові. Для зменшення часу на контроль будемо перевіряти кожну четверту деталь. Отримані результати зведемо в таблицю 2.23.

Таблиця 2.23 – Час на контрольні вимірювання

№ операції	Тип контрольно-вимірювального приладу	Контрольований розмір	Час вимірювання, хв.	Загальний час, хв	Загальний час поділ. на 10, хв
005	Калібр-пробка різьбова	M45x1,5-6H	0,48	0,48	0,048
010	Калібр-пробка різьбова	K3/8 ГОСТ61111-52	0,31	0,31	0,031
015	Калібр-пробка гладка	30	0,09	0,09	0,009

Час затрачений на технічне ( $T_{тех}$ ) та організаційне ( $T_{орг}$ ) обслуговування робочого місця залежить від типу верстата.

Для вертикально-фрезерного верста 6P13PФ13 8% і токарно-

револьверного 1В340Ф30 час на обслуговування складе 7% від оперативного.

Час на відпочинок ( $T_{\text{відп}}$ ) виділяється на особисті потреби працівника відповідає часу на обслуговування для всіх верстатів з ЧПК:

$$T_{\text{оп}_{005}} = T_o + T_d = 0,43 + 0,24 = 0,67(\text{хв});$$

$$T_{\text{оп}_{010}} = T_o + T_d = 0,44 + 0,3 = 0,74(\text{хв});$$

$$T_{\text{оп}_{015}} = T_o + T_d = 0,32 + 0,29 = 0,61(\text{хв}).$$

Тоді визначасмо штучний час.

$$T_{\text{шт}_{005}} = 0,43 + 0,24 + 0,04 + 0,04 = 0,75(\text{хв});$$

$$T_{\text{шт}_{010}} = 0,44 + 0,3 + 0,04 + 0,04 = 0,82(\text{хв});$$

$$T_{\text{шт}_{015}} = 0,32 + 0,29 + 0,03 + 0,03 = 0,67(\text{хв}).$$

Зведемо отримані результати в загальну таблицю 2.24.

Таблиця 2.24 – Зведена таблиця, хв.

№ опер.	$T_0$	Складові $T_d$				$T_{d\Sigma}$	$T_{\text{об}}$	$T_{\text{відп}}$	$T_{\text{шт}}$	$T_{\text{п-з}}$	n	$T_{\text{пз}}/n$	$T_{\text{шт-к}}$
		$T_{\text{уст}}$	$T_{\text{закр}}$	$T_{\text{уп}}$	$T_{\text{вим}}$								
005	0,43	0,09	0,03	0,08	0,048	0,24	0,04	0,04	0,75	11,45	1820	0,006	0,76
010	0,44	0,12	0,07	0,08	0,031	0,3	0,04	0,04	0,82	11,45		0,006	0,83
015	0,32	0,11	0,03	0,15	0,009	0,29	0,03	0,03	0,67	16,3		0,008	0,68
											$\Sigma$	2,27	

### 3 АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ТОЧНІСТЬ ДІАМЕТРАЛЬНОГО РОЗМІРУ ГОЛОВНОГО ОТВОРУ В СТАЛЕВІЙ ЗАГОТОВЦІ, ЯКИЙ ОБРОБЛЯЄТЬСЯ ОСТАТОЧНО ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ НА БАГАТОЦІЛЬОВОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПК

#### 3.1 Постановка задачі дослідження

Під час виконання завершальних переходів механічної обробки необхідною умовою роботи без браку є забезпечення умови

$$\varepsilon_{\Sigma} \leq T, \quad (3.1)$$

де  $\varepsilon_{\Sigma}$  – сумарна похибка обробки (поле розсіювання певного розміру, отриманого в результаті механічної обробки партії заготовок);

$T$  – допуск цього розміру.

**Мета дослідження** – виявлення рівнів впливу на сумарну похибку обробки елементарних похибок, що виникають під час тонкого розточування отворів різальним інструментом, оснащеним надтвердим матеріалом.

#### 3.2 Результати дослідження

Дослідження проведено на прикладі ТП виготовлення деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В» для умов серійного виробництва. Операційний ескіз показано на рис. 3.1. Розглядалась остаточна обробка (тонке розточування) отвору в розмір  $\varnothing 30 \text{ K } 8 \begin{pmatrix} +0,010 \\ -0,023 \end{pmatrix}$  мм.

Вважалось, що технологічні умови такі:

- тонке розточування виконується після чистового фрезерування по контуру отвору; фрезерування забезпечує розмір поверхні за  $IT10$  (для заданого номінального діаметрального розміру, величина допуску складає 84 мкм);

- партія заготовок обробляється настроєним на розмір інструментом (розточувальною оправкою); настроювання оправки на розмір обробки відбувається з використанням спеціального оптичного приладу (БВ2027 );
- матеріал різальної частини різця – полікристалічний надтвердий матеріал Гексаніт Р (Композит 10) на основі кубічного нітриду бора;
- матеріал деталі – сталь 40Л;
- термічна обробка – нормалізація, твердість НВ 156...217.

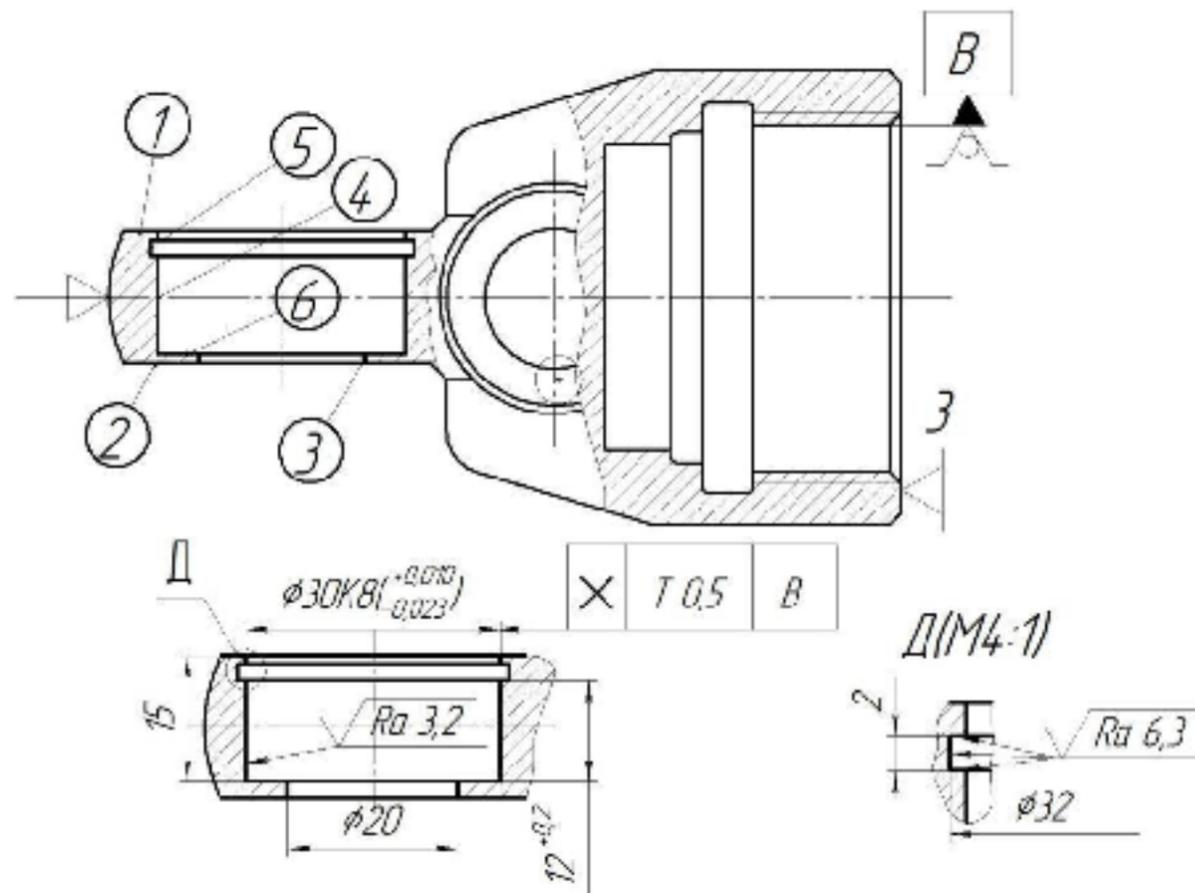


Рисунок 3.1 – Ескіз обробки

Вважалось також, що на багатоцільовому верстаті з ЧПК ЛТ260МФ3 з одного установа буде виконуватись як попереднє контурне фрезерування, так і остаточне (тонке) розточування головного отвору для отримання розміру  $\phi 30K8^{(+0.010 / -0.023)}$ .

Для діаметральних розмірів циліндричних поверхонь, отримуваних розточуванням за допомогою попередньо настроєного на розмір інструмента (головки або оправки), сумарну похибку згідно з [4] можна розрахувати за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_{\text{пл}})^2 + (K_2 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_4 \varepsilon_i)^2 + (K_5 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{т}})^2} \text{ [мкм]}, \quad (3.2)$$

де  $\varepsilon_{\text{пл}}$  – похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи;

$\varepsilon_{\text{н}}$  – похибка настроювання інструмента (вершини різцевої вставки) на розмір обробки;

$\varepsilon_i$  – похибка, зумовлена розмірним зносом різцевої вставки;

$\varepsilon_{\text{в}}$  – похибка, зумовлена геометричною неточністю верстата;

$\varepsilon_{\text{т}}$  – похибка, зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи.

$\frac{1}{K}$  – коефіцієнт, що залежить від бажаної гарантованої імовірності роботи без браку;

$K_1, K_2, K_4, K_5, K_6$ , – коефіцієнти, значення яких визначаються характером законів розподілу відповідних елементарних похибок.

Прийнято, що  $\frac{1}{K} = 1$ . Це відповідає гарантованій імовірності 0,9973 роботи без браку. Прийнято також, що похибки  $\varepsilon_{\text{пл}}$  та  $\varepsilon_{\text{н}}$  є випадковими похибками, і тому  $K_1 = K_2 = 1$ , а похибки  $\varepsilon_i, \varepsilon_{\text{в}}$ , і  $\varepsilon_{\text{т}}$  – є систематичними і тому  $K_4 = K_5 = K_6 = 1,73$ .

Визначимо елементарні похибки і сумарну похибку обробки отвору  $\varnothing 30 K 8 \begin{pmatrix} +0,010 \\ -0,023 \end{pmatrix}$  мм, що виникають в результаті фінішної обробки (тонкого розточування) на багатоцільовому верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФ3. Клас точності верстата – П.

Послідовно визначено елементарні похибки обробки. Усі елементарні похибки визначались на радіус (на сторону), а сумарна похибка – на діаметр.

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

$$\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}) \text{ [МКМ]}, \quad (3.3)$$

де  $\omega_{\Sigma}$  – сумарна податливість технологічної системи, яка враховує податливість елементів верстата, верстатного пристрою, розточувальної оправки та заготовки;

$P_{y_{\text{max}}}$  і  $P_{y_{\text{min}}}$  – відповідно найбільша і найменша величина складової сили різання, яка діє у напрямі нормалі до оброблюваної поверхні. Коливання величини сили різання спричиняється різною величиною реального припуску і, відповідно, глибини різання під час обробки різних заготовок деталей партії.

З урахуванням реальних технологічних умов вважатимемо, що податливість технологічної системи для випадку складе

$$\omega_{\Sigma} = \omega_0 + \omega_3, \quad (3.4)$$

де  $\omega_0, \omega_3$  – податливості розточувальної оправки та заготовки.

Податливість розточувальної оправки визначалась як податливість консольно закріпленої балки за формулою

$$\omega_p = \frac{L_p^3}{3E_p I_p}, \quad (3.4)$$

де  $E_p = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$  – модуль пружності матеріалу сталевго стрижня розточувальної оправки;

$I_p$  – момент інерції поперечного перетину стрижня оправки;

$L_p = 100 \text{ мм}$  – довжина стрижня оправки.

Оскільки стрижень розточувальної оправки має циліндричну форму, то її момент інерції визначається за формулою

$$I_p = \frac{\pi D_p^4}{64}, \quad (3.5)$$

де  $D_p$  – діаметр стрижня оправки.

Кількісне значення моменту інерції поперечного перетину стрижня оправки

$$I_p = \frac{3,14 \cdot 30^4}{64} = 40 \cdot 10^3 \text{ (мм}^4\text{)}.$$

Кількісне значення податливості оправки

$$\omega_o = \frac{100^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 40 \cdot 10^3} = 0,04 \cdot 10^{-3} \text{ (мм/Н)} = 0,04 \text{ (мкм/Н)}.$$

Оскільки заготовка має досить жорстку конструкцію, то вважалось, що  $\omega_s \approx 0$ .

Отже, податливість технологічної системи становить

$$\omega_\Sigma = \omega_o = 0,04 \text{ (мкм/Н)}.$$

На зміну величини  $P_y$  впливатиме зміна припуску на тонке розточування.

Вважалось, що на переході, який розглядається,  $t_{\max} = 0,19$  мм;  $t_{\min} = 0,1$  мм.

Силу  $P_y$  можна знайти за формулою

$$P_y = 10 C_{P_y} t^x s^y v^n k_{P_y} \text{ [Н]}. \quad (3.6)$$

де  $C_{P_y} = 54$ ;  $x = 0,9$ ;  $y = 0,75$ ;  $n = 0$ ;  $k_{P_y} = 1$  – коефіцієнти і показники степеня;

$v = 200$  м/хв. – швидкість різання;

$s = 0,07$  мм/об – подача;

$t$  – глибина різання, мм.

Для прийнятих технологічних умов отримано:  $P_{y_{\max}} = 26$  Н;  $P_{y_{\min}} = 13$  Н.

Визначена за формулою (3.3) величина похибки  $\varepsilon_{\text{пл}}$  склала  $\approx 2$  мкм.

Похибку настроєння  $\varepsilon_{\text{н}}$  визначалась за формулою [4]

$$\varepsilon_{\text{н}} = K_1 \sqrt{\varepsilon_{\text{р}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{\text{зм}}^2} \quad [\text{мкм}], \quad (3.7)$$

де  $\varepsilon_{\text{р}}$  – похибка регулювання положення вершини різцевої вставки;

$\varepsilon_{\text{вм}}$  – похибка вимірювання розміру отвору;

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

$K_1 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує відхилення законів розподілу похибок  $\varepsilon_{\text{р}}$ ,  $\varepsilon_{\text{вм}}$  і  $\varepsilon_{\text{зм}}$  від нормального закону розподілу.

Прийmemo, що оптичний прилад БВ2027 для настроювання різцевих вставок поза верстатом забезпечує регулювання вершини різцевої вставки з точністю 0,01 мм. Тобто, можна прийняти, що  $\varepsilon_{\text{р}} = 10$  мкм.

Похибка вимірювання  $\varepsilon_{\text{вм}} = 1$  мкм (вимірювання пробних заготовок здійснюється за допомогою нутроміра з індикатором годинникового типу з ціною поділки 1 мкм). Згідно з [4],  $\varepsilon_{\text{зм}} = \frac{\varepsilon_{\text{пл}}}{\sqrt{m}} = \frac{2}{\sqrt{5}} \approx 1$  (мкм).

Отже

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

Проаналізуємо вплив на точність обробки похибки, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента (різцевої вставки).

Спочатку розрахуємо похибку  $\varepsilon_{i_1}$ , що виникає через розмірний знос різця в процесі тонкого розточування отвору в одній заготовці за формулою.

$$\varepsilon_{i_1} = \frac{L_1 u_0}{1000}, \quad (3.8)$$

де  $L$  – довжина шляху, який проходить вершина розточувального різця під час обробки однієї заготовки;

$u_0 = 2,5$  мкм/км – відносний знос вершини різцевої вставки з Гексаніту Р.

З урахуванням того, що подача під час тонкого розточування складає 0,03 мм/об, то величина шляху різання  $L_1$  складе

$$L_1 = \frac{\pi D l}{1000 s} = \frac{3,14 \cdot 30 \cdot 15}{1000 \cdot 0,03} = 47 \text{ (м)}$$

Отже,

$$\varepsilon_{i_1} = \frac{47}{1000} \cdot 2,5 = 0,12 \text{ (мкм)}.$$

Спочатку визначимо кількість заготовок, яка може бути оброблена за період стійкості різцевої вставки за шорсткістю обробленої поверхні. Згідно з [6], шлях, який проходить різцева вставка за період стійкості, складає  $L_{с.ш.} = 40000$  м.

Кількість заготовок, яка може бути оброблена за період стійкості різцевої вставки за шорсткістю обробленої поверхні, складе

$$N = \frac{L_{с.ш.}}{L_1} = \frac{40000}{47} = 851 \text{ (шт.)}$$

Партія заготовок для одночасного запуску складає 1820 шт. З отриманого результату впливає, що за даних технологічних умов з точки зору

забезпечення необхідної шорсткості без переточування і настроювання різця можуть бути оброблені три партії заготовок (кожна – по 607 шт.)

Визначимо похибку  $\varepsilon_i$ , що виникатиме в результаті обробки  $N = 607$  заготовок.

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{i_1} N = 0,12 \times 607 = 73 \text{ (мкм)}.$$

Оскільки похибка  $\varepsilon_i$  суттєво перевищує допуск розміру оброблюваного отвору (33 мкм), то зменшимо кількість заготовок до 50 штук, які будуть оброблятися між переточуваннями і настроюваннями різця. У цьому випадку  $\varepsilon_i$  буде складати 6 мкм.

Оскільки заготовка нерухома, а обертається інструмент (розточувальна оправка), то вважатимемо, що  $\varepsilon_B = 0$ .

Похибка, що спричиняється тепловими деформаціями технологічної системи ( $\varepsilon_T$ ) для лезової обробки (згідно з [4]) складає близько 10% від суми інших похибок, тобто приймемо, що

$$\varepsilon_T = 0,1(2 + 12 + 6) = 2 \text{ (мкм)}.$$

За формулою (3.2) визначимо сумарну похибку обробки

$$\varepsilon_\Sigma = 2\sqrt{2^2 + 12^2 + (1,73 \cdot 6)^2 + (1,73 \cdot 2)^2} = 26 \text{ (мкм)}.$$

Отримане значення  $\varepsilon_\Sigma$  (поле розсіювання розміру  $\varnothing 30 K 8 \begin{pmatrix} +0,010 \\ -0,023 \end{pmatrix}$  мм) свідчить, що заданий допуск (33 мкм) на переході тонкого розточування за прийнятих технологічних умов забезпечуватиметься.

Співвідношення полів елементарних похибок і сумарної похибки показані на діаграмі (рис. 3.2).

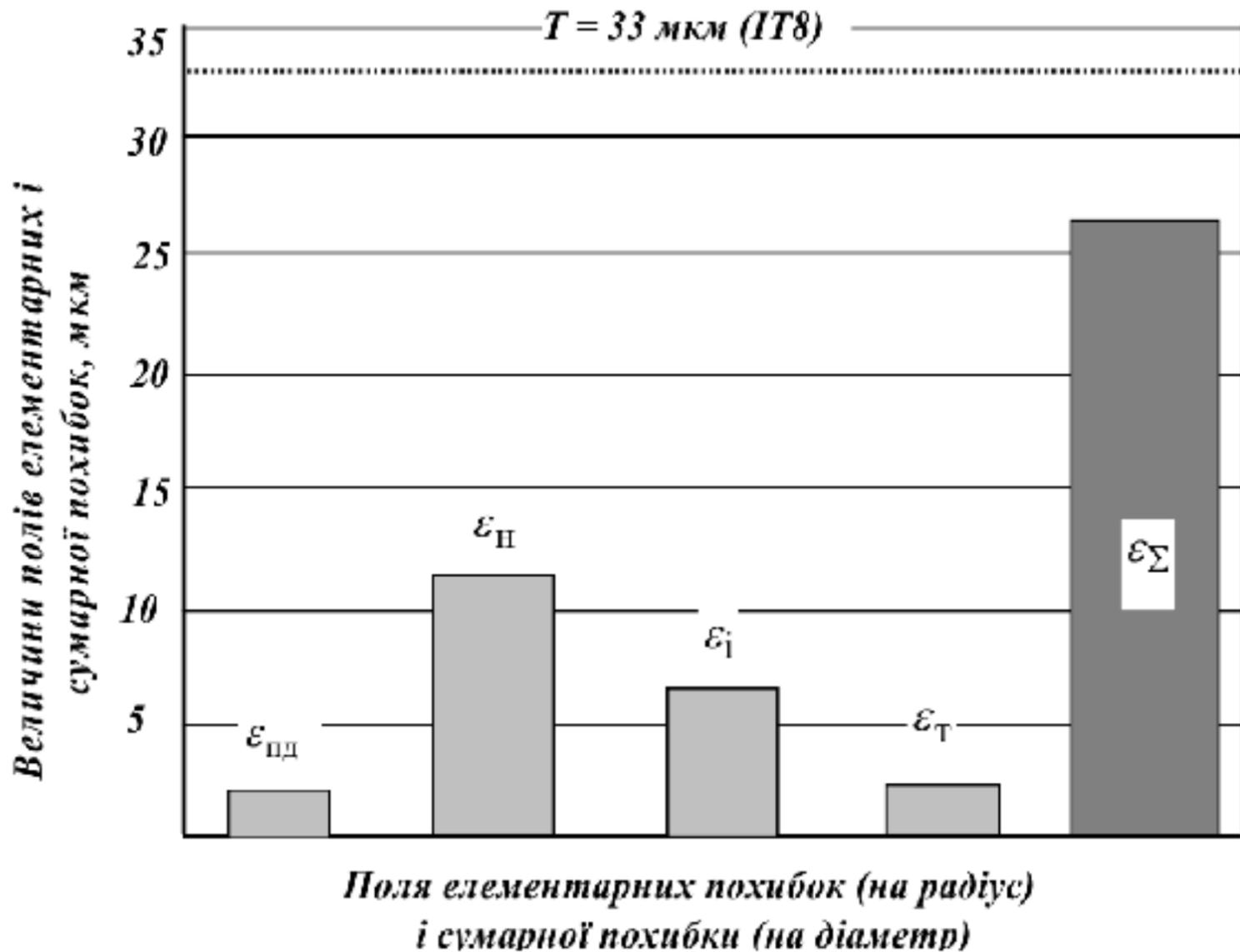


Рисунок 3.2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки

### 3.3 Висновки

1. Виконано аналіз показників точності, що забезпечуються тонким розточуванням отвору на багатоцільовому свердильно-фрезерно-розточувальному верстаті з ЧПК на прикладі механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В».

2. З отриманих результатів випливає, що за розглянутих технологічних умов на переході тонкого розточування може забезпечуватись 8 квалітет точності.

3. Найсуттєвіший вплив на точність обробки тонким розточуванням чинять похибка настроєння і похибка, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента.

4. Встановлено, що на переході тонкого розточування за період стійкості різця за шорсткістю (40000 м) за даних технологічних умов без переточування різця можуть бути оброблені 3 партії заготовок деталей (кожна – по 607 шт.)

5. 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  
«ГОЛОВКА ЦИЛІНДРА ЗАДНЯ Ц40.055-001В»**

4.1 Розрахунок приведеної програми

Розрахунок приведеної програми виконують згідно формули [3, 22]:

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

де  $N_i$  – програма випуску по кожному з найменувань деталей, зібраних у групу, шт.;

$K_{np,i}$  – коефіцієнт приведення по кожному з найменувань деталей, що зібрані у групу;

$n$  – кількість найменувань деталей, що зібрані в групу.

Коефіцієнт приведення розраховується за формулою:

$$K_{np,i} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (4.2)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт приведення за масою;

$K_2$  – коефіцієнт приведення за серійністю;

$K_3$  – коефіцієнт приведення за складністю.

Для визначення коефіцієнтів  $K_1, K_2, K_3$  скористаємося даними табл. 4.1, де подібні деталі об'єднані в групу.

Коефіцієнт приведення за масою [3, 22]:

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

де  $m$  – маса деталі розглядуваного виробу;

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

Таблиця 4.1 – Характеристика деталей приведеної програми

Деталі	Маса, кг	Програма, шт.	Точність IT/ Шорсткість Ra, мкм									
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Кришка циліндра (розрахунковий представник)	0,617	100000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	-	1	-	-	1	1	-	20	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	-	-	-	1	7	15	-	-	
Фланець	0,3085	19000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	-	4	-	-	-	2	-	20	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	-	-	-	4	4	18	-	-	
Верхня кришка	0,45	200000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	2	2	-	-	-	2	-	18	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	-	-	2	2	-	20	-	-	
Стакан	1,234	10000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	3	2	-	1	-	5	-	18	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	-	3	-	2	6	18	-	-	

Коефіцієнт приведення за серійністю:

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

де  $N_{pn}$  і  $N_i$  – програма випуску відповідно деталі (виробу) - розрахункового представника і розглядуваної деталі (виробу);

$\alpha$  – показник степені ( $\alpha = 0,15$  для об'єктів легкого і середнього машинобудування,  $\alpha = 0,2$  для об'єктів важкого машинобудування).

Коефіцієнт приведення за складністю  $K_3$ , що враховує точність, шорсткість, складність конструкції деталі та конструктивні показники. Для технологічно подібних деталей визначається за формулою:

$$K_3 = K_{31} \cdot K_{32}, \quad (4.5)$$

де  $K_{31}$  – коефіцієнт, що враховує різницю в точності оброблених поверхонь деталей;

$K_{32}$  – коефіцієнт, що враховує різницю в шорсткості оброблених поверхонь деталей.

Коефіцієнти  $K_{31}$  та  $K_{32}$  визначаються за формулами:

$$K_{31} = \left( \frac{\overline{K_{Ti}}}{K_{T.p.np}} \right)^{\alpha_1}, \quad (4.6)$$

$$K_{32} = \left( \frac{\overline{R_{ai}}}{R_{a.p.np}} \right)^{\alpha_2}, \quad (4.7)$$

де  $\overline{K_{Ti}}$  і  $\overline{K_{T.p.np}}$  – середні значення якості точності поверхонь деталі, що розглядається і деталі-розрахункового представника;

$\overline{R_{ai}}$  і  $\overline{R_{a.p.np}}$  – середні значення параметра  $R_a$  шорсткості поверхонь деталі, що розглядається і деталі-розрахункового представника.

Дані величини розраховуються за формулами:

$$\overline{K_T} = \frac{\sum_{i=1}^{n_n} K_{\gamma} n_{\gamma}}{\sum_{i=1}^{n_n} n_{\gamma}}, \quad (4.8)$$

$$\overline{R_a} = \frac{\sum_{i=1}^{n_r} R_{ak} n_k}{\sum_{i=1}^{n_r} n_k}, \quad (4.9)$$

де  $K_{\gamma}$  –  $\gamma$ -й квалітет;

$n_n$  – кількість розглянутих розмірів, що мають певні квалітети;

$n_\gamma$  – кількість розмірів  $\gamma$  – го квалітету;

$R_{ak}$  – значення  $R_a$  для  $k$  – ї поверхні деталі, мкм.;

$n_r$  – кількість розглянутих поверхонь, що мають певну шорсткість;

$n_k$  – кількість поверхонь, що мають значення  $R_a$ .

Результати розрахунків зведемо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Дані для розрахунку приведеної програми

Найменування виробу	Річний випуск, шт	Маса одного виробу, кг	Коефіцієнт приведення				Приведена програма випуску, шт.
			по масі	по серійності	по складності	загальний	
Головка циліндра	100000	0,617	1,0	1,0	1,0	1,0	100000
Кришка циліндра	120000	0,45	0,63	1,28	1,122	0,9	17100
Верхня кришка	600000	0,45	0,81	0,9	1,165	0,85	170000
Стакан	10000	1,234	1,58	1,41	1,206	2,68	26800
							313900

Отже, приведена програма:

$$N_{np} = \sum_{i=1}^n N_{i-1} \cdot K_{npi} = 100000 \cdot 1,0 + 19000 \cdot 0,9 + 200000 \cdot 0,85 + 10000 \cdot 2,68 = 313900 (\text{шт.})$$

#### 4.2 Визначення кількості верстатів, коефіцієнтів завантаження

Кількість верстатів по кожній операції [3, 22]:

$$C_{p_i} = \frac{T_{шт-к.р.пр_i} \cdot N_{np}}{F_d \cdot 60}, [\text{шт}] \quad (4.10)$$

де  $T_{шт-к.р.пр_i}$  – штучно калькуляційний час розрахункового представника на  $i$ -тої операції, хв.;

$N_{np}$  – приведена програма випуску деталей, шт.

$F_{\text{д}}$  – фонд часу роботи обладнання (для верстатів з ЧПК  $F_{\text{д}} = 3890$  год.);

$$C_{p005} = \frac{0,73 \cdot 313900}{3890 \cdot 60} = 0,98(\text{шт});$$

$$C_{p010} = \frac{0,83 \cdot 313900}{3890 \cdot 60} = 1,1(\text{шт});$$

$$C_{p015} = \frac{0,68 \cdot 313900}{3890 \cdot 60} = 0,91(\text{шт}).$$

Прийнята кількість обладнання на кожній операції механічної обробки:

$$C_{np005} = 1(\text{шт});$$

$$C_{np010} = 2(\text{шт});$$

$$C_{np015} = 1(\text{шт}).$$

Коефіцієнт завантаження верстатів для кожної з операції визначаємо за формулою:

$$\eta_z = \frac{C_p}{C_{np}}, \quad (4.11)$$

де  $C_p$ ,  $C_{np}$  – відповідно розрахована і прийнята кількість верстатів.

Таблиця 4.3 – Кількість обладнання та коефіцієнти завантаження

№ опер.	Назва операцій	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	$\eta_{z,i}$	$\eta_{z,сер.}$	$\eta_{o,i}$	$\eta_{o,сер.}$
005	Токарно-револьверна з ЧПК	0,98	1	0,98	0,75	0,86	0,79
010	Токарно-револьверна з ЧПК	1,1	2	0,55		0,86	
015	Вертикально-фрезерна з ЧПК	0,91	1	0,91		0,63	

### 4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

Графік завантаження обладнання показаний на рисунку 4.1.

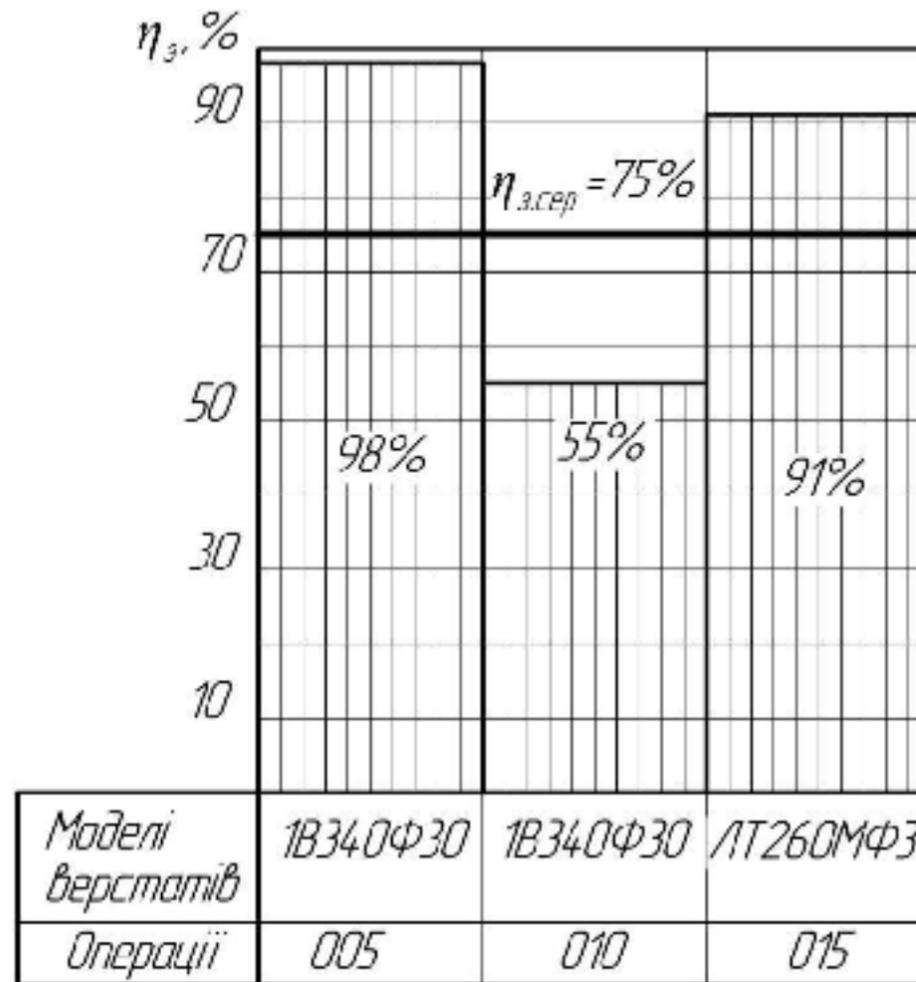


Рисунок 4.1 – Графік завантаження верстатів

Знайдемо середній коефіцієнт завантаження верстатів:

$$\eta_{з.сер.} = \frac{\sum C_p}{\sum C_{np}} = \frac{0,98 + 1,1 + 0,91}{1 + 2 + 1} = 0,75.$$

З аналізу графіка завантаження обладнання встановлено, що верстати на операціях 005 і 015 мають достатній рівень завантаження, тоді як на операції 010 необхідне довантаження верстата обробкою інших деталей для досягнення нормативного рівня завантаження.

Коефіцієнт використання обладнання за основним часом:

$$\eta_z = \frac{t_{осн}}{T_{шм.к}}, \quad (4.12)$$

Графік використання обладнання за основним часом показаний на рис. 4.2.

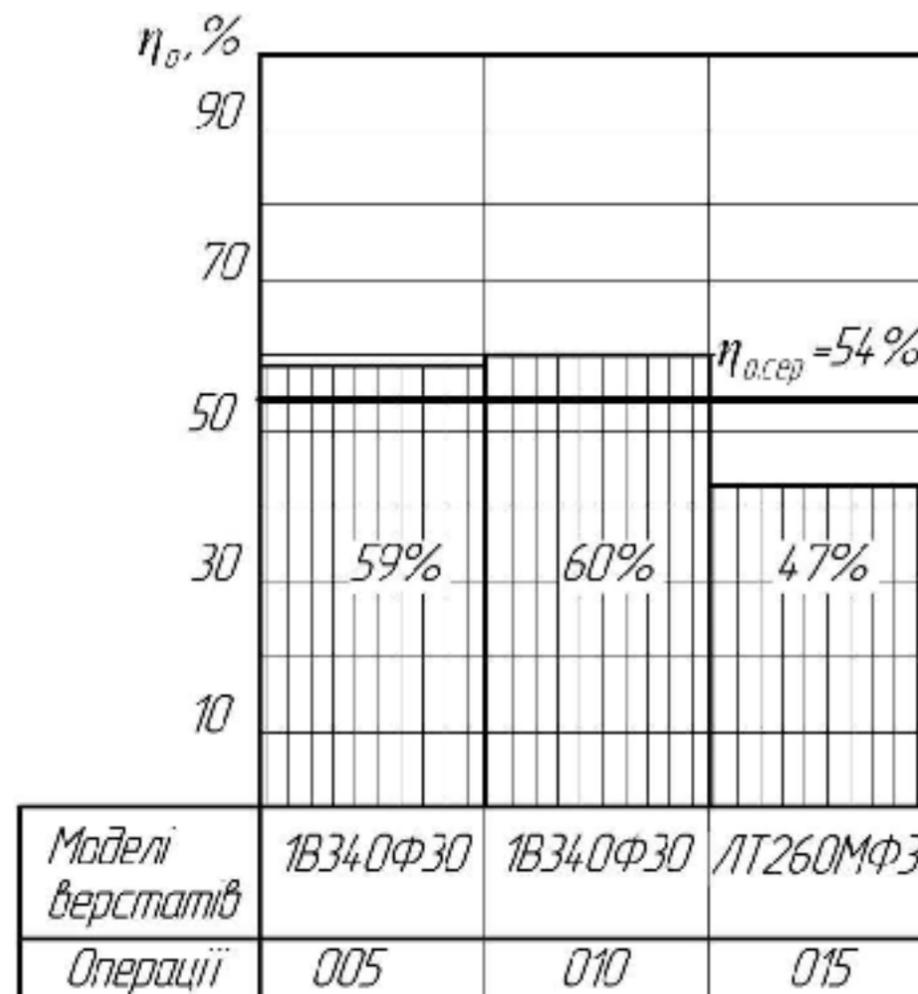


Рисунок 4.2 – Графік використання верстатів за основним часом

Високий рівень завантаження верстатів за основним часом підтверджує раціональність побудови технологічного процесу, оскільки переважна частина часу використовується на виконання операцій різання, тоді як допоміжний час, а також час на відпочинок і обслуговування робочого місця займають незначну частку загального фонду часу.

#### 4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці

Кількість основних робітників (верстатників) [3, 22]:

$$P_{\text{верст}} = \frac{C_{\text{пр}} \cdot F_{\text{д}} \cdot \eta_z \cdot \eta_v}{F_p \cdot K_M}, \quad (4.13)$$

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

$K_M$  – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування, для верстатів з програмним керуванням  $K_M = 1$ ;

$F_p$  – ефективний річний фонд часу робітника,  $F_p = 1820$  год.;

Розрахункова кількість основних робітників:

$$C_{p005} = \frac{C_{\text{пр}} \cdot F_{\text{д.в.}} \cdot \eta_z \cdot \eta_o}{F_{\text{д.р.}} \cdot K_M} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,98 \cdot 0,59}{1820 \cdot 1} = 1,24(\text{чол});$$

$$C_{p010} = \frac{C_{\text{пр}} \cdot F_{\text{д.в.}} \cdot \eta_z \cdot \eta_o}{F_{\text{д.р.}} \cdot K_M} = \frac{2 \cdot 3890 \cdot 0,55 \cdot 0,6}{1820 \cdot 1} = 1,41(\text{чол});$$

$$C_{p010} = \frac{C_{\text{пр}} \cdot F_{\text{д.в.}} \cdot \eta_z \cdot \eta_o}{F_{\text{д.р.}} \cdot K_M} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,91 \cdot 0,47}{1820 \cdot 1} = 0,91(\text{чол});$$

Прийнята кількість працюючих:

$$P_{005} = 2 \text{ чол.}; \quad P_{010} = 2 \text{ чол.}; \quad P_{015} = 1 \text{ чол.}$$

Загальна кількість основних робітників:

$$P_{\text{осн}} = P_{005} + P_{010} + P_{015}, \quad (4.14)$$

$$P_{\text{осн}} = 2 + 2 + 1 = 5 \text{ (чол.)}$$

Кількість допоміжних робітників:

$$P_{\text{доп}} = P_{\text{осн}} \cdot 25 \% \text{ [чол.]}, \quad (4.15)$$

$$P_{\text{доп}} = 5 \cdot 0,25 = 1,25 \text{ (чол.)}$$

Прийнято 2 допоміжних робітника, один з яких буде не повністю завантажений і буде обслуговувати основних робітників іншої ділянки.

Кількість інженерно-технічних робітників:

$$P_{\text{ИТР}} = C_{\text{пр}} \cdot 20 \% \text{ [чол.]}, \quad (4.16)$$

$$P_{\text{ИТР}} = 4 \cdot 0,2 = 0,8 \text{ (чол.)}$$

Прийнято 1 інженерно-технічного робітника.

Кількість службовців:

$$P_c = P_{\text{осн}} \cdot 1,6 \% \text{ [чол.]}, \quad (4.17)$$

$$P_c = 5 \cdot 0,016 = 0,1 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1 бухгалтера на 0,1 ставки, який працюватиме на декількох ділянках.

Молодший обслуговуючий персонал:

$$P_{\text{МОП}} = P_{\text{заг}} \cdot 2 \% \text{ [чол.]}, \quad (4.18)$$

$$P_{\text{МОП}} = 9 \cdot 0,02 = 0,18 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1 робітника, який буде не повністю завантажений і буде обслуговувати площі конторських, побутових приміщень іншої ділянки.

Загальну чисельність працівників на ділянці систематизовано та подано у вигляді відомості працівників (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Відомість працівників на дільниці

Працюючі (категорія)	Загальна кількість	Розподіл по професіям	Розподіл по змінам
Основні робітники	5	Токарі – 2	1 (I зміна); 1 (II зміна);
		Токарі – 2	2 (I зміна);
		Фрезерувальники – 1	1 (I зміна);
Допоміжні працівники	2	Наладчик – 1	1 (I зміна);
		Контролери – 1	1 (I зміна);
Інженерно-технічні робітники	1	Технологи – 1	1 (I зміна);
Службовці	0,1	Бухгалтер – 0,11 ставки на дільниці	0,11 (I зміна)
Молодший обслуговуючий персонал	1	Прибиральник – 1	0,09 (I зміна); 0,09 (II зміна)
Загальна кількість	9,1		

## 5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ГОЛОВКА ЦИЛІНДРА ЗАДНЯ Ц40.055-001В»

### 5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки

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

Для проведення технологічного аудиту залучено 3-х незалежних експертів, які оцінили комерційний потенціал розробки за 12-ма критеріями, наведеними в таблиці 5.1 [23].

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	Конкурентів 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	2	2
2	1	1	2
3	4	3	2
4	3	2	2
5	4	3	2
6	4	2	3
7	2	3	3
8	2	2	2
9	3	3	3
10	1	2	2
11	3	3	3
12	2	4	2
Сума балів	СБ1 = 32	СБ2 = 30	СБ3 = 28
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{32 + 30 + 28}{3} = 30$		

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	10			40%
Кількість основних робітників	10			30%
Середній розряд робітників		8		10%
Середній коефіцієнт завантаження обладнання		7		15%
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом		7		15%

Визначимо абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

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

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

$$K_{\text{а.а.}} = 10 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,3 + 8 \cdot 0,1 + 7 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,15 = 9,9.$$

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.	7	4	1,75	0,4
Кількість основних робітників, чол.	13	5	2,6	0,3
Середній розряд робітників	5	3	1,67	0,1
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,52	0,75	1,44	0,15
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом	0,47	0,54	1,15	0,15
Собівартість заготовки, грн.	29,25	16,78	-	-

Відносні (одиничні) 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

$$q_i = \frac{P_{bi}}{P_{ni}}, \quad (5.3)$$

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

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

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

$$K_{к.к.} = 1,75 \cdot 0,4 + 2,6 \cdot 0,3 + 1,67 \cdot 0,1 + 1,44 \cdot 0,15 + 1,15 \cdot 0,15 = 2,04.$$

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:

$$K = \frac{I_{н.к.}}{I_{с.к.}}, \quad (5.5)$$

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

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

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

де  $P_{Нei}$ ,  $P_{Бei}$  – 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 2,04. За формулою (5.6) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I_{е.п.} = \frac{29,25}{16,78} = 1,74 .$$

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

$$K = \frac{2,04}{1,74} = 1,17 .$$

Оскільки  $K > 1$ , то запропонована нова технологія виготовлення деталі «Головка циліндра задня Ц40.055-001В» є більш доцільнішою і конкурентноспроможною, ніж базова.

5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В»

### 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 [23]:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 5.2.2 Основна заробітна плата розробників

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

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

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

$M_m$  – 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	18000	818,18	10	8181,82	
Інженер-технолог	16000	727,27	8	5818,16	
Інженер-конструктор	16000	727,27	8	5818,16	
Економіст	16000	727,27	8	5818,16	
Всього				$z_o$	31454,46

### 5.2.3 Додаткова заробітна плата розробників

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

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

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

$$z_{\text{доп}} = 0,1 \cdot 31454,46 = 3145,45 \text{ (грн.)}$$

### 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:

$$z_n = (z_o + z_{\text{доп}}) \cdot H_{\text{єсв}} \text{ [грн.],} \quad (5.10)$$

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

$$z_{\text{н}} = (31454,46 + 3145,45) \cdot 0,22 = 7611,98 \text{ (грн.)}$$

### 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 ( $C_{\text{пл}} \approx 200 \dots 1000 \text{ грн./м}^2$ );

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

$$B_{\text{буд.}} = 1000 \cdot 95 = 950000 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.6 Початкова вартість технологічного обладнання

Балансову вартість нового обладнання розраховуємо за формулою:

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

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

$C_{\text{пр.і}}$  – прийнята кількість одиниць обладнання відповідного найменування, які встановлені на 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	Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30	390000	3	1,1	1287000
2	Вертикально-фрезерний з ЧПК ЛТ260МФ3	550000	1	1,1	605000
Всього					1892000

Придбані верстати були у використанні.

Завдяки удосконаленню технологічного процесу механічної обробки, на базовій дільниці не використовується ряд застарілих верстатів.

Таблиця 5.7 – Вартість реалізації старих верстатів

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість, шт.	Вартість, грн.	Загальна вартість, грн.
1	Токарно-револьверний 1П365	50000	4	200000	200000
2	Горизонтально-фрезерний 6Р80Г	42000	2	84000	84000
3	Алмазно-розточувальний 2705В	55000	1	55000	55000
Всього					339000

Всього отримано коштів за реалізацію проданих верстатів: 306000 грн.

Отже, витрати на обладнання

$$B_{\text{обл}} = 1892000 - 339000 = 1553000 \text{ (грн.)}$$

### 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 ( $B_{\text{но}}$ ) розраховують за формулою:

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

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

$K_{\text{н}}$  – нормативний відсоток витрат в залежності від типу виробництва;

$$B_{\text{но}} = 1553000 \cdot 0,10 = 155300 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{\text{осн}} = 155300 \cdot 0,25 = 38825 \text{ (грн.)}$$

Вартість контрольно-вимірювальних і регулювальних приладів ( $B_{\text{конт}}$ ), 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:

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

$$B_{\text{конт}} = 0,1 \cdot 155300 = 15530 \text{ (грн.)}$$

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

$$B_{осн} = B_{по} + B_{осм} + B_{кст} \text{ [грн.];} \quad (5.16)$$

$$B_{осн} = 155300 + 38825 + 15530 = 209655 \text{ (грн.)}$$

#### 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 ( $B_{пр}$ ) становить 5...10% вартості додатково придбаного технологічного обладнання з ЧПУ і розраховується за формулою:

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

$$B_{пр} = 0,1 \cdot 1553000 = 155300 \text{ (грн.)}$$

#### 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:

$$K = 31454,46 + 3145,45 + 7611,98 + 95000 + 1553000 + 209655 + 155300 = \\ = 2055166,89 \text{ (грн.)}$$

### 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 «Головка циліндра задня Ц40.055-001В» складає 16,78 грн. (див. розділ 2).

#### 5.3.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

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

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

де  $W_{ji}$  – 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,  $C_e = 10,5$  грн.;

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

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

Проведені розрахунки зведено до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Витрати на електроенергію

Найменування операції, верстат	Встановлена потужність, кВт	Тривалість обробки, год.	Сума, грн.
005 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В340Ф30	6	0,43/60	0,45
010 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В340Ф30	6	0,44/60	0,46
015 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3	5,5	0,32/60	0,31
Всього			$\Sigma$ 1,22

### 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:

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

де  $M_m$  – розмір мінімальної місячної заробітної плати,  $M_m = 8000$  грн. (з 01.01.2025 р.);

$K_r$  – 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.

$$C = (8000 \cdot 1,35 \cdot 1,5) / (22 \cdot 8) = 92,05 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.9 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування операцій, верстат	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
005 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В340Ф30	0,43/60	3	1,35	92,05	0,66
010 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В340Ф30	0,44/60	3	1,35	92,05	0,68
015 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3	0,32/60	3	1,35	92,05	0,49
Всього					Σ 1,83

#### 5.3.4 Додаткова заробітна плата робітників

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

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

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

$$Z_{\text{доб}} = 0,1 \cdot 1,83 = 0,18 \text{ (грн.)}$$

### 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:

$$z_n = (z_o + z_{\text{дод}}) \cdot H_{\text{н}} \text{ [грн.],} \quad (5.22)$$

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

$$z_n = (1,83 + 0,18) \cdot 0,22 = 0,44 \text{ (грн.)}$$

### 5.3.6 Розрахунок загальновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

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

$$B_{\text{заг}} = 2,5 \cdot 1,83 = 4,58 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Таблиця 5.10 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.	Примітка
Витрати на матеріали на одиницю продукції, грн.	$M$	16,78	
Витрати на силову електроенергію, грн.	$B_e$	1,22	
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	$z_p$	1,83	
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	$z_{\text{дод}}$	0,18	
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	$z_n$	0,44	
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{\text{заг}}$	4,58	
Всього	$S_v$	25,03	

## 5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу

### 5.4.1 Нижня межа ціни

Ціна реалізації виробу розраховується за формулою:

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

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

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

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

$w$  – ставка податку на додану вартість, за станом на 01.01.2025 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.

$$C_{\text{нир}} = 25,03 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 36,04 \text{ (грн.)}$$

### 5.4.2 Верхня межа ціни

Верхня межа ціни ( $C_{\text{вир}}$ ) 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  $C_{\text{вир}} = 36,04$  грн.

### 5.5 Розрахунок величини чистого прибутку

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

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

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

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

$S_B$  – виробнича собівартість виробу, грн.;

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \Pi &= \left\{ \left[ \left[ 36,04 - \frac{(36,04 - 16,78) \cdot 16,67}{100} - 25,03 - \frac{10 \cdot 25,03}{100} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 313900 = \\ &= 1363271,96 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

### 5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення

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

### 5.6.1 Розрахунок чистого дисконтного доходу

Дане удосконалення передбачає одноразові капітальні вкладення, тому NPV можна визначити за формулою:

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{1363271,96}{(1+0,2)^1} + \frac{1363271,96}{(1+0,2)^2} + \frac{1363271,96}{(1+0,2)^3} + \frac{1363271,96}{(1+0,2)^4} - 2055166,89 = \\ &= 1473982,36 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

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

### 5.6.2 Розрахунок внутрішньої норми доходності

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

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

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

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

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

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

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

$$IRR_{MIN} = \sqrt[4]{\frac{1363271,96 + 1363271,96 + 1363271,96 + 1363271,96}{2055166,89}} - 1 = 0,28 .$$

### 5.6.3 Розрахунок терміну окупності

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

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

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

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

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

$$T_o = \frac{2055166,89}{1363271,96} = 1,51 \text{ (року)}.$$

## 5.7 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В», 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 2055166,89 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 1363271,96 грн., термін окупності 1,51 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В» доцільне для впровадження.

## ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі виконано удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В».

При цьому можна зробити такі висновки.

1. Проведено огляд технології виготовлення деталей типу «Корпус»; проаналізовано базовий технологічний процес; запропоновано шляхи удосконалення базового технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В».

2. Варіантним вибором встановлено, що найбільш доцільними способами виготовлення заготовки є лиття за виплавними моделями та лиття в оболонковій формі. Спроековано заготовки для обраних способів лиття і техніко-економічні розрахунки показали, що економічно доцільніше виготовляти заготовку литтям за виплавними моделями.

3. Розроблений удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В». Запропоновано два варіанти технології механічної обробки, проведено їх техніко-економічне порівняння, вибрано оптимальний варіант. Виконане розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу механічної обробки. Вибрані припуски на механічну обробку, режими різання, норми часу.

4. Досліджено вплив елементарних похибок технологічної системи на точність тонкого розточування отворів на багатоцільовому верстаті з ЧПК; встановлено визначальну роль похибки настроювання та розмірного зносу інструмента у формуванні сумарної похибки, що підтверджує можливість забезпечення заданого квалітету точності в серійному виробництві.

5. Для визначення необхідної кількості верстатів для виконання механічної обробки та забезпечення їх нормального завантаження підібрані аналогічні (за технологією обробки) деталі та розраховано приведену програму.

Встановлено кількість працюючих, які забезпечать роботу верстатів на дільниці механічної обробки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В».

6. Проведені економічні розрахунки, які підтвердили доцільність впровадження удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Головка циліндра задня Ц40.055-001В», визначені капітальні вкладення, одержаний прибуток, термін окупності вкладень.

МКР містить додатки, де приведені протокол перевірки навчальної роботи та ілюстративна частина роботи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Пурдик В. П. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 123 с.
2. Дерібо О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. Вінниця : ВНТУ, 2023. 116 с. Електронний ресурс : [https://iq.vntu.edu.ua/method/getfile.php?fname=5927.pdf&card\\_id=1949&id=5927](https://iq.vntu.edu.ua/method/getfile.php?fname=5927.pdf&card_id=1949&id=5927).
3. Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Савуляк В. В., Сердюк О. В. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2016. 148 с.
4. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 125 с.
5. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2015. 112 с.
6. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Репінський С. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : практикум. Вінниця: ВНТУ, 2017. 106 с.
7. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2015. 112 с.
8. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Сухоруков С. І. Основи технології машинобудування. Частина 2 : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2015. 116 с.
9. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. К. : Вища школа, 1993. 414 с.
10. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування. К. : ІСДО, 1996. 300 с.
11. Веселовська Н. Р., Шаргородський С. А., Руткевич В. С., Моторна О. О. Практикум з навчальної дисципліни «Технологічні основи

сільськогосподарського машинобудування» : навчальний посібник. Вінниця : ТВОРИ, 2020. 354 с.

12. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів : Світоч, 1996. 348 с.

13. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М., Пуховський Є. С. Проектування і виробництво заготовок : підручник. К. : НТУУ «КПІ», 2014. 353 с.

14. Дусанюк Ж. П., Шиліна О. П., Репінський С. В., Дусанюк С. В. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2009. 199 с.

15. Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення : ДСТУ 8981–2020. [Чинний від 2021-05-01]. К. : ДП «Укр НДЦН» 2021. 77 с.

16. Дерібо О. В., Репінський С. В. Розмірно-точнісне моделювання конструкцій та технологічних процесів: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс]. Вінниця : ВНТУ, 2024. 105 с. Режим доступу : <https://iq.vntu.edu.ua/repository/card.php?lang=uk&id=8184>.

17. Кирилович В. А., Мельничук П. П., Яновський В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ. Під заг. ред. В. А. Кириловича. Житомир : ЖІТІ, 2001. 600 с.

18. Булига Ю. В., Веселовська Н. Р., Міськов В. П. Теорія різання. Розрахунок режимів різання : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2019. 67 с.

19. Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

20. Веселовська Н. Р., Іскович-Лотоцький Р. Д., Ковальова І. М. Теорія різання та інструмент : навчальний посібник. Вінниця, 2018. 297 с.

21. Репінський С. В., Дерібо О. В., Адамлюк Д. С. Розрахунок втрат тиску в гідролініях гідроприводу. Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної

конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2025). Вінниця, 24-27 березня 2025 р. Електрон. текст. дані. 2025. Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2025/paper/view/24177>.

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

23. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. Вінниця : ВНТУ, 2021. 42 с.

# ДОДАТКИ

## Додаток А

### ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра технологій та автоматизації машинобудування  
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КП1) 18,21 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту.
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

\_\_\_\_\_

(прізвище, ініціали, посада)

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(прізвище, ініціали, посада)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_ Сердюк О. В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

Дерібо О. В., к.т.н., проф. каф. ТАМ  
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

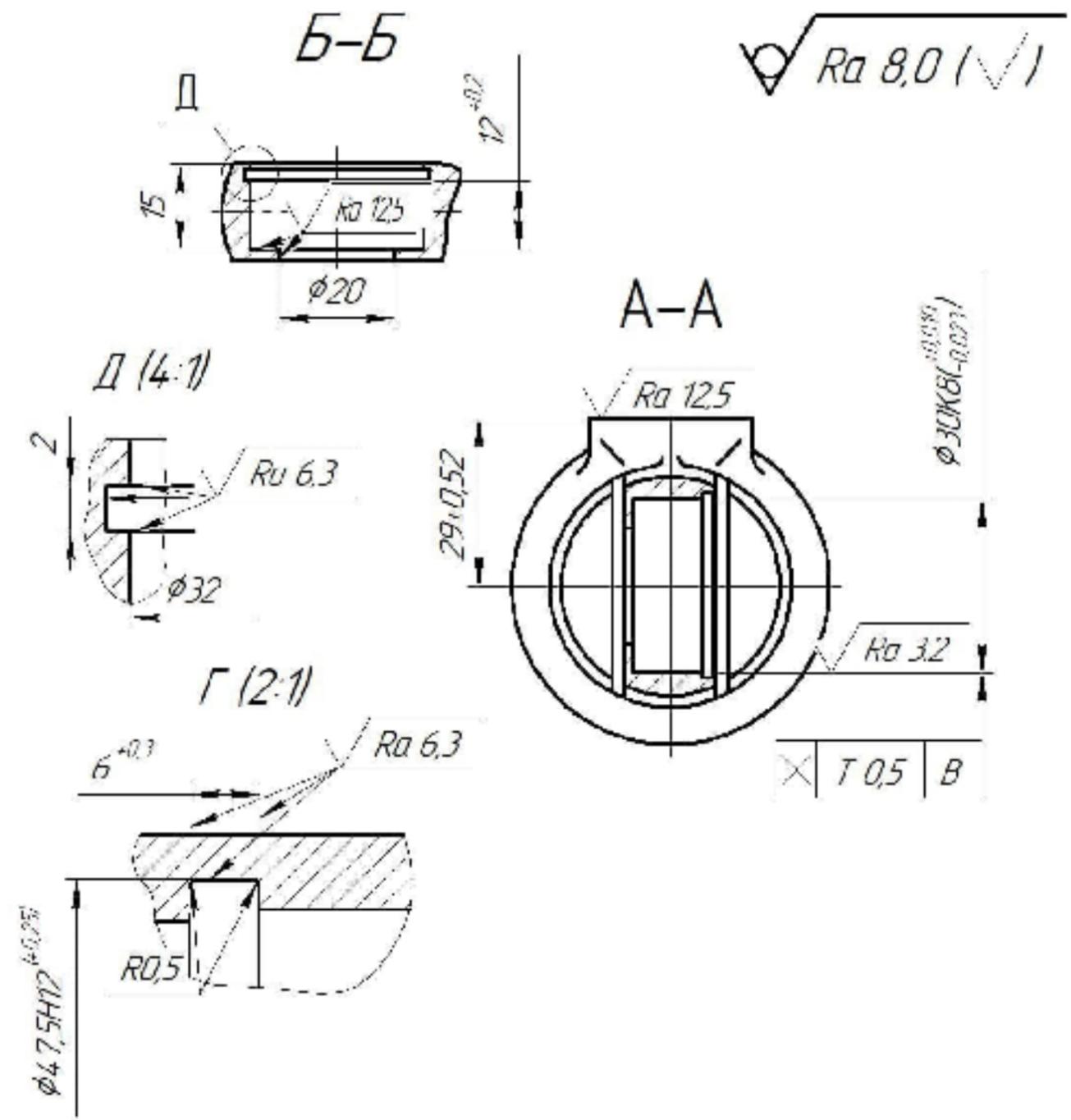
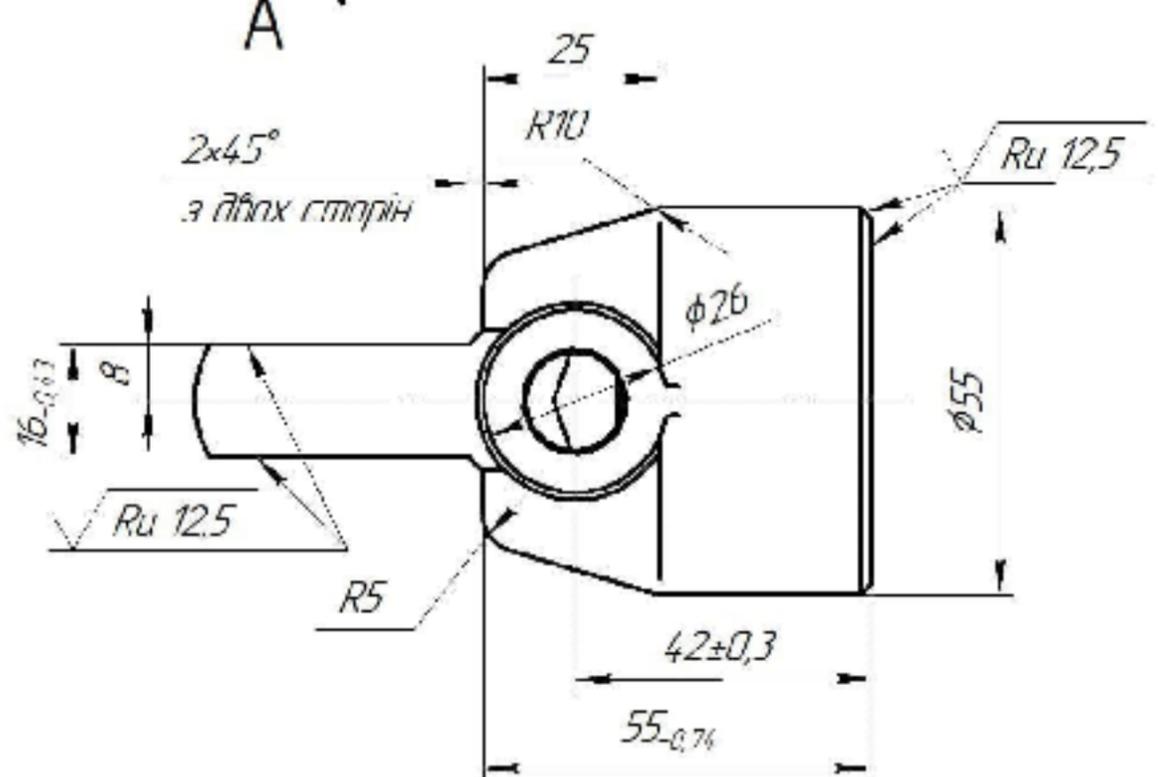
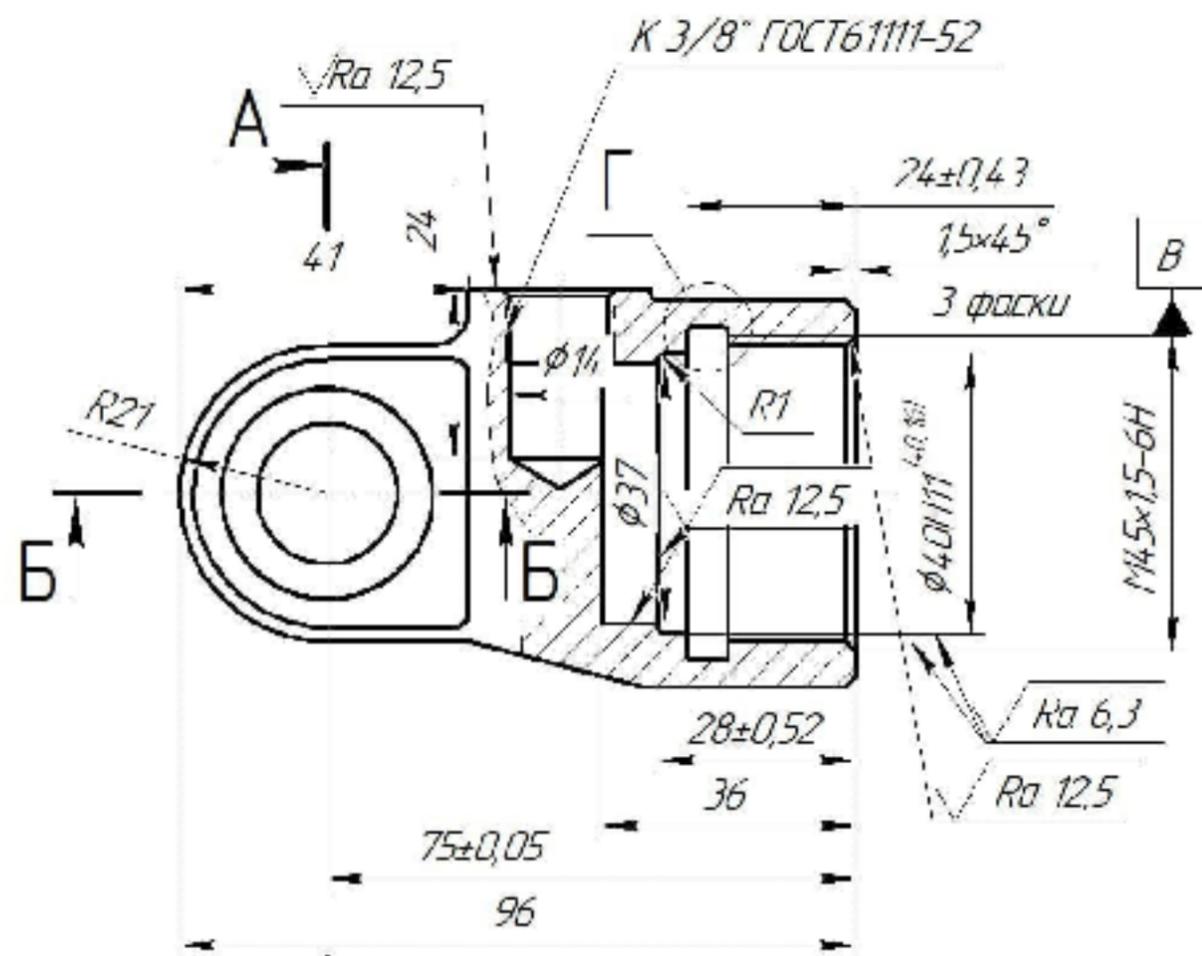
Адамлюк Д. С.  
(прізвище, ініціали)

Додаток Б  
(обов'язковий)

**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ  
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ  
«ГОЛОВКА ЦИЛІНДРА ЗАДНЯ Ц40.055-001В»

08-64.МКР.019.00.001

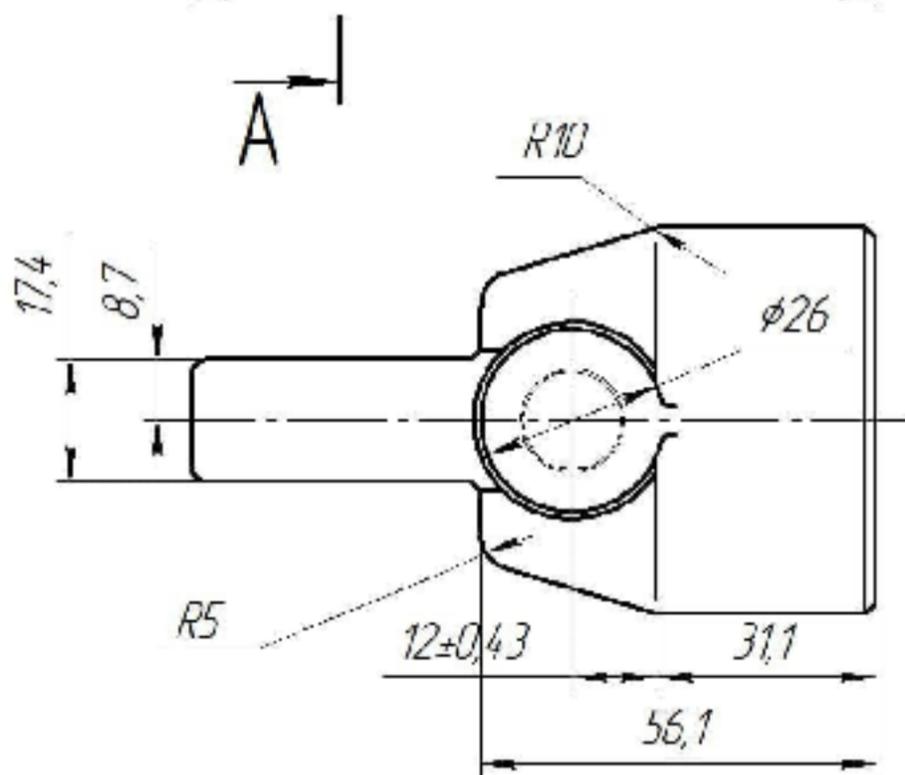
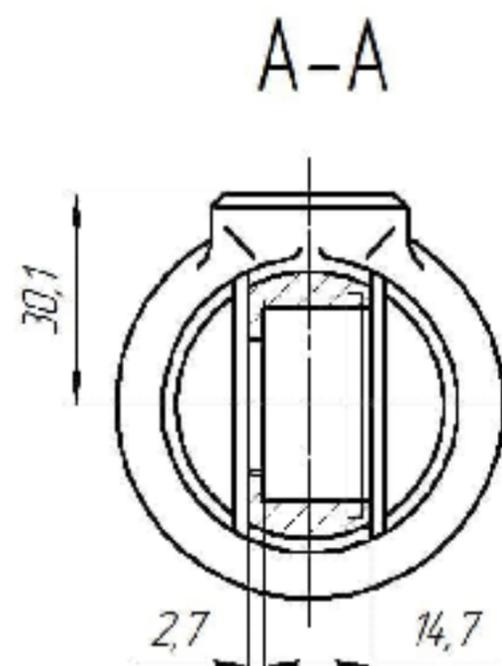
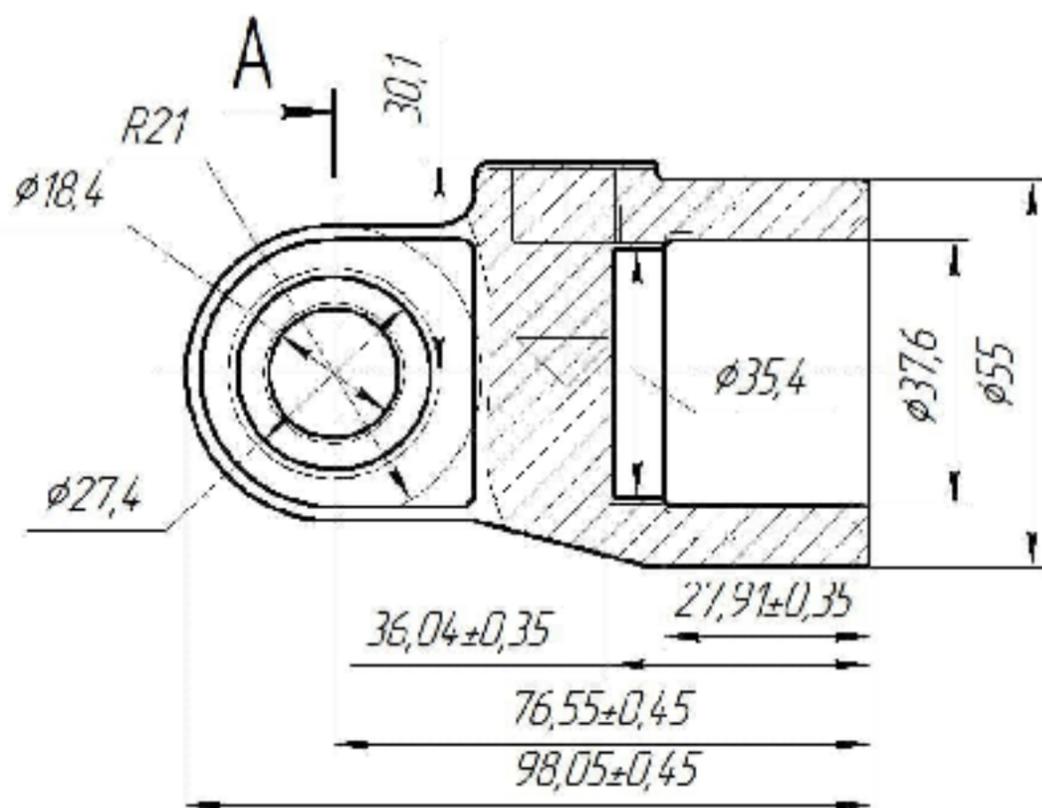


1. Твердість 156-217 НВ.
2. H14, h14, + $\frac{114}{7}$ .

				08-64.МКР.019.00.001			
Исполн	№ докум	Подп	Взам	Головка цилиндра задня Ц40.55-001В	Лист	Масса	Масштаб
Разработ	Изменок ДС					0,617	1:1
Проект	Чертеж ДВ			Сталь 40Л ГОСТ 1050-74	Лист	Листов	1
Технотр							
Начерт	Сверлок ДВ			Сталь 40Л ГОСТ 1050-74	ВНТУ, ст. гр. ЗПМ-24М		
Умб	Клишнь ЛГ				Формат А3		

08-64.МКР.019.00.001

√ Ra 8,0



1. Точність вилівка 7т-5-7-7т Зм.0 ДСТУ 8981-2020.
2. Маса 0,617-0,046-0,09-0,753 ДСТУ 8981-2020.
3. Невказані радіуси R=3 мм, нахили 0°1.
4. 156-217 НВ
5. Допускаються раковини, пустоти  $\phi 0,64$  мм на глибині 1 мм.

08-64.МКР.019.00.001				
Имя/Имя	№ докум.	Подп.	Витки	Головка цилиндра задня (вилівок)
Розроб	Людмила Д.С.			Лист
Проф.	Дарина О.В.			Листов 1
Технтр.				Сталь 40Л ГОСТ 1050-74
Нормат.	Сердюк О.В.			ВНТУ,
Унів.	Клишій Л.Г.			ст. гр. 2ГМ-24м

Котлярчук

Фігурка А3

№	Операції, переходи	Схема установки	Моделі верстатів
005	<p><b>Токарно револьверни з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Точити торець 2 і фаску 1 в розмір згідно ескізу.</li> <li>3. Розточити по контуру отвір 4 в розмір <math>\phi 40,9 \pm 0,52</math> мм попередньо; отвір 6 в розмір <math>\phi 38,76 \pm 0,48</math> мм попередньо; отвір 7 в розмір згідно ескізу; точити торець 8 в розмір згідно ескізу.</li> <li>4. Точити канавку 5 згідно ескізу.</li> <li>5. Розточити фаску 3 в розмір згідно ескізу; отвір 4 в розмір <math>\phi 42,7 \pm 0,35</math> мм; отвір 6 в розмір згідно ескізу.</li> <li>6. Нарізати різь в отворі 4 в розмір згідно ескізу.</li> <li>7. Зняти деталь.</li> </ol>		<p>Токарно-револьверний з ЧПК 1B340Ф30</p>
010	<p><b>Токарно револьверна з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та закріпити деталь.</li> <li>2. Підрізати ширину 1 в розмір згідно ескізу.</li> <li>3. Центрувати отвір 3 в розмір <math>\phi 5</math> мм.</li> <li>4. Свердлити отвір 3 в розмір згідно ескізу.</li> <li>5. Зенкувати фаску 2.</li> <li>6. Нарізати різь в отворі 3 в розмір згідно ескізу.</li> <li>7. Зняти деталь.</li> </ol>		<p>Токарно-револьверний з ЧПК 1B340Ф30</p>
015	<p><b>Вертикально-фрезерна з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати площину 1 і площину 2 в розмір згідно ескізу.</li> <li>3. Розточити отвір 3 в розмір згідно ескізу.</li> <li>4. Фрезерувати і закруглити отвір 4 в розмір <math>\phi 29,5 \pm 0,14</math> мм і закруглення; площину 6 в розмір згідно ескізу.</li> <li>5. Розточити отвір 4 в розмір <math>\phi 29,86 \pm 0,05</math> мм.</li> <li>6. Фрезерувати канавку 5 в розмір згідно ескізу.</li> <li>7. Розточити отвір 4 в розмір згідно ескізу.</li> <li>8. Зняти деталь.</li> </ol>		<p>Вертикально-фрезерний з ЧПК ЛТ2601Р3</p>





## АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ТОЧНІСТЬ ДІАМЕТРАЛЬНОГО РОЗМІРУ ГОЛОВНОГО ОТВОРУ В СТАЛЕВІЙ ЗАГОТОВЦІ, ЯКИЙ ОБРОБЛЯЄТЬСЯ ОСТАТОЧНО ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ НА БАГАТОЦІЛЬОВОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПК

**Мета дослідження** – виявлення рівнів впливу на сумарну похибку обробки елементарних похибок, що виникають під час тонкого розточування отворів різальним інструментом, оснащеним надтвердим матеріалом.

Розглядалась остаточна обробка (тонке розточування) отвору в розмір  $\varnothing 30 \text{ K } 8 \begin{pmatrix} +0,010 \\ -0,023 \end{pmatrix}$  мм.

Для діаметральних розмірів циліндричних поверхонь, отримуваних розточуванням за допомогою попередньо настроєного на розмір інструмента (головки або оправки), **сумарну похибку** згідно з [4] можна розрахувати за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_{\text{нд}})^2 + (K_2 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_4 \varepsilon_i)^2 + (K_5 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{т}})^2} \text{ [мкм]}, \quad (1)$$

де  $\varepsilon_{\text{нд}}$  – похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи;  $\varepsilon_{\text{н}}$  – похибка настроювання інструмента (вершини різцевої вставки) на розмір обробки;  $\varepsilon_i$  – похибка, зумовлена розмірним зносом різцевої вставки;  $\varepsilon_{\text{в}}$  – похибка, зумовлена геометричною неточністю верстата;  $\varepsilon_{\text{т}}$  – похибка, зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи.  $\frac{1}{K}$  – коефіцієнт, що залежить від бажаної гарантованої імовірності роботи без браку;  $K_1, K_2, K_4, K_5, K_6$ , – коефіцієнти, значення яких визначаються характером законів розподілу відповідних елементарних похибок.

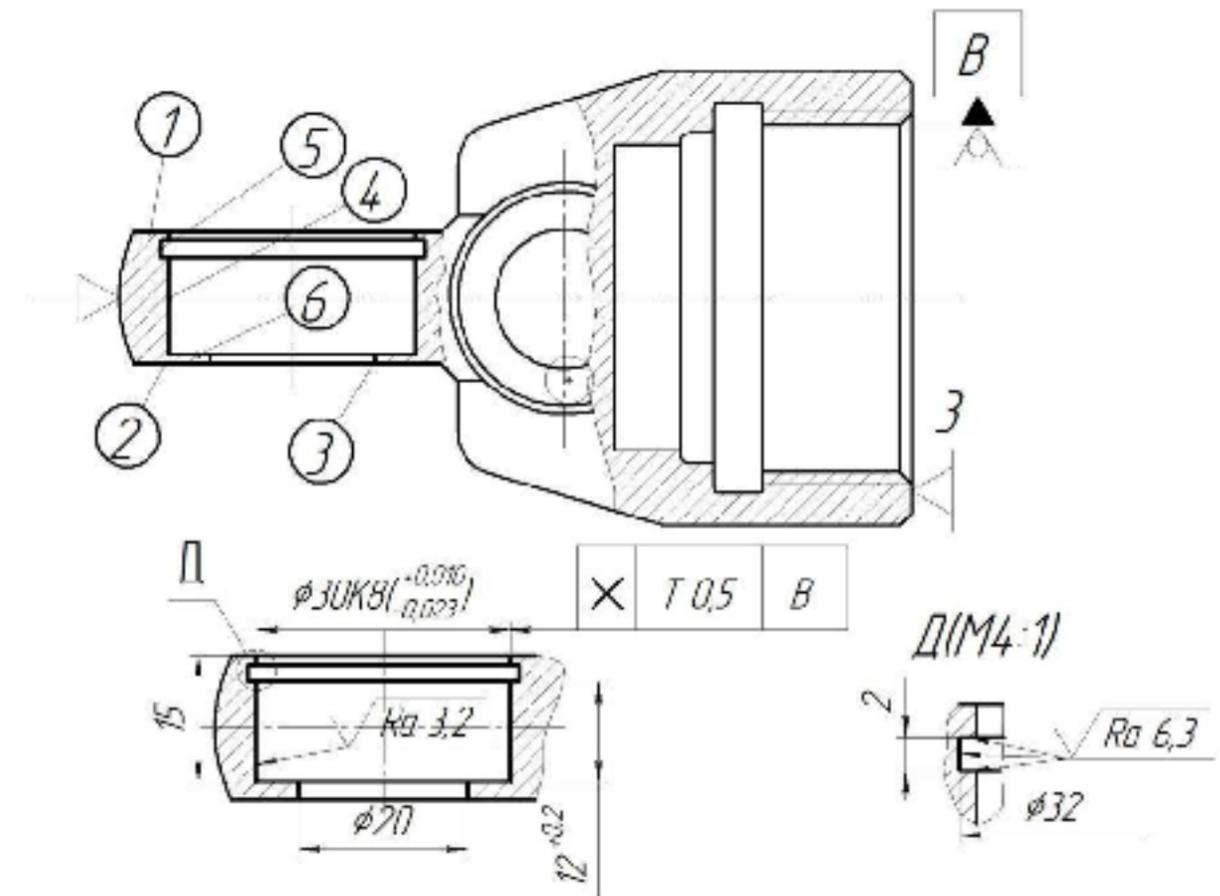


Рисунок 1 – Ескіз обробки

# АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ТОЧНІСТЬ ДІАМЕТРАЛЬНОГО РОЗМІРУ ГОЛОВНОГО ОТВОРУ В СТАЛІВІЙ ЗАГОТОВЦІ, ЯКИЙ ОБРОБЛЯЄТЬСЯ ОСТАТОЧНО ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ НА БАГАТОЦІЛЬОВОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПК

(продовження)

Послідовно визначено елементарні похибки обробки. Усі елементарні похибки визначались на радіус (на сторону), а сумарна похибка – на діаметр.

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

$$\varepsilon_{\text{пц}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}) \text{ [МКМ]}, \quad (2)$$

де  $\omega_{\Sigma}$  – сумарна податливість технологічної системи, яка враховує податливості елементів верстата, верстатного пристрою, розточувальної оправки та заготовки;  $P_{y_{\text{max}}}$  і  $P_{y_{\text{min}}}$  – відповідно найбільша і найменша величина складової сили різання, яка діє у напрямі нормалі до оброблюваної поверхні.

**Похибка настроєння** визначалась за формулою [4]

$$\varepsilon_{\text{н}} = K_1 \sqrt{\varepsilon_{\text{р}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{\text{зм}}^2} \text{ [МКМ]}, \quad (3)$$

де  $\varepsilon_{\text{р}}$  – похибка регулювання положення вершини різцевої вставки;  $\varepsilon_{\text{вм}}$  – похибка вимірювання розміру отвору;  $\varepsilon_{\text{зм}}$  – похибка від зміщення центра групування розмірів пробних заготовок відносно середини поля розсіювання;  $K_1 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує відхилення законів розподілу похибок  $\varepsilon_{\text{р}}$ ,  $\varepsilon_{\text{вм}}$  і  $\varepsilon_{\text{зм}}$  від нормального закону розподілу.

# АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ТОЧНІСТЬ ДІАМЕТРАЛЬНОГО РОЗМІРУ ГОЛОВНОГО ОТВОРУ В СТАЛЕВІЙ ЗАГОТОВЦІ, ЯКИЙ ОБРОБЛЯЄТЬСЯ ОСТАТОЧНО ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ НА БАГАТОЦІЛЬОВОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПК

(продовження)

**Похибку**, що виникає через **розмірний знос різця** в процесі тонкого розточування отвору в одній заготовці можна розрахувати за формулою

$$\varepsilon_{i_1} = \frac{L_1 u_o}{1000}, \quad (4)$$

де  $L$  – довжина шляху, який проходить вершина розточувального різця під час обробки однієї заготовки;  $u_o = 2,5$  мкм/км – відносний знос вершини різцевої вставки з Гексаніту Р.

Оскільки заготовка нерухома, а обертається інструмент (розточувальна оправка), то вважатимемо, що **похибка, зумовлена геометричною неточністю верстата**  $\varepsilon_b = 0$ .

**Похибка**, що спричиняється **тепловими деформаціями технологічної системи** ( $\varepsilon_T$ ) для лезової обробки (згідно з [4]) складає близько 10% від суми інших похибок, тобто приймемо, що

$$\varepsilon_T = 0,1(2 + 12 + 6) = 2 \text{ (мкм)}.$$

За формулою (1) визначимо **сумарну похибку обробки**

$$\varepsilon_\Sigma = 2\sqrt{2^2 + 12^2 + (1,73 \cdot 6)^2 + (1,73 \cdot 2)^2} = 26 \text{ (мкм)}.$$

Отримане значення  $\varepsilon_\Sigma$  (поле розсіювання розміру  $\varnothing 30 \text{ K } 8 \begin{pmatrix} +0,010 \\ -0,023 \end{pmatrix}$  мм) свідчить, що заданий допуск (33 мкм) на переході тонкого розточування за прийнятих технологічних умов забезпечуватиметься.

# АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ТОЧНІСТЬ ДІАМЕТРАЛЬНОГО РОЗМІРУ ГОЛОВНОГО ОТВОРУ В СТАЛІВІЙ ЗАГОТОВЦІ, ЯКИЙ ОБРОБЛЯЄТЬСЯ ОСТАТОЧНО ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ НА БАГАТОЦІЛЬОВОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПК

(продовження)

## Висновки

1. Виконано аналіз показників точності, що забезпечуються тонким розточуванням отвору на багатоцільовому свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті з ЧПК на прикладі механічної обробки заготовки деталі типу «Головка циліндра задня Ц40.055-001В».

2. З отриманих результатів випливає, що за розглянутих технологічних умов на переході тонкого розточування може забезпечуватись 8 квалітет точності.

3. Найсуттєвіший вплив на точність обробки тонким розточуванням чинять похибка настроєння і похибка, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента.

4. Встановлено, що на переході тонкого розточування за період стійкості різця за шорсткістю (40000 м) за даних технологічних умов без переточування різця можуть бути оброблені 3 партії заготовок деталей (кожна – по 607 шт.)

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

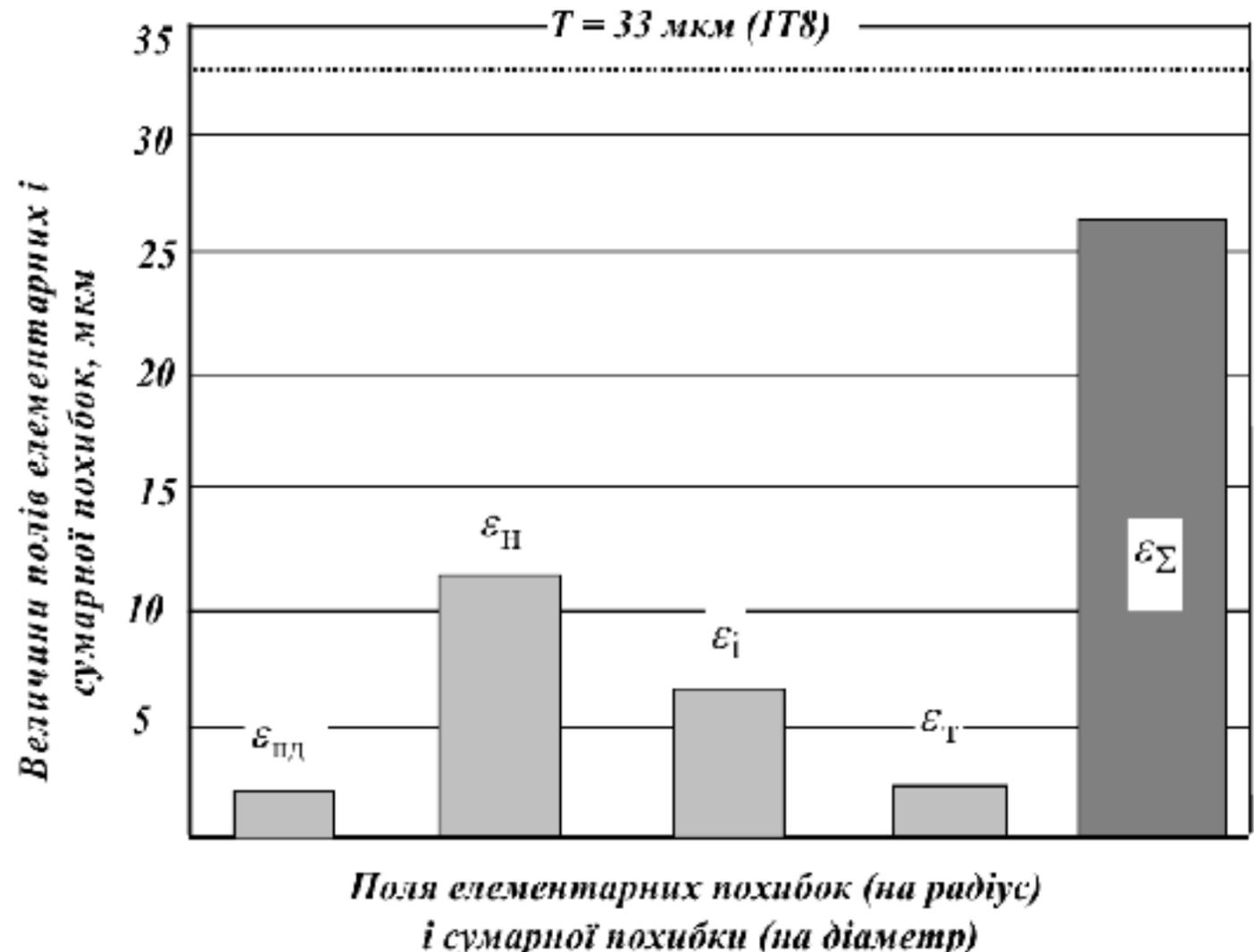


Рисунок 2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки



*Техніко-економічні показники*

<i>Показник</i>	<i>Базовий технологічний процес</i>	<i>Удосконалений технологічний процес</i>
<i>1. Річний випуск виробів, шт.</i>		<i>100000</i>
<i>2. Приведена програма, шт.</i>	<i>-</i>	<i>313900</i>
<i>3. Спосіб виготовлення заготовки</i>	<i>Лиття в оболонковій формі</i>	<i>Лиття за виплавними моделями</i>
<i>4. Маса заготовки, кг</i>	<i>0,857</i>	<i>0,753</i>
<i>5. Собівартість виготовлення заготовки, грн.</i>	<i>29,25</i>	<i>16,78</i>
<i>6. Коефіцієнт точності маси заготовки</i>	<i>0,72</i>	<i>0,82</i>
<i>8. Кількість операцій</i>	<i>5</i>	<i>3</i>
<i>9. Кількість верстатів, шт</i>	<i>7</i>	<i>4</i>
<i>10. Кількість основних робітників, чол.</i>	<i>13</i>	<i>5</i>
<i>11. Виробнича площа, м<sup>2</sup></i>	<i>130</i>	<i>95</i>
<i>12. Загальна площа, м<sup>2</sup></i>	<i>195</i>	<i>142,5</i>
<i>13. Капітальні витрати, грн.</i>	<i>-</i>	<i>2055166,89</i>
<i>14. Собівартість продукції, грн.</i>	<i>36,04</i>	<i>25,03</i>
<i>15. Дохід, грн.</i>	<i>-</i>	<i>1363271,96</i>
<i>16. Термін окупності, років</i>	<i>-</i>	<i>1,51</i>