

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, дисциплінарної комісії))

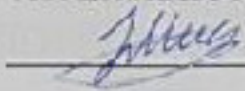
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

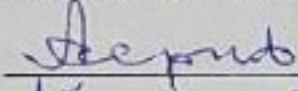
«Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки
деталі типу «Гільза ГЦ.21.002»»

08-64.МКР.012.00.000 ПЗ

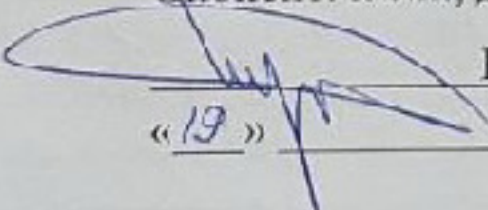
Виконав: студент 2-го курсу, гр. ІПМ-23м
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

 Іван МИЦИК

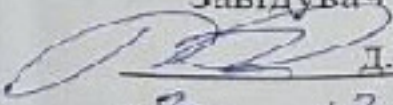
Керівник: к.т.н., професор каф. ТАМ

 Олександр ДЕРІБО
«18» 12 2024 р.

Опонент: к.е.н., доцент каф. АТМ

 Юрій БУРЕННІКОВ
«19» 12 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТАМ

 д.т.н., проф. Леснід КОЗЛОВ
«20» 12 2024 р.

Вісник ВНТУ – 2024 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

«24» 09 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мицику Івану Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002»

керівник роботи Дерібо Олександр Володимирович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «17» 09 2024 року № 310.

2. Строк подання студентом роботи: 17.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі «Гільза ГЦ.21.002»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 1 000 шт.; довідкова література

4. Зміст текстової частини: анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталей типу «Циліндр»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002»; аналіз точності обробки тонким розточуванням довгих отворів на токарних верстатах з ЧПК високої точності; розрахунок елементів ділянки механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002»; економічне обґрунтування удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002»; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
деталь «Гільза ГЦ.21.002» (А2); гільза (заготовка) (А3); технологічний процес механічної обробки (А1); розмірний аналіз технологічного процесу (А1); карта налагоджень (010 операція) (А1); аналіз точності обробки тонким розточуванням довгих отворів на токарних верстатах з ЧПК високої точності (3А1); техніко-економічні показники (А1)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання при
Спеціальна частина	Олександр ДЕРІБО, професор кафедри ТАМ	<i>Дерібо</i> 24.09.2024р.	<i>Дерібо</i> 10.12.24р.
Економічна частина	Олександр ЛЕСЬКО, завідувач кафедри ЕПВМ	<i>Леско</i> 11.10.24р.	<i>Леско</i> 24.11.24р.

7. Дата видачі завдання « 24 » 09 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Срок виконання етапів МКР	Примі
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	25.10.2024	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	25.10.2024	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	30.10.2024	
4	Розв'язання поставлених задач	20.11.2024	
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	26.11.2024	
6	Виконання розділу «Економічна частина»	26.11.2024	
7	Попередній захист МКР	10.12.2024	
8	Перевірка роботи на плагіат	14.12.2024	
9	Нормоконтроль МКР	16.12.2024	
10	Опонування МКР	18.12.2024	
11	Захист МКР	23.12.2024	

Студент

Іван Мицик
(підпис)

Іван МИЦИК

Керівник роботи

Олександр Дерібо
(підпис)

Олександр ДЕРІБО

АНОТАЦІЯ

УДК 621.9

Мицик І. С. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – прикладна механіка, освітня програма – технології машинобудування. Вінниця : ВНТУ, 2024. 122 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 20 назв; рис.: 17; табл. 34.

У магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002». У загальній частині роботи проведено огляд технологій виготовлення деталей типу «Циліндр», обґрунтована доцільність удосконалення існуючого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002».

В технологічній частині виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002» 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; проведено аналіз точності обробки тонким розточуванням довгих отворів на токарних верстатах з ЧПК високої точності; 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, одержаний в результаті удосконалення технології та ділянки механічної обробки.

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

ABSTRACT

Mytsyk I. S. Improvement of the technological process of mechanical processing of the workpiece of the «Sleeve HC.21.002» type part. Master's qualification work in specialty 131 – applied mechanics, educational program – mechanical engineering technology. Vinnytsia : VNTU, 2024. 122 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 20 titles; fig.: 17; tabl. 34.

In the master's qualification work, the technological process of machining a workpiece of the type «Sleeve HC.21.002» was improved. In the general part of the work, a review of the technologies for manufacturing parts of the type «Cylinder» was conducted, the feasibility of improving the existing technological process of machining a workpiece of the type «Sleeve HC.21.002» 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 «Sleeve HC.21.002» 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; an analysis of the accuracy of machining by fine boring of long holes on high-precision CNC lathes was performed; the reduced program, number of equipment and workers for the improved machining section were calculated.

The economic part of the work calculates capital investments, the cost of machining the workpiece, the payback period, and the economic effect obtained as a result of improving the technology and the machining area.

Key words: technological process, mechanical processing, workpiece, part, dimensional and precision analysis, mechanical processing area.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ЦИЛІНДР».....	11
1.1 Характеристика об'єкта виробництва, його призначення та технічні умови на виготовлення.....	11
1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Циліндр».....	13
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ГІЛЬЗА ГЦ.21.002».....	16
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі.....	16
2.2 Визначення типу виробництва і форми організації роботи.....	20
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки.....	26
2.4 Вибір способів механічної обробки поверхонь з підвищеними вимогами точності.....	37
2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз.....	41
2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу.....	43
2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат.....	46
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу.....	50
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів.....	55
2.10 Визначення режимів різання.....	62
2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання.....	68
2.12 Визначення технічних норм часу на операції.....	70

3 АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ ДОВГИХ ОТВОРІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК ВИСОКОЇ ТОЧНОСТІ.....	74
3.1 Постановка задачі дослідження.....	74
3.2 Результати дослідження.....	76
4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ГІЛЬЗА ГЦ.21.002».....	85
4.1 Розрахунок приведеної програми.....	85
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження.....	90
4.3 Побудова графіків завантаження обладнання.....	94
4.4 Розрахунок кількості працівників на ділянці.....	95
5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ГІЛЬЗА ГЦ.21.002».....	98
5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки.....	98
5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002».....	105
5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції.....	110
5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу.....	114
5.5 Розрахунок величини чистого прибутку.....	115
5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення.....	116
ВИСНОВКИ.....	119
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	121
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної роботи.....	123
Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина.....	124

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне машинобудування характеризується високими вимогами до якості та точності виготовлення деталей, що зумовлює необхідність постійного вдосконалення технологічних процесів. Особливу увагу привертають деталі типу «Циліндр», які є ключовими елементами багатьох механізмів. Їхня якість і надійність напряму залежать від точності обробки, економічної доцільності технологічного процесу та використання сучасного обладнання.

Деталь «Гільза ГЦ.21.002», що розглядається в роботі, вимагає забезпечення високої точності геометричних параметрів та дотримання технічних умов при мінімальних витратах. Традиційні підходи до виготовлення заготовок і механічної обробки часто не відповідають вимогам сучасного виробництва через недостатню економічність, низьку продуктивність чи складність у реалізації.

Удосконалення технологічного процесу обробки цієї деталі є актуальним завданням, яке дозволяє зменшити виробничі витрати, підвищити точність і продуктивність обробки за рахунок впровадження сучасних методів обробки, оптимізації режимів різання та використання високопродуктивного обладнання.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002».

Для досягнення поставленої мети виконувались такі **завдання**:

- проведення огляду технології виготовлення деталей типу «Циліндр»;
- техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки деталі Гільза ГЦ.21.002;
- удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002»;
- розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу;

- визначення режимів різання та норм часу;
- аналіз точності обробки тонким розточуванням довгих отворів на токарних верстатах з ЧПК високої точності;
- розрахунок приведеної програми, кількості обладнання та працівників на проектуємій ділянці;
- економічне обґрунтування удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002».

Об’єкт дослідження – технологічний процес виготовлення деталей типу «Циліндр».

Предмет дослідження – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002».

Методи дослідження. Метод теорії розмірних ланцюгів при виконанні розмірно-точнісного моделювання ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002»; метод лінійного програмування (симплекс-метод) при визначенні оптимальних режимів різання.

Наукова новизна одержаних результатів. На прикладі тонкого розточування головного отвору в заготовці деталі типу «Гільза гідроциліндра» виконано аналіз з виявленням елементарних похибок, та сумарної похибки.

Практичне значення одержаних результатів:

- варіантним вибором встановлено, що найбільш доцільними способами виготовлення заготовки є штампування на гідравлічних пресах та трубний прокат. Техніко-економічні розрахунки показали, що економічно доцільніше виготовляти заготовку із трубного прокату, оскільки вартість виготовлення заготовки при цьому складає 758,03 грн., що менше у порівнянні з штампуванням – 1195,7 грн.;

- розроблено удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002» з використанням високопродуктивних верстатів з ЧПК високої точності; техніко-економічний аналіз показав, що впровадження удосконаленого технологічного процесу в виробництво є економічно доцільним;

- для удосконаленого маршруту механічної обробки розроблено план дільниці; розроблена дільниця механічної обробки містить 6 верстатів, кількість основних робітників, що її обслуговують – 6 чол., кількість допоміжних працівників – 6 чол.

Апробація результатів роботи. Основні положення й результати роботи доповідалися й обговорювалися на 2 науково-технічних конференціях:

1) Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)» (м. Вінниця, ВНТУ, 16-17 червня 2022 р.);

2) LII Всеукраїнська науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ (м. Вінниця, ВНТУ, 21-23 червня 2023 р.)

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ЦИЛІНДР»

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

Деталь «Гільза ГЦ.21.002» служить корпусом в складі потужного гідроциліндра. Випускається в умовах серійного виробництва. На існуючій ділянці механічної обробки механічного цеху базового підприємства використовуються верстати, які не зовсім відповідають існуючим на сьогоднішній день умовам. Існуюча технологія обробки деталі не побудована за принципом концентрації операцій, частина обладнання не завантажена обробкою, велика кількість переустановлень деталі. Необхідне застосування обладнання з більшими можливостями, а саме високопродуктивних сучасних верстатів з ЧПК.

Ескіз деталі «Гільза ГЦ.21.002» показано на рис. 1.1.

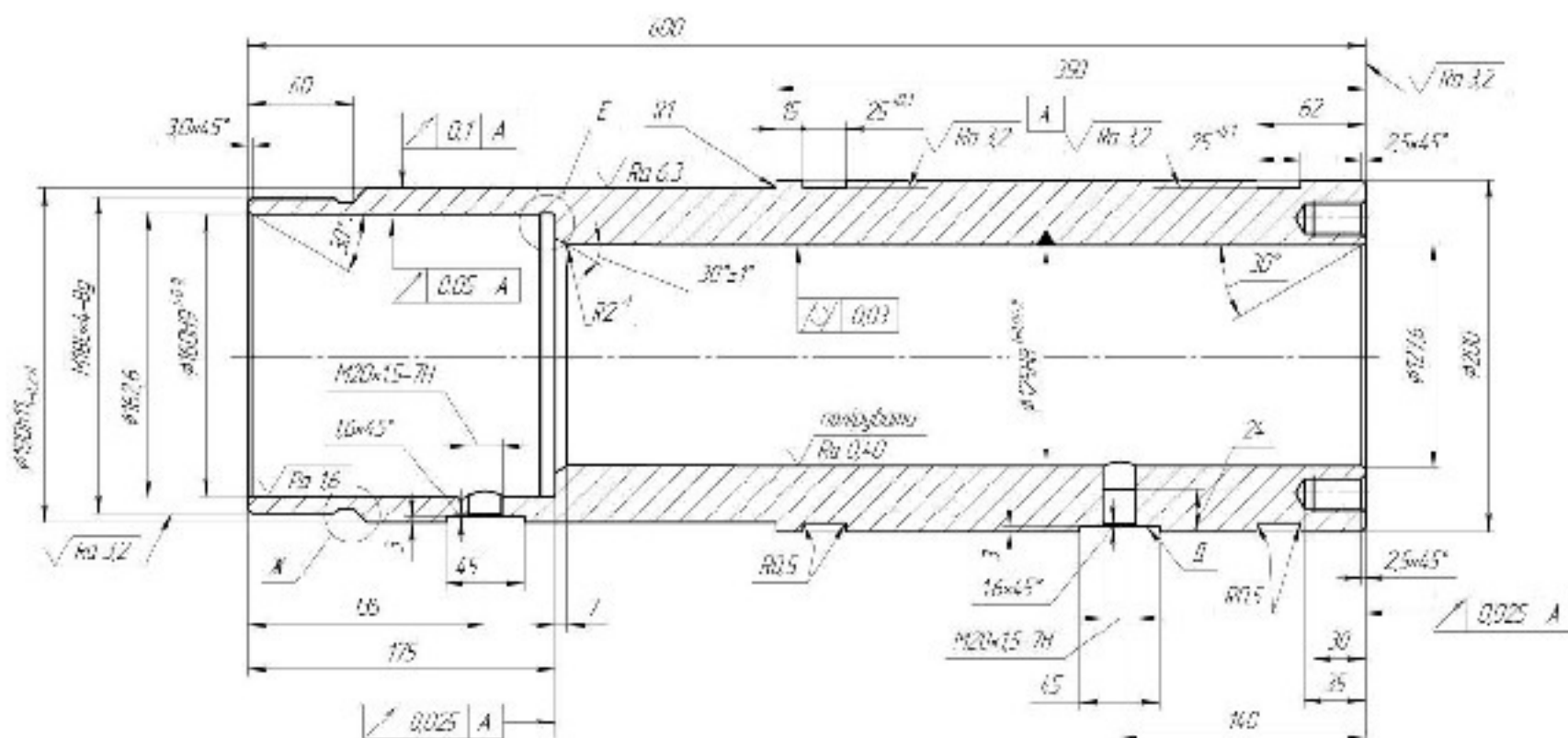


Рисунок 1.1 – Креслення деталі «Гільза ГЦ.21.002»

Гідроциліндр входить до конструкції пристрою з електрогідравлічним слідку вальним приводом (ЕГСП) для обкочування нециліндричних заготовок. Конструктивна схема пристрою показана на рис. 1.2.

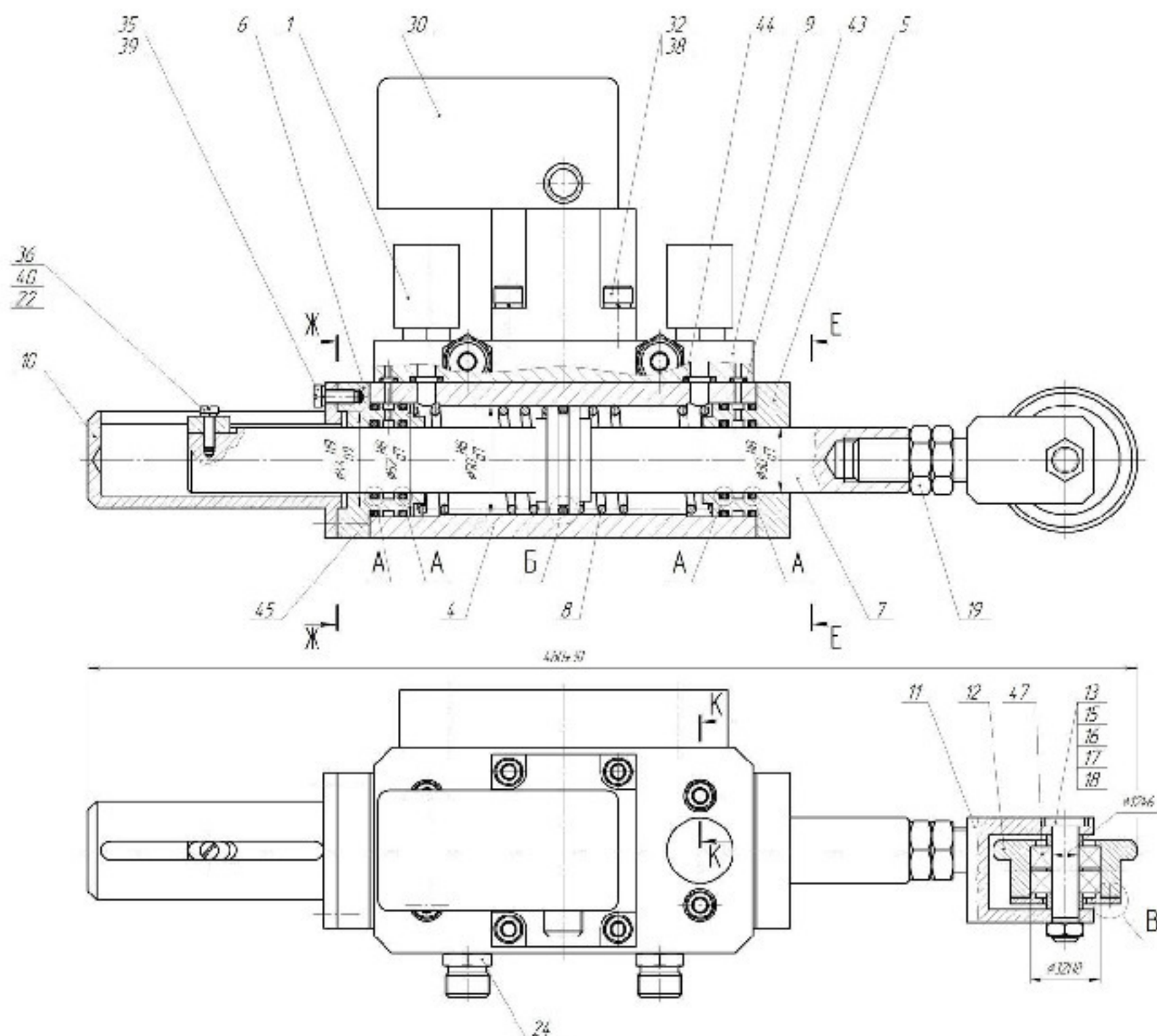


Рисунок 1.2 – Конструкція пристрою з ЕГСП для обкочування нециліндричних заготовок

Базовою деталлю пристрою є корпус гідроциліндра (деталь «Гільза ГЦ.21.002») 4 у якій розміщений поршень 1 з двостороннім штоком. В різьбовому отворі штока встановлена вилка 11, яка є базовою деталлю обкочувальної головки. У вилці на осі 15 і двох кулькових підшипниках 47 ущільненого типу встановлений обкочувальний ролик 12. Цей ролик повинен бути виготовлений зі сталі ШХ15 і термооброблений до твердості 55...60 HRC.

Під час складання обкочувальної головки має бути забезпечений осьовий зазор між роликом 12 і вилкою 11 в межах 0,01...0,02 мм шляхом підбору необхідної кількості прокладок 25.

Кутове положення поршня 7 відносно корпусу гідроциліндра 4 разом з установленою в ньому обкочувальною головкою забезпечується шпонкою 22, яка переміщується в пазу кожуха 10.

Робочі порожнини гідроциліндра герметично закриті передньою 5 і задньою 6 кришками 9 (буксами). Для зменшення коефіцієнта тертя і зносу під час експлуатації ці кришки мають бути виготовлені з антифрикційного матеріалу, наприклад, з бронзи БрО19.

В кришках і в поршні використані комбіновані ущільнення з мінімальним тертям, які складаються зі стандартного гумового кільця і спеціальної фторопластової манжети.

Для надійної герметизації робочих порожнин гідроциліндра в кожній з кришок передбачено по два ущільнювальних елемента. Між цими елементами є канал для відведення на злив витоків робочої рідини з робочих порожнин гідроциліндра.

Керування величиною сили обкочування здійснюється електронною системою керування (на схемі не показана) і електрогідравлічним підсилювачем (ЕГП) типу УЭГ.С-40 виробництва Харківського ОКБ «Теплоавтомат» (поз. 30). ЕГП встановлений на розподільній плиті 9. До цієї ж плити під'єднані і датчики 1 перепаду тиску в порожнинах гідроциліндра.

За відсутності сигналу керування поршень 7 утримується в нейтральному положенні двома пружинами 8.

Пристрій встановлюється в різцетримачі токарного верстата за допомогою планки 23, яка жорстко прикріплена до корпусу 4 трьома гвинтами 31.

Підведення робочої рідини від гідростанції і відведення її на злив здійснюється за допомогою двох штуцерів 24.

1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Циліндр»

Для проектування технологічного процесу заготовки деталі «Гільза ГЦ.21.002» виконано аналітичний огляд відомих маршрутів механічної обробки подібних деталей в умовах заданого типу виробництва [1-8].

Дана деталь відноситься до класу циліндричних деталей. В більшості випадків в машинобудуванні форму циліндричних деталей мають вали, втулки, стакани, пневмо- та гідроциліндри та інше.

В умовах дрібно- та серійного виробництва, заготовкою для таких деталей є прокат у вигляді прутків і труб різного сортаменту. Іноді, на заміну прокату може виступати поковки чи литі заготовки у випадках, коли це економічно доцільно.

Основними базуючими поверхнями таких деталей є циліндричні поверхні та торці і буртики різного типу. До цих поверхонь ставляться досить високі вимоги щодо правильності геометрії та шорсткості поверхні. Нерідко в деталях наявні приєднувальні та кріпильні поверхні, основною вимогою до яких є точне позиціонування та взаємне розташування поверхонь. Робочими поверхнями цих деталей найчастіше слугують циліндричні поверхні. До цих поверхонь, як правило, ставляться найвищі вимоги по точності та шорсткості.

Іноді, деталі цього класу сприймають значні динамічні навантаження, тому від них вимагається висока зносостійкість, твердість, в більшості випадків вимагається термічна обробка. Матеріал, з якого виготовляються деталі, повинен мати добру оброблюваність.

Основними технологічними базами циліндричних деталей звичайно виступають площини і циліндричні поверхні. Площини і циліндричні поверхні попередньо точать. Для цього використовуються універсальні токарні верстати або токарні верстати з ЧПК.

При обробці деталей даного класу намагаються обробити якнайбільшу кількість поверхонь з одного установу. Для цього підбирають відповідне обладнання, яке дозволяє виконувати різні операції. Це, наприклад, багатоцільові верстати або оброблювальні центри, а в масовому виробництві це можуть бути автоматичні оброблюючі лінії.

Схема технологічних процесів виготовлення подібних деталей наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Загальна схема технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Циліндр»

Номер операції	Найменування операції	Обладнання
005	Заготівельна Труба ГОСТ 8732-70	Токарно-гвинторізний верстат 1K62A
010	Токарна Обробити торці	Токарно-гвинторізний верстат 1K62A
015	Токарна Обробити центральний отвір	Токарно-гвинторізний верстат 1K62A
020	Токарна Обробити зовнішні поверхні	Токарно-гвинторізний верстат 1K62A
025	Свердлильна Свердлити отвори на торці	Радіально-свердлильний верстат 2Ш52
030	Фрезерна Фрезерувати лиски	Вертикально-фрезерний верстат 6Н11
035	Токарна Обробити отвір і торці	Токарно-гвинторізний верстат 1K62A
040	Внутрішньошліфувальна Шліфувати отвір	Спеціальний шліфувальний верстат
045	Хонінгувальна Хонінгувати отвір або розкатати	Хонінгувальний 3K81 або токарно-гвинторізний верстат 1K62A
050	Хромування Тверде хромування центрального отвору, товщина 50-70 мкм	Ванна
055	Внутрішньошліфувальна Шліфувати отвір після хромування	Спеціальний шліфувальний верстат
060	Хонінгувальна Хонінгувати отвір після хромування	Хонінгувальний верстат 3K81
065	Промивальна Промити по типовій технології	Спеціальне обладнання

Аналіз типового технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Циліндр» дозволяє зробити наступні висновки:

- схема обробки може бути прийнята за основу;
- методи обробки можуть бути використані такі ж;
- враховуючи тип виробництва доцільно застосувати верстати з ЧПК.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ГІЛЬЗА ГЦ.21.002»

2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі

2.1.1 Якісний аналіз технологічності деталі

Деталь «Гільза ГЦ.21.002» служить корпусом в складі потужного гідроциліндра. Випускається в умовах серійного виробництва. В деталі немає необхідності спрощувати її конструкцію, оскільки вона не має важкооброблюваних місць.

Так як деталь виготовляється в умовах серійного виробництва, то необхідно застосовувати високопродуктивні методи обробки.

Деталь має проточки, канавки, різьби, розміри яких уніфіковані. Тому ці розміри можна отримати універсальними інструментами. Важкодоступних місць для обробки немає.

Технологічні та вимірювальна бази можна сумістити при обробці наступних розмірів: 135, 175, 140, 30, 35, 62.

Допустимі відхилення розмірів, шорсткості, відхилення геометричної форми та взаємного розташування поверхонь відповідають призначенню деталі і не суперечать один одному.

Для базування можна використовувати наступні поверхні: торці $\varnothing 190h11_{(-0,29)}$, $\varnothing 200$. Введення штучних технологічних баз не потрібно.

Додатковою технологічною операцією є полірування поверхні $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$. Від неї неможливо відмовитись, так як службове призначення деталі вимагає дуже низької шорсткості на цій поверхні, що досягається поліруванням.

В умовах серійного виробництва найбільш раціональним і дешевим методом отримання заготовки є прокат (труба) або штампування на горизонтальних кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП), горизонтально-кувальних машинах (ГКМ).

Деталь має уніфіковані елементи: отвори, фаски та інші, що дає змогу застосовувати стандартний ріжучий інструмент. Всі розміри деталі можна виміряти стандартним вимірювальним інструментом.

2.1.2 Кількісний аналіз технологічності деталі

Технологічність деталі будемо оцінювати за допомогою трьох кількісних показників [1, 9].

Коефіцієнт уніфікації:

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

де Q_{ye} – кількість уніфікованих елементів; Q_e – загальна кількість елементів.

Тоді коефіцієнт уніфікації буде рівним:

$$K_{ye} = \frac{136}{157} = 0,87 > 0,6 .$$

Умова виконується, деталь технологічна.

Коефіцієнт точності:

$$K_{\tau} = 1 - \frac{1}{T_{\varphi}}, \quad (2.2)$$

де T_{φ} – середній квалітет точності;

$$T_{\varphi} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (2.3)$$

де T_i – квалітет точності оброблюваних поверхонь даної деталі; n_i – кількість поверхонь деталі, що мають точність T_i квалітету.

Таблиця 2.1 – Дані для розрахунку коефіцієнта уніфікації

Розміри				
Лінійні	Діаметральні	Різьбові	Кутові	Шорсткість
600*	ø200*	M180×4-8g	45° (5 розм.)*	12,5 (66 пов.)*
350	ø194 (2 розм.)	M20-7H (8	30° (2 розм.)*	6,3*
175	ø190h11 _(-0,29) *	розм.)*	30±1°*	3,2 (4 пов.)*
140*	ø174	M20×1,5-7H		1,6*
135	ø162,2	(2 розм.)*		0,4*
62	ø161			
60*	ø160H9 ^(+0,1) *			
45* (2 розм.)	ø156			
35 (8 розм.)	ø127,6			
30* (8 розм.)	ø125H8 ^(+0,063) *			
25 ^{+0,13} * (2	R2,0*			
розм.)	R1,0 (2 розм.)*			
15*	R0,5 (5 розм.)*			
8* (2 розм.)				
7				
3* (3 розм.)				
2,5*				
2* (8 розм.)				
1,6* (2 розм.)				
$\sum_{\text{заг}} = 46$	$\sum_{\text{заг}} = 19$	$\sum_{\text{заг}} = 11$	$\sum_{\text{заг}} = 8$	$\sum_{\text{заг}} = 73$
$\sum_{\text{уніф}} = 33$	$\sum_{\text{уніф}} = 12$	$\sum_{\text{уніф}} = 10$	$\sum_{\text{уніф}} = 8$	$\sum_{\text{уніф}} = 73$

Таблиця 2.2 – Розрахунок коефіцієнта точності обробки

Квалітет	Розміри	Кількість розмірів	Розрахунок
8	ø125H8 ^(+0,063)	1	8×1=8
9	ø160H9 ^(+0,1)	1	9×1=9
11	ø190h11 _(-0,29) ; 25 ^{+0,13} (2 розм.)	3	11×3=33
14	всі інші	68	14×68=952
Всього		73	1002

Отже,

$$T_{\varphi} = \frac{1002}{73} = 13,73 ;$$

$$K_{\tau} = 1 - \frac{1}{13,73} = 0,93 > 0,8 .$$

Умова виконується, деталь технологічна.

Коефіцієнт шорсткості:

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

де $Ш_{\varphi}$ – середня шорсткість поверхні.

$$Ш_{\varphi} = \frac{\sum Ш_{\kappa} \cdot n_{\kappa}}{\sum n_{\kappa}}, \quad (2.5)$$

де $Ш_{\kappa}$ – шорсткість оброблюваних поверхонь даної деталі; n_{κ} – кількість поверхонь, що мають шорсткість, яка відповідає певному числовому значенню R_a .

Таблиця 2.3 – Розрахунок коефіцієнта шорсткості поверхонь

Шорсткість	Кількість поверхонь	Розрахунок
0,4 ($\varnothing 125H8^{(+0,063)}$)	1	$0,4 \times 1 = 0,4$
1,6 ($\varnothing 160H9^{(+0,1)}$)	1	$1,6 \times 1 = 1,6$
3,2 (600; 194 (2 пов.); M180×4-8g)	4	$3,2 \times 4 = 12,8$
6,3 ($\varnothing 190h11_{(-0,29)}$)	1	$6,3 \times 1 = 6,3$
12,5 (всі інші)	66	$12,5 \times 66 = 825$
Всього	73	846,1

Отже,

$$Ш_{\varphi} = \frac{846,1}{73} = 11,59 ;$$

$$K_{ш} = \frac{1}{11,59} = 0,09 < 0,32 .$$

Умова виконується, деталь технологічна.

Таким чином, деталь за кількісними показниками технологічна.

2.2 Визначення типу виробництва і форми організації робіт

2.2.1 Визначення типу виробництва

Тип виробництва визначається за коефіцієнтом закріплення операцій за формулою [1, 9]:

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

де $\sum O_i$ – кількість операцій, які виконуються на дільниці;

$\sum P_i$ – кількість робочих місць на дільниці.

Згідно креслення деталі встановлені найбільш характерні переходи механічної обробки деталі «Гільза ГЦ.21.002»:

- розточування поверхні $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$ попереднє (12 квалітет);
- розточування поверхні $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$ попереднє (10 квалітет);
- розточування поверхні $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$ остаточне (8 квалітет);
- точіння поверхні $\varnothing 200$ однократне;
- точіння поверхні $\varnothing 190h11_{(-0,29)}$ попереднє (13 квалітет);
- точіння поверхні $\varnothing 190h11_{(-0,29)}$ остаточне (11 квалітет);
- розточування поверхні $\varnothing 160H9^{(+0,1)}$ попереднє (12 квалітет);
- розточування поверхні $\varnothing 160H9^{(+0,1)}$ попереднє (10 квалітет);
- розточування поверхні $\varnothing 160H9^{(+0,1)}$ остаточне (9 квалітет).

Визначення штучно-калькуляційного часу для кожного переходу здійснюється за формулою [1, 9]:

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

де T_o – основний час обробки, хв.;

φ_k – коефіцієнт, що залежить від типу виробництва та типу верстатів, що використовуються для обробки даної партії деталей.

Для кожного переходу механічної обробки необхідна кількість верстатів

$$C_{pi} = \frac{N \cdot T_{шт.-к.}}{60 F_o \cdot \eta_{з.н.}} [\text{шт.}], \quad (2.8)$$

де $N = 1000$ шт. – річна програма випуску деталі «Гільза ГЦ.21.002»;

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

F_o – дійсний річний фонд часу (при двохзмінній роботі);

$\eta_{з.н.}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання ($\eta_{з.н.} = 0,8$).

Таблиця 2.4 – Характерні переходи обробки

Переходи механічної обробки	$T_o \times 10^{-3}$, хв	φ_k	$T_{шт.-к.}$, хв	C_p	P	$\eta_{з.ф.}$	$\eta_{з.н.}$	O	$K_{з.о.}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розточування поверхні Ø125H8 ^(+0,063) попереднє (12 квалітет)	$0,18d \cdot l =$ $=0,18 \cdot 125 \cdot 425 =$ $=9,562$	1,35	12,91	0,064	1	0,064	0,85	13,28	15,2
Розточування поверхні Ø125H8 ^(+0,063) попереднє (10 квалітет)	$0,2d \cdot l =$ $=0,2 \cdot 125 \cdot 425 =$ $=10,625$	1,35	14,34	0,072	1	0,072	0,85	11,81	
Розточування поверхні Ø125H8 ^(+0,063) остаточне (8 квалітет)	$0,3d \cdot l =$ $=0,3 \cdot 125 \cdot 425 =$ $=15,938$	1,35	21,52	0,108	1	0,108	0,85	7,87	
Точіння поверхні Ø200 однократне	$0,17d \cdot l =$ $=0,17 \cdot 200 \cdot 350 =$ $=11,9$	1,35	16,065	0,08	1	0,08	0,85	10,63	
Точіння поверхні Ø190h11 _(-0,29) попереднє (13 квалітет)	$0,17d \cdot l =$ $=0,17 \cdot 190 \cdot 250 =$ $=8,075$	1,35	10,901	0,054	1	0,054	0,85	15,74	
Точіння поверхні Ø190h11 _(-0,29) остаточне (11 квалітет)	$0,18d \cdot l =$ $=0,18 \cdot 190 \cdot 20 =$ $=8,55$	1,35	11,543	0,058	1	0,058	0,85	14,66	
Розточування поверхні Ø160H9 ^(+0,1) попереднє (12 квалітет)	$0,18d \cdot l =$ $=0,18 \cdot 100 \cdot 175 =$ $=5,04$	1,35	6,804	0,034	1	0,034	0,85	25	
Розточування поверхні Ø160H9 ^(+0,1) попереднє (10 квалітет)	$0,2d \cdot l =$ $=0,2 \cdot 160 \cdot 175 =$ $=5,6$	1,35	7,56	0,038	1	0,038	0,85	22,37	
Розточування поверхні Ø160H9 ^(+0,1) остаточне (9 квалітет)	$0,3d \cdot l =$ $=0,3 \cdot 160 \cdot 175 =$ $=8,4$	1,35	11,34	0,056	1	0,056	0,85	15,18	

Одержану розрахункову кількість верстатів заокруглено до найближчого більшого числа і одержано прийняту кількість верстатів

$$- C_{p1} = \frac{1000 \cdot 12,91}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,064 ; \quad P = 1 \text{ шт.};$$

$$- C_{p2} = \frac{1000 \cdot 14,36}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,072 ; \quad P = 1 \text{ шт.};$$

$$- C_{p3} = \frac{1000 \cdot 21,52}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,108 ; \quad P = 1 \text{ шт.};$$

$$- C_{p4} = \frac{1000 \cdot 16,065}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,08 ; \quad P = 1 \text{ шт.};$$

$$- C_{p5} = \frac{1000 \cdot 10,901}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,054 ; \quad P = 1 \text{ шт.};$$

$$- C_{p6} = \frac{1000 \cdot 11,543}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,058 ; \quad P = 1 \text{ шт.};$$

$$- C_{p7} = \frac{1000 \cdot 6,804}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,034 ; \quad P = 1 \text{ шт.};$$

$$- C_{p8} = \frac{1000 \cdot 7,56}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,038 ; \quad P = 1 \text{ шт.};$$

$$- C_{p9} = \frac{1000 \cdot 11,34}{60 \cdot 3890 \cdot 0,85} = 0,056 ; \quad P = 1 \text{ шт.}$$

Визначено фактичний коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{\gamma.\phi.} = \frac{C_{pi}}{P_i}, \quad (2.9)$$

де C_{pi} – необхідна кількість верстатів для виконання даної операції;

P_i – кількість робочих місць для виконання даної операції.

$$\begin{aligned}
- \eta_{z,\phi,1} &= \frac{0,064}{1} = 0,064 ; & - \eta_{z,\phi,5} &= \frac{0,054}{1} = 0,054 ; \\
- \eta_{z,\phi,2} &= \frac{0,072}{1} = 0,072 ; & - \eta_{z,\phi,6} &= \frac{0,058}{1} = 0,058 ; \\
- \eta_{z,\phi,3} &= \frac{0,108}{1} = 0,108 ; & - \eta_{z,\phi,7} &= \frac{0,034}{1} = 0,034 ; \\
- \eta_{z,\phi,4} &= \frac{0,08}{1} = 0,08 ; & - \eta_{z,\phi,8} &= \frac{0,038}{1} = 0,038 ; \\
- \eta_{z,\phi,9} &= \frac{0,056}{1} = 0,056 .
\end{aligned}$$

Встановлено кількість операцій, які виконуються на i -му місці:

$$O_i = \frac{\eta_{z,n}}{\eta_{z,\phi,i}}, \quad (2.10)$$

де $\eta_{z,n}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання;

$\eta_{z,\phi,i}$ – фактичний коефіцієнт завантаження обладнання, на i -ій операції.

$$\begin{aligned}
- O_1 &= \frac{0,85}{0,064} = 13,28 ; & - O_5 &= \frac{0,85}{0,054} = 15,74 ; \\
- O_2 &= \frac{0,85}{0,072} = 11,81 ; & - O_6 &= \frac{0,85}{0,058} = 14,66 ; \\
- O_3 &= \frac{0,85}{0,108} = 7,87 ; & - O_7 &= \frac{0,85}{0,034} = 25 ; \\
- O_4 &= \frac{0,85}{0,08} = 10,63 ; & - O_8 &= \frac{0,85}{0,038} = 22,37 ; \\
- O_9 &= \frac{0,85}{0,056} = 15,18 .
\end{aligned}$$

Коефіцієнт закріплення операцій $K_{z,o}$:

$$K_{\text{с.с.}} = \frac{13,28 + 11,81 + 7,87 + 10,63 + 15,74 + 14,66 + 25 + 22,37 + 15,18}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1} = 15,2,$$

що відповідає середньосерійному виробництву, оскільки, коефіцієнт закріплення знаходиться в межах від 10 до 20. Отже, тип виробництва – середньосерійний.

2.2.2 Визначаємо форму організації роботи

Потрібний добовий випуск виробів:

$$N_d = \frac{N}{254} \text{ [шт.]}; \quad (2.11)$$

$$N_d = \frac{1000}{254} = 3,94 \rightarrow 4 \text{ (шт.)},$$

де 254 – кількість робочих днів в році.

Добова продуктивність лінії

$$Q_d = \frac{F_d}{T_{\text{шт}} - K_{\text{пер}}} \cdot \eta_s \text{ [шт.]}, \quad (2.12)$$

де F_d – добовий фонд часу роботи обладнання (при двозмінному режимі роботи дорівнює 952 хв.); $T_{\text{шт}} - K_{\text{пер}}$ – середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів, хв.; η_s – добовий коефіцієнт завантаження потокової лінії.

$$T_{\text{шт}} - K_{\text{пер}} = \frac{\sum T_{\text{шт}} - K_i}{\sum n_i} \text{ [хв.]}, \quad (2.13)$$

де $T_{шт-к_i}$ – штучно-калькуляційний час виконання i -го переходу, хв.;
 $\sum n_i$ – сумарна кількість виконуваних переходів.

Відповідно середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів становитиме:

$$T_{шт-к_{ср}} = \frac{12,91 + 14,34 + 21,52 + 16,065 + 10,901 + 11,543 + 6,804 + 7,56 + 11,34}{9} =$$

$$= 12,55 \text{ (хв.)}$$

Отже, добова продуктивність лінії становитиме:

$$Q_d = \frac{952}{12,55 \cdot 0,85} = 89,24 \rightarrow 90 \text{ (шт.)}$$

Оскільки $N_d < Q_d$, то приймається групова форма організації роботи.

Тоді кількість деталей в партії для одночасного запуску:

$$n = \frac{N \cdot a}{254} \text{ [шт.]}, \quad (2.14)$$

де a – періодичність запуску деталей на обробку, в днях (6 днів).

$$n = \frac{1000 \cdot 6}{254} = 23,6 \rightarrow 24 \text{ (шт.)}$$

Розрахункова кількість змін, що потрібна на обробку всієї партії деталей

$$C = \frac{T_{шт-к_{ср}} \cdot n}{476 \cdot 0,85} = \frac{12,55 \cdot 24}{476 \cdot 0,85} = 0,74 ; \quad C_{кр} = 1 \text{ зміна.}$$

Кількість деталей в партії для завантаження обладнання на протязі цілого числа змін

$$n = \frac{C_{\text{сп}} \cdot 476 \cdot 0,85}{T_{\text{шт-к сп}}} = \frac{1 \cdot 476 \cdot 0,85}{12,55} = 32,24 \rightarrow 33 \text{ (шт.)}$$

Прийнято $n = 33$ шт.

Висновок: тип виробництва – середньосерійний, форма організації роботи – групова, кількість деталей в партії – 33 штуки.

2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

2.3.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки

Дана деталь – «Гільза ГЦ.21.002» випускається в умовах серійного виробництва, оскільки маса деталі 69,67 кг, а програма випуску $N = 1000$ шт.

Матеріал деталі – сталь 45, у якої ливарні властивості відносно погані, то заготовку можна виготовити методом пластичного деформування або із стандартного прокату.

Можливі способи виготовлення заготовки [10-12]:

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

Проаналізувавши різні способи виготовлення заготовок можна зробити висновок, що для даного типу виробництва найбільш доцільним та економічним будуть такі способи виготовлення заготовки, як штампування на гідравлічних пресах та з трубного прокату, оскільки перепади діаметрів

зовнішніх і внутрішніх поверхонь незначні. Контур деталі за своєю конфігурацією наближається до профілю прокату. При виготовленні заготовки за допомогою гідравлічного преса вихідною заготовкою доцільно використовувати трубний прокат.

2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки для двох способів її виготовлення [10]

Розглянемо перший варіант виготовлення заготовки – штампування на гідравлічному пресі і, відповідно, виберемо її параметри. Відповідно до типу виробництва та складності конфігурації деталі (проста) будемо вибирати з рядів менші значення параметрів [10].

При штампуванні використовуються відкриті штампи. Оскільки перепади діаметрів на деталі незначні, в якості заготовки можна використовувати прокат. При цьому відсутній заусенець, що зменшує витрати матеріалу та виключає необхідність у відрізанні його.

Згідно [10] на гідравлічному пресі при серійному типові виробництва отримуються заготовки деталі четвертого (Т4), п'ятого (Т5) класів точності.

Деталь виготовляється із Сталі 45, що відповідно містить 0,45% вуглецю, тобто даний матеріал відноситься до другої групи (М2).

Для того, щоб визначити ступінь складності поковок, що є одною із конструктивних характеристик форми поковок, необхідно попередньо обчислити масу штамповки. Скористаємося формулою для орієнтовного розрахунку:

$$M_{п.р.} = M_{д} \cdot K_p \text{ [кг]}, \quad (2.15)$$

де $M_{п.р.}$ – розрахункова маса поковки; $M_{д}$ – маса деталі; K_p – розрахунковий коефіцієнт, що для корпусу даної конфігурації дорівнює 1,45.

Відповідно отримаємо:

$$M_{п.р.} = 69,67 \cdot 1,45 = 101,02 \text{ (кг)}.$$

Корпус вписується у пустотілий циліндр, маса якого складатиме:

$$M = V \cdot \rho = (V_1 - V_2) \cdot \rho \text{ [кг]}, \quad (2.16)$$

де V_1 – об’єм циліндра, см^3 ;

де V_2 – об’єм отвору циліндра, см^3 ;

ρ – густина матеріалу заготовки, г/см^3 ;

$$V_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot H = 0,785 \cdot (20 \cdot 1,05)^2 \cdot 60 \cdot 1,05 = 21809,66 \text{ (см}^3\text{)};$$

$$V_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot H = 0,785 \cdot (12,5 \cdot 0,95)^2 \cdot 60 \cdot 1,05 = 6973,93 \text{ (см}^3\text{)};$$

де d_1 – зовнішній діаметр циліндра, см ;

d_2 – внутрішній діаметр циліндра, см ;

$$V_1 - V_2 = 21809,66 - 6973,93 = 14835,73 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Тоді

$$M = 14835,73 \cdot 7,8 = 115718,65 \text{ (г)} \approx 115,72 \text{ (кг)}.$$

Відношення маси поковки до маси фігури: $101,02/115,72 = 0,87$.

Отже, згідно із [10] поковка матиме 1 ступінь складності (С1).

Роз’єм встановлюється в площині найбільших габаритних розмірів (дивися креслення поковки). В цьому випадкові полості штампа є неглибокими, полегшується їх заповнення, зменшуються напуски. З врахуванням наведеного вище обрано плоску площину роз’єму, яка проходить через вісь циліндра.

Згідно [10] вихідний індекс з врахуванням отриманих вище даних складатиме – 16.

Припуск на механічну обробку включає основний, а також додаткові припуски, що враховують відхилення форми поверхні.

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

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

При розрахунку розмірів заготовки основні і додаткові припуски сумуються.

Допуски розмірів вибираються в залежності від розміру і індексу [10].

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

Отримані результати заносимо до таблиці 2.6.

Вибір конструктивних елементів заготовки

Радіуси заокруглень прийняті рівними 8 мм, з врахуванням того, що глибина полості штампа складає більше 100 мм, при цьому допуск на радіус заокруглення дорівнює 3 мм.

Для полегшення виймання заготовки із штампу зовнішні поверхні робляться з штампувальним нахилом – 5° , а внутрішні поверхні – 7° .

Таблиця 2.6 – Розрахунок розмірів штапованої заготовки на гідравлічному пресі

Вхідні дані	Гідравлічний прес				
Клас точності	Т4				
Марка матеріалу	М2				
Ступінь складності	С1				
Індекс	16				
Конфігурація поверхні роз'єму штамп	П				
	Розрахункові розміри, мм				
Припуски:	200 _{-1,15}	Ø125H8 ^(+0,063)	Ø160H9 ^(+0,1)	600 _{-1,75}	175
Основні	2,4	3,0	2,7	3,2	3,0
Додаткові: на зміщення по поверхні роз'єму штамп	–	–	–	0,3	0,3
для врахування вигнутості і відхилення від площин, прямолінійності	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	Розміри заготовок, мм				
	Ø206,4	Ø117,4	Ø153	608	175,2
Допуски: розмірів	4,5 _{-1,5} ^{+3,0}	4,0 _{-1,3} ^{+2,7}	4,0 _{-1,3} ^{+2,7}	5,6 _{-1,9} ^{+3,7}	4,5 _{-1,5} ^{+3,0}
зміщення по поверхні роз'єму штамп	1,4				
по вигнутості від площинності, прямолінійності	1,6				
радіусів заокруглень	8,0				
величина залишкового облою	1,6				
від концентричності отворів	2,5				

Другий варіант виготовлення заготовки – прокат трубний.

В нашому випадку доцільно буде вибрати з сортаменту трубу. Для спрощення розрахунків при виборі труби з сортаменту можна скористатись припусками, що вибрані згідно табличних даних [10].

Для вибору трубного покату необхідно знати припуски на обробку $\varnothing 200$, отвору $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$, обробки торців в розмір 600.

Методи обробки і припуски згідно [9] наступні:

- $\varnothing 200$ мм: точіння однократне, припуск 2,4 мм, тобто діаметр заготовки повинен бути $\varnothing 204,8$ мм;

- $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$: розточування попереднє (12 кв.), припуск 1,5 мм;
розточування попереднє (9 кв.), припуск 0,7 мм;
розточування остаточне (8 кв.), припуск 0,3 мм;

Сумарний припуск 2,5 мм. Отже, діаметр отвору в заготовці повинен бути $\varnothing 120$ мм.

- довжина деталі 600 мм: підрізання торця правого попереднє, припуск 3,2 мм; підрізання торця правого остаточне, припуск 1,9 мм; підрізання торця лівого однократне, припуск 3,2 мм;

сумарний припуск на обробку торців 8,3 мм. Отже, довжина заготовки повинна складати 608,3 мм.

Згідно сортаменту для безшовних гарячедеформованих труб розміри наступні, мм:

- $\varnothing 203$; $\varnothing 219$;
- товщини стінок 40; 45; 50.

Можна вибрати розміри трубного прокату $\varnothing 219 \times 50$. Тоді по поверхні $\varnothing 200$ мм крім припуску 4,8 мм необхідно буде зняти напуск 14,2 мм (7,1 мм на сторону).

По отвору $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$ – розмір заготовки $\varnothing 119$ мм, а потрібно мати $\varnothing 120$, тобто ми можемо вибрати такий прокат маючи напуск 1 мм (0,5 мм на сторону).

Другий варіант рішення може бути таким – вибрати трубний прокат $\varnothing 203 \times 40$. Тоді по зовнішньому діаметру $\varnothing 200$ недостатньо 1,8 мм для обробки,

по отвору $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$ недостатньо 3 мм. Може бути виконано осаджування заготовки більшої довжини до потрібних розмірів ($\varnothing 104,8$ і $L = 608,3$), зникне необхідність знімати напуски.

В якості остаточного варіанту прийнято друге рішення.

З сортаменту найбільш підходящим варіантом прокату є

$$\text{Труба} \frac{203 \times 40 \text{ ГОСТ } 8732 - 78}{B 45 \text{ ГОСТ } 8731 - 74}.$$

2.3.3 Оформлення ескізів обох варіантів заготовки

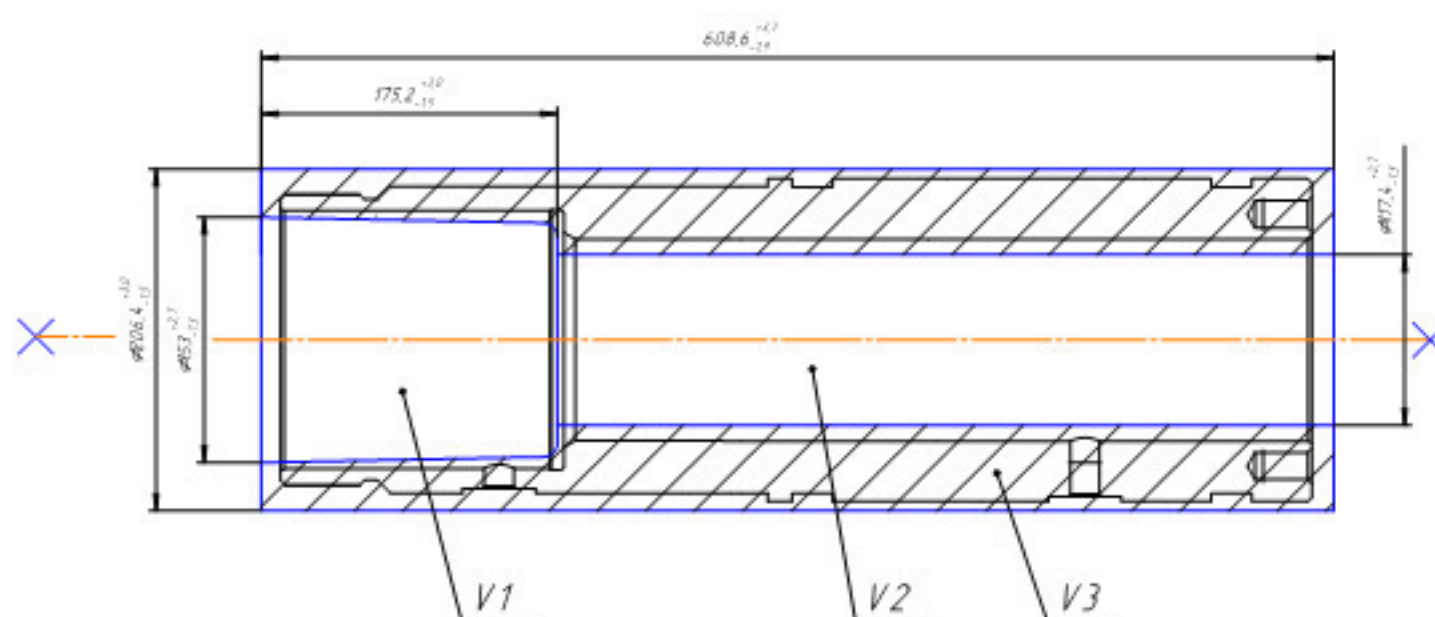


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки виготовленої на гідравлічному пресі

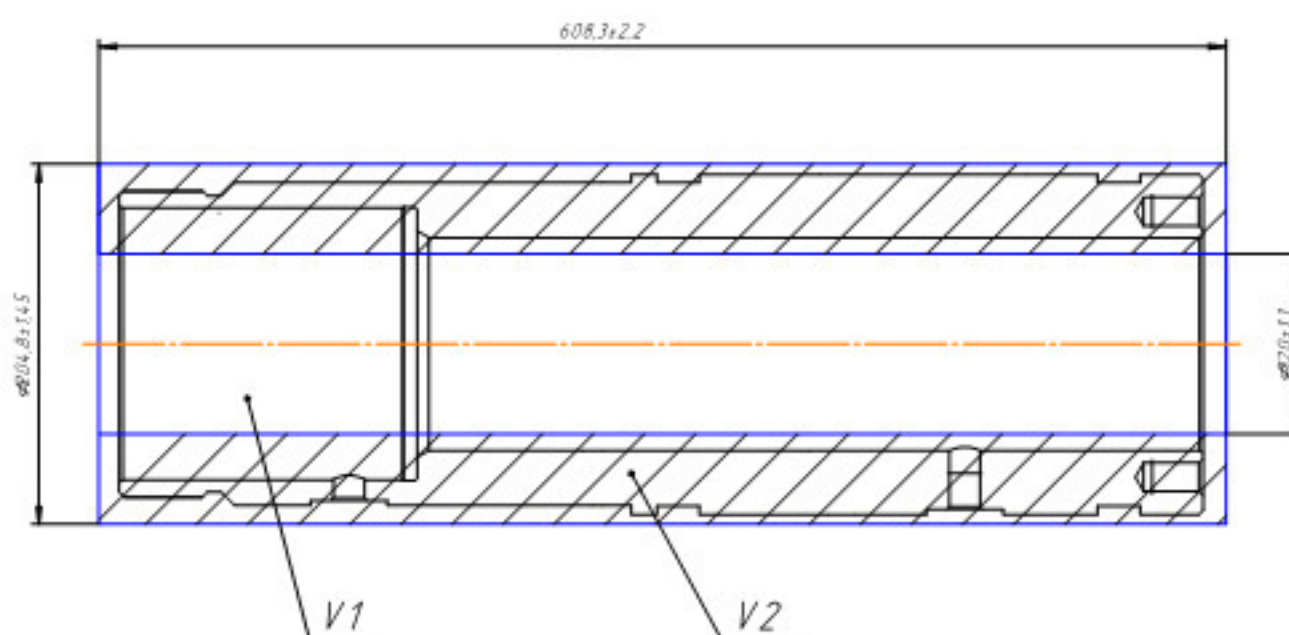


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки виготовленої з прокату

2.3.4 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси двох варіантів заготовки

Маса заготовки виготовлена на гідравлічному пресі визначається за формулою:

$$G = V_{\text{заг}} \cdot \rho \text{ [кг]}, \quad (2.17)$$

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

ρ – густина матеріалу заготовки, (сталь 45, $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$).

Загальний об'єм заготовки виготовленої на гідравлічному пресі розіб'ємо на елементарні об'єми (рис. 2.1).

$$V_{\text{заг}} = V_3 - V_2 - V_1,$$

де $V_1 = 3,14 \cdot 0,0765^2 \cdot 0,1752 = 0,0032 \text{ (м}^3\text{)}$;

$V_2 = 3,14 \cdot 0,0587^2 \cdot 0,4334 = 0,0047 \text{ (м}^3\text{)}$;

$V_3 = 3,14 \cdot 0,1032^2 \cdot 0,6086 = 0,0204 \text{ (м}^3\text{)}$;

$$V_{\text{заг}} = 0,0204 - 0,0047 - 0,0032 = 0,0125 \text{ (м}^3\text{)};$$

$$G = 7800 \cdot 0,0125 = 97,5 \text{ (кг)}.$$

Коефіцієнт точності маси заготовки виготовленої на гідравлічному пресі:

$$\gamma = G_{\text{дст}}/G_{\text{заг}} = 69,67/97,5 = 0,715.$$

Загальний об'єм заготовки виготовленої з прокату розіб'ємо на елементарні об'єми (рис. 2.2)

$$V_{\text{заг}} = V_1 - V_2 ;$$

де $V_1 = 3,14 \cdot 0,1024^2 \cdot 0,6083 = 0,0204 \text{ (м}^3\text{)}$;

$V_2 = 3,14 \cdot 0,0600^2 \cdot 0,6086 = 0,0066 \text{ (м}^3\text{)}$;

$$V_{\text{дет}} = 0,0204 - 0,0066 = 0,014 \text{ (м}^3\text{)};$$

$$G = 7800 \cdot 0,014 = 107,27 \text{ (кг)}.$$

Коефіцієнт точності маси заготовки виготовленої з прокату:

$$\gamma = G_{\text{дет}}/G_{\text{заг}} = 69,67/107,27 = 0,65.$$

Масу заготовки для двох способів виготовлення визначено також за допомогою 3D-моделювання, що підтвердило проведені розрахунки.

Бачимо, що в першому і другому варіантах коефіцієнт точності маси заготовки відрізняється – у випадку поковки на гідравлічних пресах $\gamma = 0,715$, а у випадку заготовки з сортаменту $\gamma = 0,65$, що в принципі в серійному виробництві краще, так як використання штампів в цьому типі виробництва є не досить доцільним і його доцільність можна визначити тільки більш детальними розрахунками. Остаточне рішення ми приймемо при порівнянні двох техпроцесів враховуючи додатково собівартість заготовки, виготовленої штампуванням та із трубного прокату.

2.3.5 Техніко-економічне порівняння двох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого

Вартість заготовки визначаємо за формулою [10]:

$$C_{\text{дет}} = \left(\frac{G_{\text{заг}}}{1000} \cdot C_{\text{шт}} \cdot K_{\gamma} \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{\Pi} \right) - \left(\frac{G_{\text{заг}} - G_{\text{дет}}}{1000} \right) \cdot C_{\text{відх}} \text{ [грн.]}, \quad (2.18)$$

де $C_{\text{шт}}$ – базова вартість 1 т штамповки; K_{γ} – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовок; K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки; K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки; K_B – коефіцієнт, що

враховує масу заготовки, вибираємо згідно; K_{Π} – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва; $C_{\text{відх}}$ – вартість 1 т стружки, для сталі $C_{\text{відх}} = 2200$ грн./т.

Призначаємо коефіцієнти: $K_T = 1$; $K_M = 1,13$; $K_C = 0,87$; $K_B = 0,85$; $K_{\Pi} = 1$.

- Штампування на гідравлічному пресі:

$$C_{\text{заг. пр.}} = \frac{97,5}{1000} \cdot 21730 \cdot 1,0 \cdot 1,13 \cdot 0,75 \cdot 0,7 \cdot 1,0 - \frac{(97,5 - 69,67)}{1000} \cdot 2200 = 1195,7 \text{ (грн.)}$$

- Прокат:

$$C_{\text{заг. пр.}} = \frac{107,27}{1000} \cdot 13700 \cdot 1,0 \cdot 1,13 \cdot 0,75 \cdot 0,67 \cdot 1,0 - \frac{(107,27 - 69,67)}{1000} \cdot 2200 = 751,76 \text{ (грн.)}$$

Після розрахунку вартості заготовок бачимо, що вартість виготовлення заготовки із трубного прокату є нижчою, ніж вартість заготовки виготовленої штампуванням.

Для прийняття остаточного рішення щодо вибору варіанту виготовлення заготовки необхідно врахувати собівартість виконання попередньої обробки $\emptyset 160\text{H9}^{(+0,1)}$ і додати її до собівартості виготовлення заготовки із прокату, так як при такому варіанті заготовки деталі він відсутній, а в заготовці деталі, виготовленої штампуванням на гідравлічному пресі він є.

Собівартість обробки [10]:

$$C_{\text{обр}} = \frac{C_{\text{н-з}} \cdot T_{\text{шт-к}}}{60 \cdot K_{\text{н}}} \text{ [грн.]}, \quad (2.19)$$

де $C_{\text{н-з}}$ – хвилинні приведені витрати, грн./год.;

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

$K_{\text{н}}$ – коефіцієнт виконання норм.

$T_{\text{шт-к}}$ визначається згідно формули

$$T_{\text{мш-к}} = T_o \cdot \varphi_k \text{ [хв.]}, \quad (2.20)$$

де T_o – основний час обробки, хв.;

φ_k – коефіцієнт.

$$T_o = 0,18 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} \text{ [хв.]}, \quad (2.21)$$

де d – діаметр обробки, мм;

l – довжина обробки, мм.

$$T_o = 2 \cdot 0,18 \cdot 153 \cdot 175 \cdot 10^{-3} = 9,64 \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{мш-к}} = 9,64 \cdot 1,3 = 12,53 \text{ (хв.)}$$

Тоді

$$C_{\text{обр}} = \frac{39 \cdot 12,53}{60 \cdot 1,3} = 6,27 \text{ (грн.)}$$

$C_{\text{н-г}}$, φ_k вибрано для серійного виробництва при умові обробки деталі на токарно-револьверному верстаті з ЧПК.

Тоді вартість заготовки із трубного прокату

$$C_{\text{заг.пр}} = 751,76 + 6,27 = 758,03 \text{ (грн.)}$$

Тому, приймаємо рішення виготовляти заготовку із трубного прокату.

Економічний ефект

$$E = (C_{\text{заг.шт}} - C_{\text{заг.пр}}) \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (2.22)$$

$$E = (1195,7 - 758,03) \cdot 1000 = 437670 \text{ (грн.)}$$

З урахуванням осаджування прокату економічний ефект зменшиться. Наприклад, якщо прийняти вартість осаджування так як штампування 1 т заготовок, тобто 21730 грн./т, то для однієї заготовки це буде складати 152,11 грн. Тоді остаточний економічний ефект

$$E = (1195,7 - 910,14) \cdot 1000 = 285560 \text{ (грн.)}$$

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

Визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$.

Отвір $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$ служить як напрямна для поршня в складі потужного гідроциліндра тому до цієї поверхні призначенні досить високі вимоги щодо точності і низької шорсткості. Так як заготовка виконана з трубного прокату, то відсутня необхідність виконувати обдирочні роботи, токарні операції одразу можна виконувати на токарних верстатах. Отвір $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$ попередньо необхідно розточувати. Якщо обробка ведеться на універсальному обладнанні, то після токарної операції можна отримати 10 квалітет точності поверхні, тоді наступною операцією буде шліфувальна, на якій отримується 8 квалітет точності поверхні, а остаточно поверхня буде доводитись до шорсткості $Ra\ 0,4$ на полірувальному верстаті.

Іншим варіантом може бути використання обладнання з ЧПК. Після попереднього розточування отвору $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$, наприклад на токарному верстаті з ЧПК, можна уникнути шліфувальної операції, а натомість виконати декілька переходів попереднього розточування і тонке розточування, в результаті чого ми отримаємо 8 квалітет точності, але з не досить низькою шорсткістю. Тому остаточно необхідно виконати доводочні операції на полірувальному верстаті.

Ще однією поверхнею з підвищеними вимогами точності є отвір $\varnothing 160H9^{(+0,1)}$. Якщо обробка буде виконуватись на універсальному обладнанні, першою буде токарна операція на якій отримується 11 квалітет точності. Остаточна поверхня може оброблятися на шліфувальному верстаті.

У випадку використання обладнання, наприклад токарного верстата з ЧПК, за допомогою попереднього і остаточного розточування можна отримати необхідні вимоги без використання шліфувальних операцій.

Для точіння поверхні $\varnothing 190h11_{(-0,29)}$ достатньо тільки токарних операцій як у випадку використання обладнання з ЧПК, так і у випадку використання універсального обладнання.

- Визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$

Визначення кількості ступенів механічної обробки виконується на основі розрахунків за формулою загального уточнення:

$$\varepsilon = \frac{T_z}{T_d} = \frac{T_z}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_2}{T_3} \cdot \dots \cdot \frac{T_n}{T_d}, \quad (2.23)$$

де ε – загальне уточнення;

n – число ступенів обробки;

T_z, T_d, T_i – допуски параметра, що розглядається відповідно до заготовки, деталі, i -го ступеня обробки.

Можна записати, що:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \dots \cdot \varepsilon_n, \quad (2.24)$$

де ε_n – окремі ступені уточнення.

Розділяючи загальне уточнення на співмножники (ступені), слід врахувати типові рекомендації:

- для першого ступеня чорнової обробки досяжними є величини уточнення $\varepsilon = 5 \dots 6$;

- для проміжних ступенів напівчистої обробки – $\varepsilon = 3 \dots 4$;

- для ступенів чистої обробки з допусками точності IT5...IT8 – $\varepsilon = 1,5 \dots 2$.

В нашому випадку поверхня під розмір $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$ обробляється із трубного прокату. У гарячекатаної заготовки Труба $\frac{203 \times 40 \text{ ГОСТ } 8732 - 78}{B 45 \text{ ГОСТ } 8731 - 74}$ розмір отвору $\varnothing 123$, допуск $T_3 = 2500$ мкм.

Визначення кількості ступенів механічної обробки для поверхні $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$. Загальне уточнення для цієї поверхні [1, 9]:

$$\varepsilon = 2,5/0,063 = 39,68.$$

Для забезпечення необхідної шорсткості поверхні призначаємо 3 переходи механічної обробки: $\varepsilon_1 = 5$; $\varepsilon_2 = 3$; $\varepsilon_3 = 2$; $\varepsilon_4 = 1,32$.

Допуск розміру після кожного переходу складатиме:

$$T_1 = T_3/\varepsilon_1 = 2500/5 = 500 \text{ (мкм)} \quad (\approx \text{IT12});$$

$$T_2 = T_1/\varepsilon_2 = 500/3 = 166,66 \text{ (мкм)} \quad (\approx \text{IT10});$$

$$T_3 = T_2/\varepsilon_3 = 166,66/2 = 83,33 \text{ (мкм)} \quad (\approx \text{IT9});$$

$$T_4 = T_3/\varepsilon_4 = 83,33/1,32 = 63 \text{ (мкм)} \quad (\text{IT8}).$$

Допуск після першого переходу відповідає 12 квалітету точності, після другого – 10 квалітету, після третього – 9 квалітету, після четвертого – 8 квалітету. Така кількість переходів з такими допусками приймається для того, щоб забезпечити необхідну шорсткість $Ra \ 0,4$ мкм. Оскільки обробляється отвір, то доцільно прийняти способи механічної обробки на верстаті з ЧПК:

- розточування попереднє (12 кв.);
- розточування попереднє (10 кв.);
- розточування остаточне (9 кв.);

- хонінгування отвору (8 кв.).

Для інших точних поверхонь та всіх решта поверхонь розрахунки виконано аналогічно і зведено до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Кількість ступенів та методи обробки поверхонь деталі

Поверхня	$\varepsilon = \frac{T_z}{T_n}$	Розподіл ε	Квалітет, шорсткість	Методи обробки
$\varnothing 125H8^{(+0,063)}$	$\varepsilon = 2,5/0,063 = 39,68$	$5 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1,32$	8; Ra 0,4	Розточування попереднє (12 кв.); розточування попереднє (10 кв.); розточування остаточне (9 кв.); хонінгування отвору (8 кв.)
$\varnothing 160H9^{(+0,1)}$	$\varepsilon = 2,5/0,1 = 25$	$5 \cdot 3 \cdot 1,67$	9; Ra 1,6	Розточування попереднє (12 кв.); розточування попереднє (10 кв.); розточування остаточне (9 кв.)
$\varnothing 162,6; 30^\circ$			14; Ra 12,5	Розточування однократне
$\varnothing 190h11^{(-0,29)}$	$\varepsilon = 2,8/0,29 = 9,66$	$5 \cdot 1,93$	11; Ra 6,3	Точіння попереднє (13 кв.); точіння остаточне (11 кв.)
$3 \times 45^\circ$			14; Ra 12,5	Точіння однократне
$\varnothing 200$			14; Ra 12,5	Точіння однократне
$\varnothing 127,6;$ $2,5 \times 45^\circ; 30^\circ$			14; Ra 12,5	Розточування однократне
$\varnothing 194; 25^{+0,13}$			14; 11; Ra 3,2; Ra 12,5	Точіння попереднє; точіння остаточне
8 отв. M20-7H; $\varnothing 156;$ $2,5 \times 45^\circ; 30;$ 35			14; Ra 12,5	Центрування; свердління; зенкування фаски; нарізання різьби
M180 $\times$ 4-8g			14; Ra 3,2	Точіння однократне; нарізання різьби
$\varnothing 174; 8; 60;$ $45^\circ; R1,0$			14; Ra 12,5	Точіння однократне
$\varnothing 161; 8;$ R0,5; R2,0			14; Ra 12,5	Розточування однократне
7; $30 \pm 1^\circ;$ R2 ⁺¹			14; Ra 12,5	Розточування однократне
45			14; Ra 12,5	Фрезерування однократне
M20 $\times$ 1,5-7H; $1,6 \times 45^\circ;$ 24			14; Ra 12,5	Центрування; Свердління отвору; зенкування фаски; нарізання різьби

2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз

Одним із найскладніших і принципових питань проектування технологічних процесів є призначення технологічних та вимірювальних баз. Від правильного вибору технологічних баз значною мірою залежать: фактична точність виконання розмірів; правильність взаємного розташування поверхонь; ступінь складності пристроїв, різальних та вимірювальних інструментів; загальна продуктивність обробки заготовок. Основні положення, що стосуються технології, класифікації та теорії базування викладені в [1].

Вихідними даними при виборі баз є:

- робоче креслення деталі;
- технічні умови на її виготовлення;
- вид заготовки та стан її поверхонь;
- бажаний ступінь автоматизації.

Основні вимоги точності, з яких ми будемо виходити при виборі чистових баз показані на рис. 2.3.

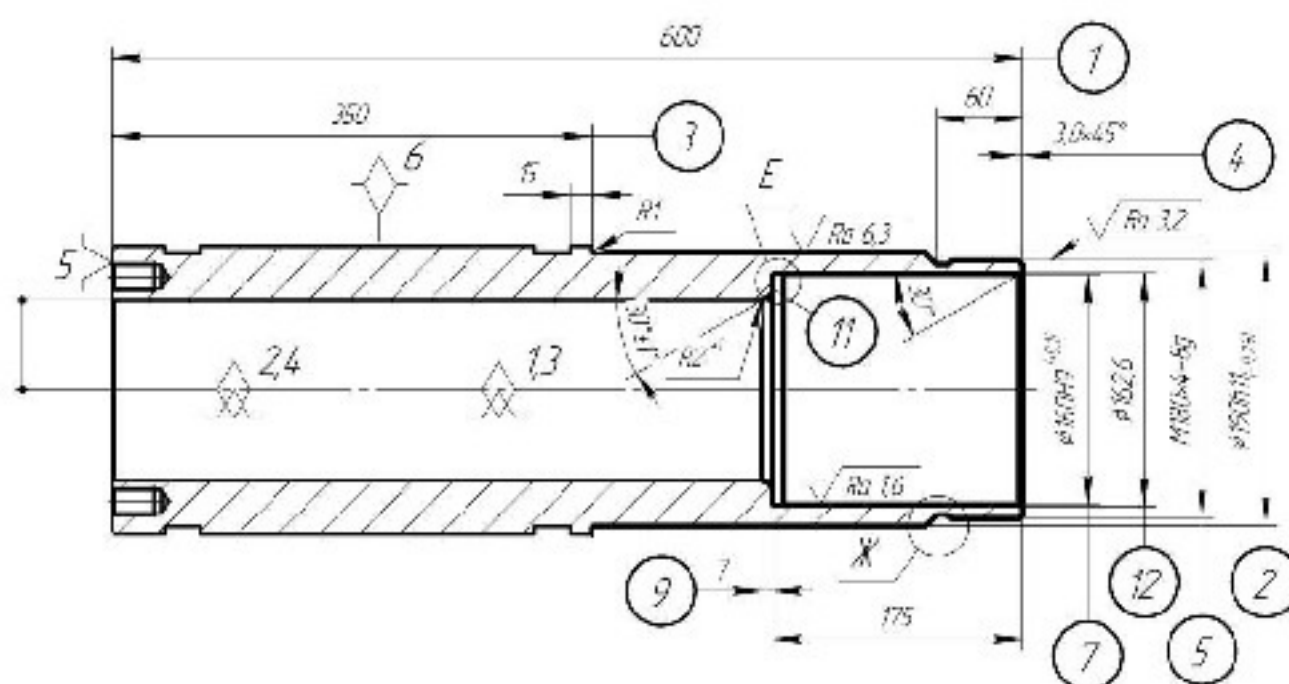


Рисунок 2.3 – Чистові технологічні бази (1 комплект, операція 010)

Чистовими технологічними базами є:

- вісь обробленої поверхні $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$ (4 точки – 1, 3; 2, 4);

- оброблена торцева поверхня $\varnothing 200$ (5 точка).
- шоста точка базування реалізується за рахунок прикладених сил тертя до поверхні $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$.

Це перший комплект чистових технологічних баз.

При даній схемі базування похибка базування на виконуваних розміри:

$\varepsilon_6 (\varnothing 190h11_{(-0,29)}) = 0$; $\varepsilon_6 (\varnothing 162,6) = 0$; $\varepsilon_6 (\varnothing 160H9^{(+0,1)}) = 0$; $\varepsilon_6 (\varnothing 190h11_{(-0,29)}) = 0$; $\varepsilon_6 (\varnothing 174) = 0$; $\varepsilon_6 (\varnothing 161) = 0$ – обробка діаметральних розмірів;

$\varepsilon_6 (175) = 0$; $\varepsilon_6 (135) = 0$; $\varepsilon_6 (60) = 0$; $\varepsilon_6 (3) = 0$; $\varepsilon_6 (7) = 0$; $\varepsilon_6 (8) = 0$ – обробка з одного установа.

Допуск радіального биття 0,1 мм поверхні $\varnothing 190h11_{(-0,29)}$ відносно бази А та допуск торцевого биття 0,025 мм торця 175 відносно бази А виконуються за рахунок співпадання баз.

Другий комплект чистових технологічних баз:

- вісь $\varnothing 200$ (4 точки – 1, 3; 2, 4 – базування на призми);
- оброблена торцева поверхня $\varnothing 190h11_{(-0,29)}$ (5 точка).
- шоста точка по отвору M20-7H.

Обробляються 2 пази розміром $\square 45$ та різьбові отвори M20 $\times$ 1,5-7H (рис. 2.4).

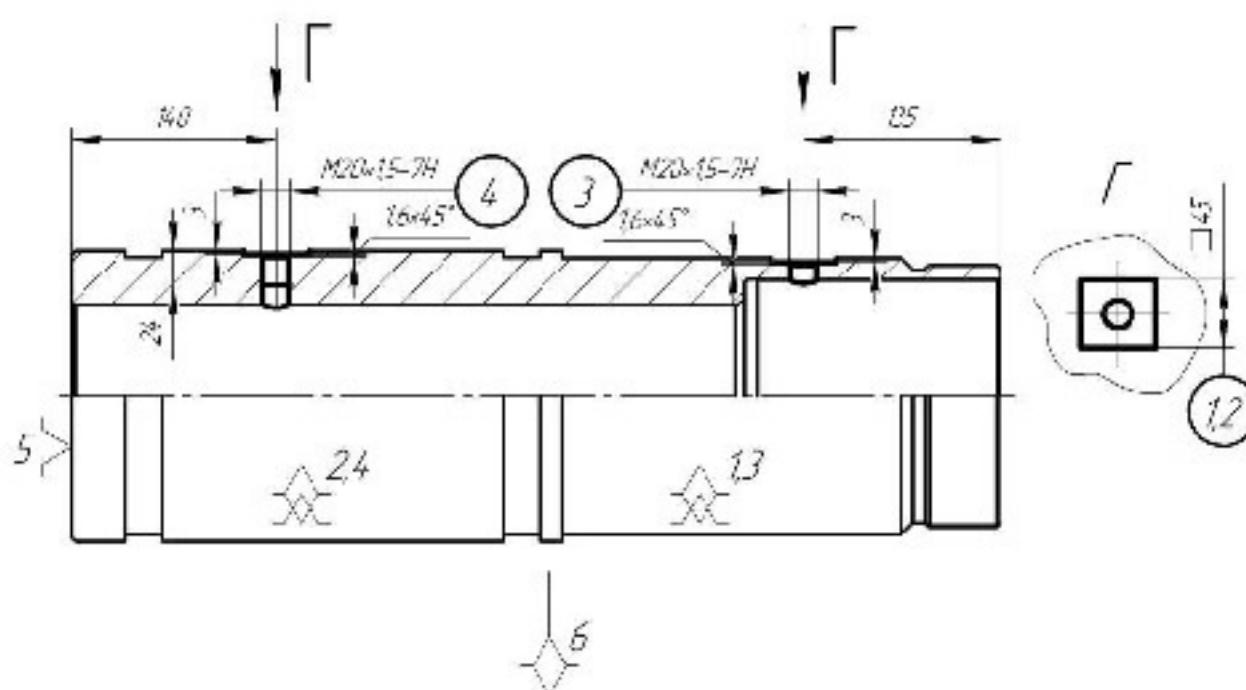


Рисунок 2.4 – Чистові технологічні бази (2 комплект, операція 015)

При даній схемі базування похибка базування на виконувани розміри:

$\varepsilon_6 (\square 45) = 0$; $\varepsilon_6 (M20 \times 1,5-7H) = 0$; $\varepsilon_6 (1,6 \times 45^\circ) = 0$ – обробка мірним інструментом;

$\varepsilon_6 (140) = 0$ – співпадання баз.

Чорновими технологічними базами (рис. 2.5) є вісь заготовки $\varnothing 203$ (4 точки – 1, 3; 2, 4), торець $\varnothing 203$ (5 точка). Шоста точка реалізується за рахунок сил тертя прикладених до $\varnothing 203$.

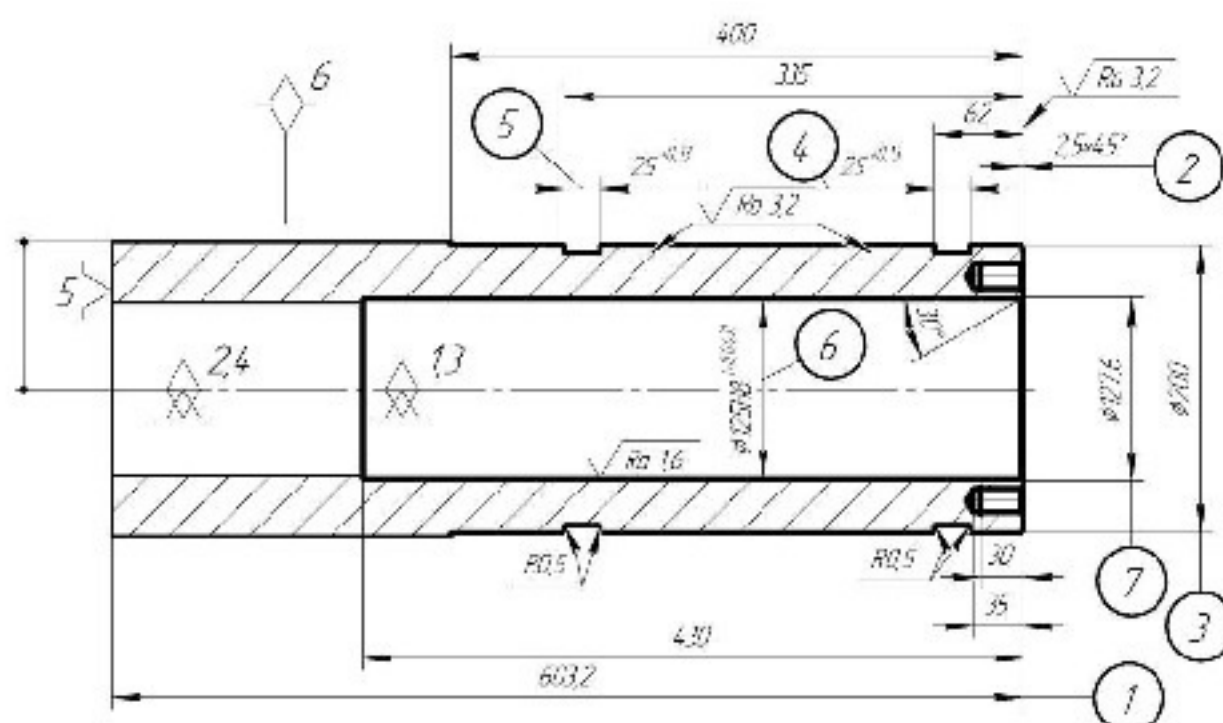


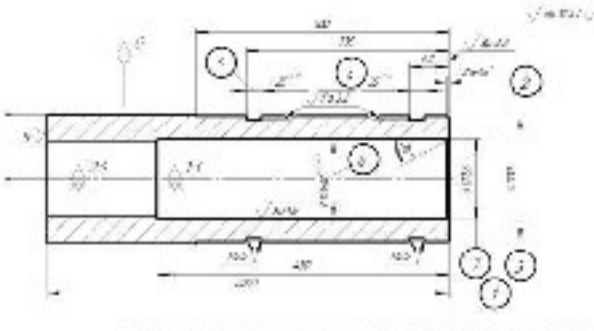
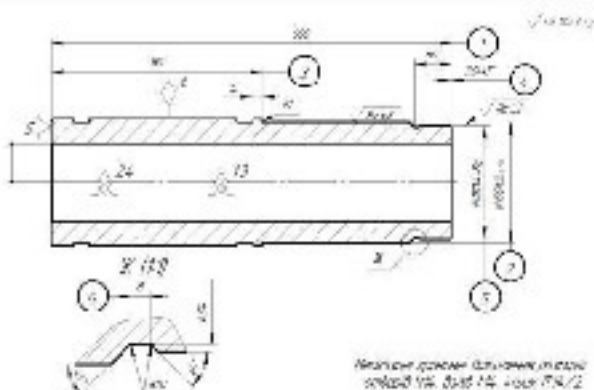
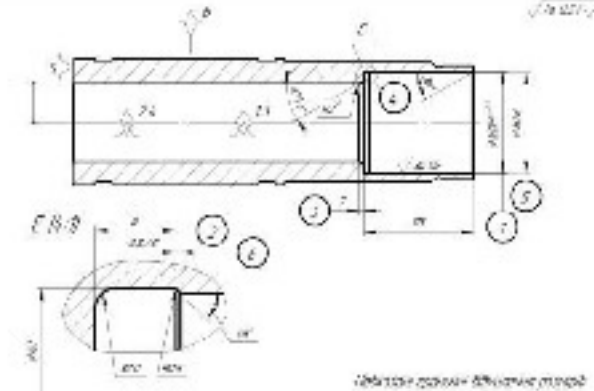
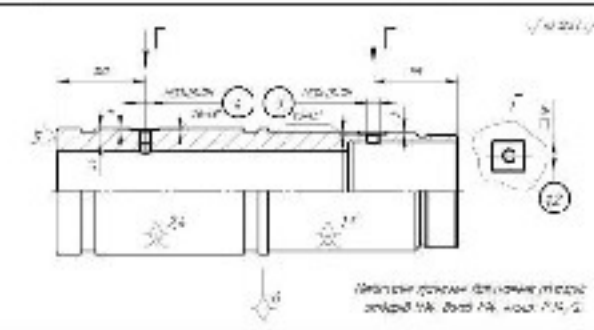
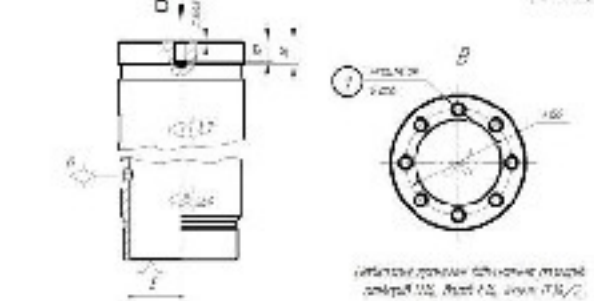
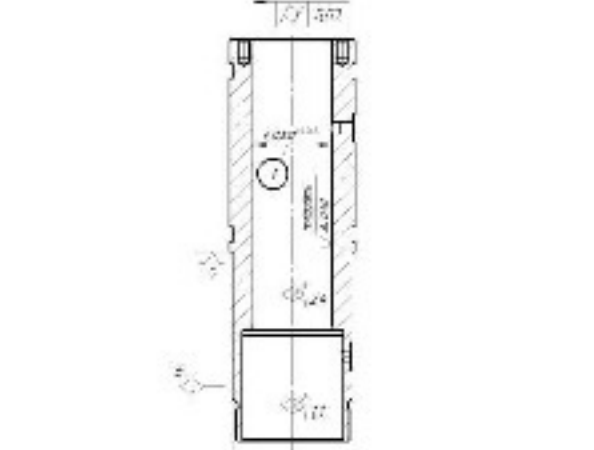
Рисунок 2.5 – Чорнові технологічні бази (операція 005)

При виборі чорнових баз вирішується задача зняття рівномірного припуску з внутрішніх циліндричних поверхонь.

2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу

Варіанти удосконаленого маршруту механічної обробки показані в таблицях 2.8-2.9.

Таблиця 2.8 – Маршрут механічної обробки (варіант 1)

№ операції	Операція, переходи	Ескіз обробки, схема базування	Обладнання
1	2	3	4
005	Токарна з ЧПК 1. Виготовлення і зачистка заготовки 2. Підготовка торця 1 поверхнею 3. Підготовка торця 2 поверхнею 4. Підготовка торця 3 поверхнею 5. Підготовка торця 4 поверхнею 6. Підготовка торця 5 поверхнею 7. Підготовка торця 6 поверхнею 8. Підготовка торця 7 поверхнею 9. Вимір деталей		Токарний верстат з ЧПК BK20T1
010	Токарна з ЧПК 1. Виготовлення і зачистка заготовки 2. Підготовка торця 1 поверхнею 3. Підготовка торця 2 поверхнею 4. Підготовка торця 3 поверхнею 5. Підготовка торця 4 поверхнею 6. Підготовка торця 5 поверхнею 7. Підготовка торця 6 поверхнею 8. Підготовка торця 7 поверхнею 9. Вимір деталей		Токарний верстат з ЧПК BK20T1
015	Токарна з ЧПК 1. Виготовлення і зачистка заготовки 2. Підготовка торця 1 поверхнею 3. Підготовка торця 2 поверхнею 4. Підготовка торця 3 поверхнею 5. Підготовка торця 4 поверхнею 6. Підготовка торця 5 поверхнею 7. Підготовка торця 6 поверхнею 8. Підготовка торця 7 поверхнею 9. Вимір деталей		Токарний верстат з ЧПК BK20T1
020	Вертикально-свердлильна з ЧПК 1. Виготовлення і зачистка заготовки 2. Свердління отвору 1 діаметром 10 3. Свердління отвору 2 діаметром 12 4. Свердління отвору 3 діаметром 14 5. Свердління отвору 4 діаметром 16 6. Свердління отвору 5 діаметром 18 7. Свердління отвору 6 діаметром 20 8. Свердління отвору 7 діаметром 22 9. Вимір деталей		Вертикально-свердлильний верстат з ЧПК SP15-02
025	Вертикально-свердлильна з ЧПК 1. Виготовлення і зачистка заготовки 2. Свердління отвору 1 діаметром 10 3. Свердління отвору 2 діаметром 12 4. Свердління отвору 3 діаметром 14 5. Свердління отвору 4 діаметром 16 6. Свердління отвору 5 діаметром 18 7. Свердління отвору 6 діаметром 20 8. Свердління отвору 7 діаметром 22 9. Вимір деталей		Вертикально-свердлильний верстат з ЧПК SP15-02
030	Хонінгувальна 1. Виготовлення і зачистка заготовки 2. Хонінгування циліндра 1 діаметром 10 3. Вимір деталей		Хонінгувальний верстат ХВ-34

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

Критерієм оптимальності при порівнянні двох варіантів механічної обробки є мінімум приведених витрат на одиницю продукції. При виборі варіанта технологічного маршруту приведені витрати можуть бути визначені в вигляді питомих величин на 1 годину роботи обладнання. В якості собівартості розглядається технологічна собівартість, яка включає змінні по статтям витрати.

Нормуються операції, які відрізняються у різних варіантах маршруту механічної обробки. В даному випадкові однаковими є операція 020, 030 першого варіанту маршруту обробки і операція 015, 020 другого варіанту маршруту, а всі інші операції відрізняються.

Технологічна собівартість механічної обробки розраховується за формулою [1]:

$$C_o = \frac{C_{ne} \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot k_B} \text{ [грн.]}, \quad (2.25)$$

де C_{ne} – приведені витрати роботи верстата, грн./год.;

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

k_B – коефіцієнт виконання норм, який звичайно приймається рівним 1,3.

Штучно-калькуляційний час визначається за формулою [1, 9]:

$$T_{шт-к} = T_o \cdot \varphi_k \text{ [хв.]}, \quad (2.26)$$

де T_o – основний час виконання обробки;

φ_k – коефіцієнт, що визначається типом обладнання [1, 9].

Виконаємо нормування операцій, що відрізняються в 1 та 2 варіантах маршруту механічної обробки. Дані занесемо до таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Нормування операцій механічної обробки за формулами наближеного нормування [1, 9]

№ оп.	Назва операції, переходи	Основний час виконання обробки $T_o \times 10^{-3}$, хв.	φ_x	Штучно-калькуляційний час $T_{шт-к}$, хв.
1	2	3	4	5
1 варіант ТП				
005	Токарна з ЧПК 2. Підрізати торець 1 попередньо, точити фаску 2, поверхню 3 однократно. 3. Підрізати торець 1 остаточно. 4. Точити канавки 4, 5 попередньо. 5. Точити канавки 4, 5 остаточно. 6. Розточити отвір 6 попередньо. 7. Розточити фаску 7 однократно, отвір 6 попередньо. 8. Розточити отвір 6 остаточно.	$T_{o2} = 0,037(D^2-d^2)+0,037(D^2-d^2)+$ $+0,17Dl = 0,037(200^2-125^2)+$ $0,037(200^2-2,5^2)+0,17 \cdot 200 \cdot 400 =$ $= 15,982$ $T_{o3} = 0,052(D^2-d^2) =$ $= 0,052(200^2-125^2) = 1,268$ $T_{o4} = 0,037(D^2-d^2) =$ $= 0,037(200^2-194^2) = 0,087$ $T_{o5} = 0,052(D^2-d^2) =$ $= 0,052(200^2-194^2) = 0,123$ $T_{o6} = 0,18Dl =$ $= 0,18 \cdot 125 \cdot 430 = 9,675$ $T_{o7} = 0,18Dl+0,2Dl =$ $= 0,18 \cdot 125 \cdot 2,5+0,2 \cdot 125 \cdot 430 = 10,806$ $T_{o8} = 0,3Dl = 0,3 \cdot 125 \cdot 430 = 16,125$ $\Sigma 54,066$	1,75	94,62
010	Токарна з ЧПК 2. Підрізати торець 1 однократно, точити поверхню 2 попередньо, підрізати торець 3 однократно. 3. Точити фаску 4, поверхню 5 однократно. 4. Точити канавку 6 однократно. 5. Точити поверхню 2 остаточно. 6. Нарізати різьбу на поверхні 5 однократно.	$T_{o2} = 0,037(D^2-d^2)+0,17Dl+$ $+0,037(D^2-d^2) = 0,037(200^2-125^2)+$ $+0,17 \cdot 190 \cdot 250+0,037(200^2-190^2) =$ $= 10,419$ $T_{o3} = 0,037(D^2-d^2)+0,17Dl =$ $= 0,037(180^2-174^2)+0,17 \cdot 180 \cdot 60 =$ $= 1,836$ $T_{o4} = 0,037(D^2-d^2) =$ $= 0,037(180^2-174^2) = 0,079$ $T_{o5} = 0,18Dl =$ $= 0,18 \cdot 190 \cdot 190 = 6,5$ $T_{o6} = 0,19Dl = 0,19 \cdot 180 \cdot 60 = 2,05$ $\Sigma 20,88$	1,75	36,54

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5
015	Токарна з ЧПК 2. Розточити отвір 1 попередньо, підрізати торець 4 однократно. 3. Розточити фаску 5 однократно, розточити отвір 1 попередньо. 4. Розточити канавку 2, фаску 6 однократно. 5. Розточити фаску 3 однократно. 6. Розточити отвір 1 остаточно.	$T_{o2} = 0,18Dl =$ $= 0,18 \cdot 160 \cdot 175 = 5,04$ $T_{o3} = 0,2Dl =$ $= 0,2 \cdot 160 \cdot 175 = 5,6$ $T_{o4} = 0,037(D^2 - d^2) =$ $= 0,037(161^2 - 160^2) = 0,012$ $T_{o5} = 0,17Dl =$ $= 0,17 \cdot 125 \cdot 7 = 0,149$ $T_{o6} = 0,3Dl =$ $= 0,3 \cdot 160 \cdot 167 = 8,016$ $\Sigma 18,817$	1,75	32,93
025	Вертикально-свердлильна з ЧПК 2. Центрувати 8 отворів 1. 3. Свердли 8 отворів 1. 4. Зенкувати фаски в 8 отворах 1. 5. Нарізати різьбу в 8 отворах 1.	$T_{o2} = 8 \cdot 0,52Dl = 8 \cdot 0,52 \cdot 6 \cdot 8 = 0,2$ $T_{o3} = 8 \cdot 0,52Dl = 8 \cdot 0,52 \cdot 18 \cdot 35 = 2,62$ $T_{o4} = 8 \cdot 0,52Dl =$ $= 8 \cdot 0,52 \cdot 25 \cdot 2,5 = 0,26$ $T_{o2} = 8 \cdot 0,4Dl =$ $= 8 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 30 = 1,92$ $\Sigma 5,0$	1,51	7,55
2 варіант ТП				
005	Комбінована 2. Підрізати торець 1 попередньо, точити фаску 2, поверхню 3 однократно. 3. Підрізати торець 1 остаточно. 4. Точити канавки 4, 5 попередньо. 5. Точити канавки 4, 5 остаточно. 6. Розточити отвір 6 попередньо. 7. Розточити фаску 7 однократно, отвір 6 попередньо. 8. Розточити отвір 6 остаточно. 9. Центрувати 8 отворів 8. 10. Свердли 8 отворів 8. 11. Зенкувати фаски в 8 отворах 8. 12. Нарізати різьбу в 8 отворах 8.	$T_{o2} = 0,037(D^2 - d^2) + 0,037(D^2 - d^2) +$ $+ 0,17Dl = 0,037(200^2 - 125^2) +$ $0,037(200^2 - 2,5^2) + 0,17 \cdot 200 \cdot 400 =$ $= 15,982$ $T_{o3} = 0,052(D^2 - d^2) =$ $= 0,052(200^2 - 125^2) = 1,268$ $T_{o4} = 0,037(D^2 - d^2) =$ $= 0,037(200^2 - 194^2) = 0,087$ $T_{o5} = 0,052(D^2 - d^2) =$ $= 0,052(200^2 - 194^2) = 0,123$ $T_{o6} = 0,18Dl =$ $= 0,18 \cdot 125 \cdot 430 = 9,675$ $T_{o7} = 0,18Dl + 0,2Dl =$ $= 0,18 \cdot 125 \cdot 2,5 + 0,2 \cdot 125 \cdot 430 = 10,806$ $T_{o8} = 0,3Dl = 0,3 \cdot 125 \cdot 430 = 16,125$ $T_{o9} = 8 \cdot 0,52Dl = 8 \cdot 0,52 \cdot 6 \cdot 8 = 0,2$ $T_{o10} = 8 \cdot 0,52Dl = 8 \cdot 0,52 \cdot 18 \cdot 35 = 2,62$ $T_{o11} = 8 \cdot 0,52Dl =$ $= 8 \cdot 0,52 \cdot 25 \cdot 2,5 = 0,26$ $T_{o12} = 8 \cdot 0,4Dl = 8 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 30 = 1,92$ $\Sigma 59,066$	1,3	76,79

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5
010	Токарно-револьверна з ЧПК 2. Підрізати торець 1 однократно, точити поверхню 2 попередньо, підрізати торець 3 однократно. 3. Точити фаску 4, поверхню 5 однократно. 4. Точити канавку 6 однократно. 5. Точити поверхню 2 остаточно. 6. Нарізати різьбу на поверхні 5 однократно. 7. Розточити отвір 7 попередньо, підрізати торець 11 однократно. 8. Розточити фаску 12 однократно, розточити отвір 7 попередньо. 9. Розточити канавку 8, фаску 10 однократно. 10. Розточити фаску 9 однократно. 11. Розточити отвір 7 остаточно.	$T_{02} = 0,037(D^2-d^2)+0,17Dl +$ $+0,037(D^2-d^2) = 0,037(200^2-125^2)+$ $+0,17 \cdot 190 \cdot 250 + 0,037(200^2-190^2) =$ $= 10,419$ $T_{03} = 0,037(D^2-d^2)+0,17Dl =$ $= 0,037(180^2-174^2)+0,17 \cdot 180 \cdot 60 =$ $= 1,836$ $T_{04} = 0,037(D^2-d^2) =$ $= 0,037(180^2-174^2) = 0,079$ $T_{05} = 0,18Dl =$ $= 0,18 \cdot 190 \cdot 190 = 6,5$ $T_{06} = 0,19Dl =$ $= 0,19 \cdot 180 \cdot 60 = 2,05$ $T_{07} = 0,18Dl =$ $= 0,18 \cdot 160 \cdot 175 = 5,04$ $T_{08} = 0,2Dl =$ $= 0,2 \cdot 160 \cdot 175 = 5,6$ $T_{09} = 0,037(D^2-d^2) =$ $= 0,037(161^2-160^2) = 0,012$ $T_{010} = 0,17Dl =$ $= 0,17 \cdot 125 \cdot 7 = 0,149$ $T_{011} = 0,3Dl =$ $= 0,3 \cdot 160 \cdot 167 = 8,016$ $\Sigma 39,697$	1,3	51,606

Таблиця 2.11 – Технологічна собівартість виконання операцій, що відрізняються в маршрутах механічної обробки

Операції	Тип верстату	$T_{\text{шт}} - \text{хв.}$	$C_{\text{пс}}, \text{грн./год.}$	$C_{\text{с}}, \text{грн.}$
1 варіант ТП				
005	16K20Ф3	94,62	38	46,097
010	16K20Ф3	36,54	38	17,8
015	16K20Ф3	32,93	38	16,043
025	2P135Ф2	7,55	36,5	3,53
				$\Sigma 83,47$
2 варіант ТП				
005	B1200Y (Biglia)	76,79	48,1	47,35
010	1П420ПФ30	51,606	48,1	31,49
				$\Sigma 78,84$

Отже, при використанні першого варіанту технологічного процесу технологічна собівартість операцій виготовлення деталі складатиме 83,47 грн., а при використанні другого варіанту – 78,84 грн.

Приведена річна економія складатиме:

$$E_p = (83,47 - 78,84) \cdot 1000 = 4630 \text{ (грн.)}$$

Отже, вироби виготовлені за першим із запропонованих технологічних процесів будуть мати більшу собівартість у порівнянні із деталлю, виготовленою за другим варіантом маршруту механічної обробки. Також при використанні першого маршруту механічної обробки необхідна більша кількість верстатів, основних робітників, працюючих, виробничої площі. Тому остаточно приймаємо другий варіант маршруту механічної обробки.

2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу

2.8.1 Вибір розташування технологічних розмірів

Технологічні розміри B_3 і B_4 розміщені таким чином, що вони пов'язують між собою два торці деталі і, таким чином, мінімізують похибку базування та дозволяють досить зручно їх контролювати.

Технологічні розміри відповідно B_2 , B_1 відкладені від одного торця, що дозволяє виключити похибку базування на ці розміри взагалі, оскільки вони виконуються з одного установу, мінімальна похибка відносного розташування циліндричних поверхонь, а також забезпечується зручність їх вимірювання.

Розміщення технологічних розмірів показано на рис. 2.7.

2.8.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів

Допуски на технологічні розміри призначаються згідно довідника [10], для відповідного розміру за відповідним квалітетом. Усі розміри, що отримуються на даній операції, мають 14-ий квалітет точності, точність розмірів заготовки – 16 квалітет. Допуски на ці розміри зведені в таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Попередні допуски технологічних розмірів.

Розмір	B_1	B_2	B_3	B_4	$З_1$
Допуск, мм	1,75	1,15	1,75	1,0	4,4

Визначені допуски використовуються при подальших розрахунках технологічних розмірів.

Одним із перших етапів розмірного аналізу є побудова розмірної схеми технологічного процесу.

2.8.3 Розмірна схема технологічного процесу

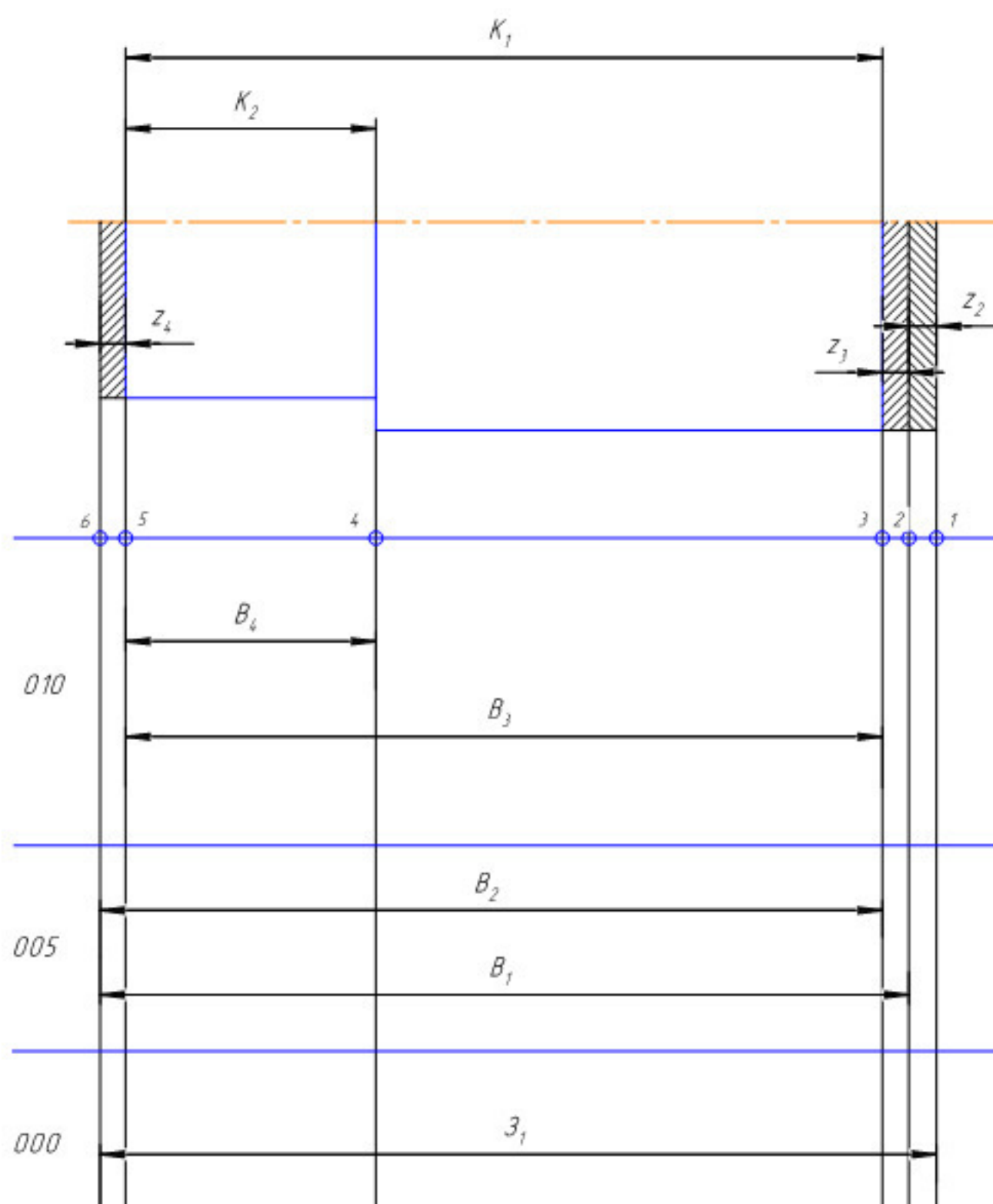


Рисунок 2.6 – Розмірна схема технологічного процесу

2.8.4 Похідний, вихідний граф-дерева, суміщений граф

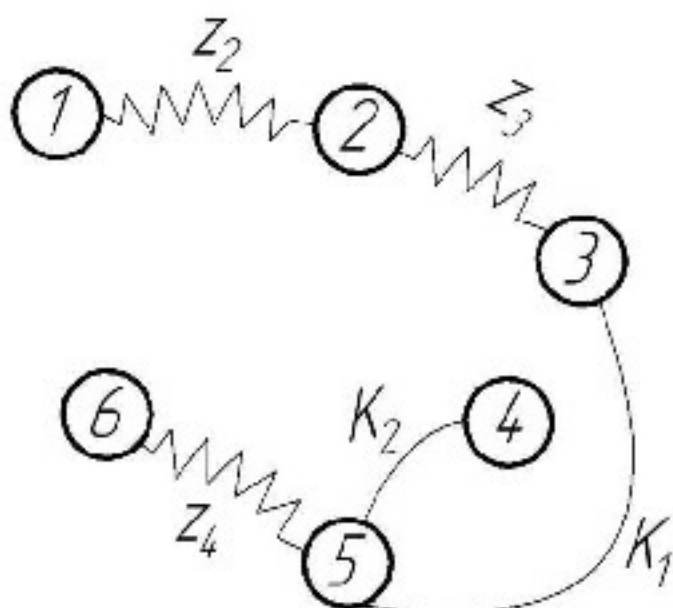


Рисунок 2.7 – Вихідний граф-дерево

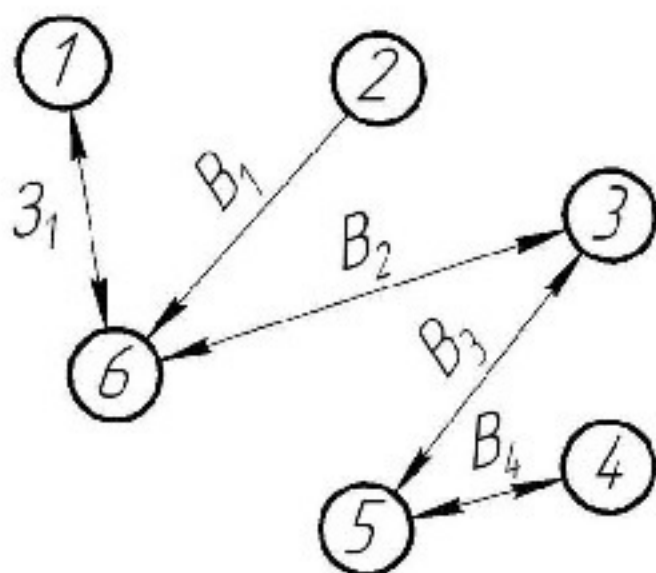


Рисунок 2.8 – Похідний граф-дерево

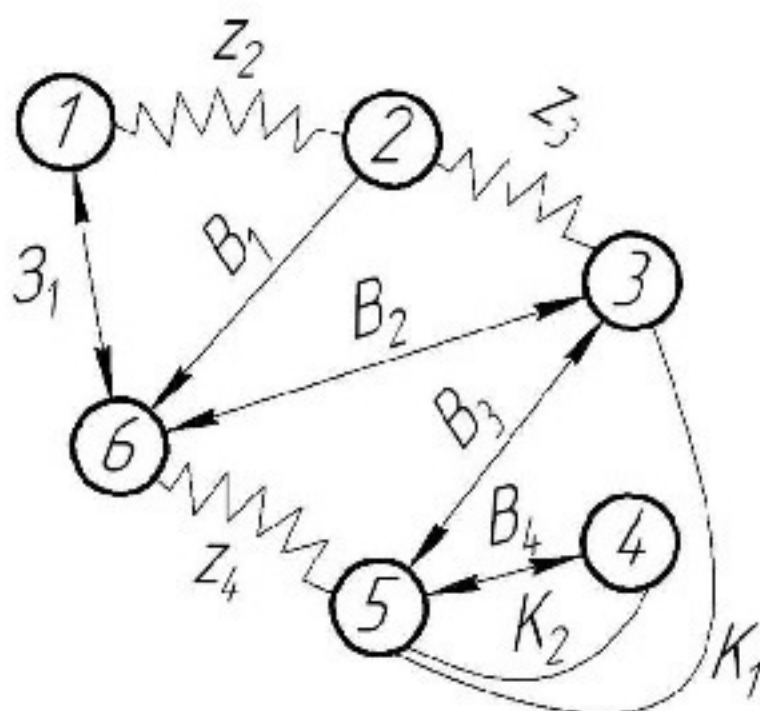


Рисунок 2.9 – Суміщений граф

2.8.5 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

Для проведення необхідних розрахунків в подальшому необхідно визначити проміжні мінімальні припуски за довідником [5]. При цьому, оскільки в даному випадкові розглядаються лише торці, які входять в один діапазон, то мінімальний припуск буде:

$$Z_{2\min} = Z_{4\min} = 3,2 \text{ мм};$$

$$Z_{3\min} = 1,9 \text{ мм}.$$

2.8.6 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Використовуючи граф-дерева, записано розрахункові рівняння для розрахунку значень всіх розмірів, які занесені до таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Рівняння технологічних розмірних ланцюгів

№ р-ня	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що визначається
1	$-K_2 + B_4 = 0$	$K_2 = B_4$	B_4
2	$-K_1 + B_3 = 0$	$K_1 = B_3$	B_3
3	$-Z_4 - B_3 + B_2 = 0$	$Z_4 = B_2 - B_3$	B_2
4	$-Z_3 - B_2 + B_1 = 0$	$Z_3 = B_1 - B_2$	B_1
5	$-Z_2 - B_1 + Z_1 = 0$	$Z_2 = Z_1 - B_1$	Z_1

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

Наведемо значення конструкторських розмірів:

$$K_1 = 600 \pm 0,875 \text{ мм}; \quad K_2 = 250 \pm 0,5 \text{ мм}.$$

Відповідно до наведених вище рівнянь знаходимо значення технологічних розмірів.

$$1. B_4 = K_2 = 250 \pm 0,5 \text{ мм.}$$

$$2. B_3 = K_1 = 600 \pm 0,875 \text{ мм.}$$

$$3. Z_{4\min} = B_{2\min} - B_{3\max};$$

$$B_{2\min} = Z_{4\min} + B_{3\max} = 3,2 + 600,875 = 604,075 \text{ (мм);}$$

$$B_{2\max} = B_{2\min} + T(B_2) = 604,075 + 1,75 = 605,825 \text{ (мм);}$$

$$Z_{4\max} = B_{2\max} - B_{3\min} = 605,825 - 599,125 = 6,7 \text{ (мм).}$$

Номінальне значення $B_{2\text{ном}}$:

$$B_{2\text{ном}} = (B_{2\min} + B_{2\max})/2 = (604,075 + 605,825)/2 = 604,95 \text{ (мм).}$$

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

$$B_{1\min} = Z_{3\min} + B_{2\max} = 1,9 + 605,825 = 607,725 \text{ (мм);}$$

$$B_{1\max} = B_{1\min} + T(B_1) = 607,725 + 1,75 = 609,475 \text{ (мм);}$$

$$Z_{3\max} = B_{1\max} - B_{2\min} = 609,475 - 604,075 = 5,4 \text{ (мм).}$$

Номінальне значення $B_{1\text{ном}}$:

$$B_{1\text{ном}} = (B_{1\min} + B_{1\max})/2 = (607,725 + 609,475)/2 = 608,6 \text{ (мм).}$$

$$5. Z_{2\min} = 3_{1\min} - B_{1\max};$$

$$3_{1\min} = Z_{2\min} + B_{1\max} = 3,2 + 609,475 = 612,675 \text{ (мм);}$$

$$3_{1\max} = 3_{1\min} + T(3_1) = 612,675 + 4,4 = 617,075 \text{ (мм);}$$

$$Z_{2\max} = 3_{1\max} - B_{1\min} = 617,075 - 607,725 = 9,35 \text{ (мм).}$$

Номінальне значення $3_{1\text{ном}}$:

$$3_{1\text{ном}} = (3_{1\min} + 3_{1\max})/2 = (612,075 + 617,075)/2 = 614,6 \text{ (мм).}$$

Отримані значення максимальних припусків зведемо в таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Припуски на механічну обробку, мм

	Z_2	Z_3	Z_4
Мінімальні	3,2	1,9	3,2
Максимальні	9,32	5,4	6,7

Визначені в результаті виконання розмірного аналізу величини технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки та їх допуски показані в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Значення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки та допуски цих розмірів, мм

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номінальний розмір	Значення розміру в технологічному документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
	max розмір	min розмір				
B ₁	606,125	607,875	1,75	607	607±0,875	
B ₂	604,075	605,825	1,75	604,95	604,95±0,875	
B ₃	599,125	600,875	1,75	600	600±0,875	
B ₄	249,95	250,5	1,0	250	250±0,5	
З ₁	611,075	615,475	4,4	613,275	-	613,275±2,2

Висновки розмірного аналізу. В результаті розмірного аналізу технологічного процесу визначено технологічні розміри і розміри вихідної заготовки, визначено максимальні припуски, які підтвердили правильність побудови маршруту механічної обробки і призначення допусків на технологічні розміри.

2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

2.9.1 Визначення розрахунково-аналітичним методом припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$

Визначення елементів припуску. Визначення значень R_z і T проводимо відповідно до рекомендацій наведених в [1], $R_z=300$ мкм і $T=400$ мкм. При попередньому розточуванні приймаємо $R_z=T=100$ мкм, при наступному попередньому розточуванні – $R_z=50$ мкм, $T=50$ мкм та при остаточному розточуванні $R_z=30$ мкм, $T=30$ мкм. Результати записано в таблицю 2.8.

Сумарне значення просторових відхилень згідно [1] визначається:

$$\rho = \sqrt{\rho_{\text{жолт}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.27)$$

де $\rho_{\text{жолт}}$ – відхилення із-за жолоблення поверхні заготовки;

$\rho_{\text{зм}}$ – відхилення за рахунок зміщення поверхні, з якої знімається припуск, під час самої обробки відносно технологічних баз, яке не враховується або має мінімальне значення при базуванні на оброблені поверхні, $\rho_{\text{зм}} = 300 \text{ мкм}$ [1].

В даному випадку для заготовки із прокату [1]:

$$\rho_{\text{жолт}} = \sqrt{(\Delta_x D)^2 + (\Delta_x L)^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.28)$$

де Δ_x – питома кривизна заготовки на 1 мм довжини, $\Delta_x = 0,05 \text{ мкм/мм}$;

L – довжина поверхні, $L = 600 \text{ мм}$;

D – діаметр оброблюваного отвору, $D = 125 \text{ мм}$;

$$\rho_{\text{жолт}} = \sqrt{(0,05 \cdot 600)^2 + (0,05 \cdot 125)^2} = 30 \text{ (мкм)}.$$

Тоді

$$\rho = \sqrt{30^2 + 300^2} = 301,5 \text{ (мкм)}.$$

При подальших переходах механічної обробки:

$$\rho_n = k \cdot \rho_{n-1} \text{ [мкм]}, \quad (2.29)$$

де k – коефіцієнт уточнення форми [1].

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 301,5 = 18 \text{ (мкм)};$$

$$\rho_2 = 0,04 \cdot 18 = 1 \text{ (мкм)};$$

$$\rho_3 = 0,02 \cdot 1 = 0,002 \text{ (мкм)}.$$

Похибка устанавлення на виконуваному переході [1]:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_{np}^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.30)$$

де ε_{δ} – похибка базування, мкм; ε_z – похибка закріплення, мкм; ε_{np} – похибка положення заготовки в пристосуванні, мкм.

В даному випадку $\varepsilon_{\delta} = 0$, так як обробляється діаметральна поверхня.

Приймаємо $\varepsilon_z = 650$ мкм, $\varepsilon_{np} = 66$ мкм згідно [1].

Тоді

$$\varepsilon_y = \sqrt{650^2 + 66^2} = 653,4 \text{ (мкм)}.$$

На послідуючих переходах механічної обробки

$$\varepsilon_2 = 0,05 \cdot \varepsilon_1 = 0,05 \cdot 653,4 = 32,67 \text{ (мкм)}; \quad (2.31)$$

$$\varepsilon_3 = 0,05 \cdot \varepsilon_2 = 0,05 \cdot 32,67 = 1,6 \text{ (мкм)};$$

$$\varepsilon_4 = 0,002 \cdot \varepsilon_3 = 0,002 \cdot 1,6 \approx 0 \text{ (мкм)};$$

Розрахунковий припуск

На основі отриманих вище даних проводимо розрахунок мінімальних значень міжопераційних припусків, користуючись формулою:

$$2Z_{\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{\delta}^2}) \text{ [мкм]}, \quad (2.32)$$

Мінімальний припуск під

- попереднє розточування $2Z_{1\min} = 2(300+400+\sqrt{301,5^2 + 653,4^2}) = 2839,2$ (мкм);
- попереднє розточування $2Z_{2\min} = 2(100+100+\sqrt{18^2 + 32,67^2}) = 436$ (мкм);
- остаточне розточування $2Z_{3\min} = 2(50+50+\sqrt{1^2 + 1,6^2}) = 360$ (мкм);
- хонінгування $2Z_{4\min} = 2(30+30) = 60$ (мкм).

Розрахункові розміри

При остаточному розточуванні маємо отримати розмір вказаний на кресленні: $d_{p3} = 125H8^{(+0,063)}$ мм.

Тоді:

- для розточування остаточного $d_3 = 125,063 - 0,06 = 125,003$ (мм);
- для розточування попереднього $d_2 = 125,003 - 0,36 = 124,67$ (мм);
- для розточування попереднього $d_1 = 124,67 - 0,436 = 124,234$ (мм);
- для заготовки $d_{\text{заг}} = 124,234 - 2,8392 = 121,39$ (мм).

Значення допусків кожного переходу приймаються по таблицям відповідно до квалітету того чи іншого виду обробки.

Для хонінгування допуск складає 63 мкм (8 квалітет); для остаточного розточування допуск – 100 мкм (9 квалітет); для попереднього розточування допуск – 160 мкм (10 квалітет); для попереднього розточування допуск – 400 мкм (12 квалітет) та для заготовки, що має 16 квалітет точності, допуск складає 2500 мкм.

Граничні розміри

Мінімальні розміри по переходах:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{заг}} &= 121,39 - 2,5 = 118,89 \text{ (мм);} \\
 d_1 &= 124,34 - 0,4 = 123,54 \text{ (мм);} \\
 d_2 &= 124,64 - 0,16 = 124,48 \text{ (мм);} \\
 d_3 &= 125,003 - 0,1 = 124,9 \text{ (мм);} \\
 d_4 &= 125,063 - 0,063 = 125 \text{ (мм).}
 \end{aligned}$$

Граничні значення припусків

Максимальні припуски на обробку

$$2Z_{\max 1} = 123,807 - 118,868 = 4,939 \text{ (MM)};$$

$$2Z_{\max 2} = 124,483 - 123,807 = 0,678 \text{ (MM)};$$

$$2Z_{\max 3} = 124,903 - 124,483 = 0,42 \text{ (MM)};$$

$$2Z_{\max 4} = 125 - 124,903 = 0,097 \text{ (MM)}.$$

Мінімальні припуски на обробку

$$2Z_{\min 1} = 124,207 - 121,368 = 2,839 \text{ (MM)};$$

$$2Z_{\min 2} = 124,643 - 124,207 = 0,436 \text{ (MM)};$$

$$2Z_{\min 3} = 125,003 - 124,643 = 0,36 \text{ (MM)};$$

$$2Z_{\min 4} = 125,063 - 125,003 = 0,06 \text{ (MM)}.$$

Всі результати проведених розрахунків записано в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Розрахунок припусків та граничних розмірів по технологічним переходам на обробку отвору $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$

[illegible]

Загальні припуски $Z_{\Sigma\min}$ і $Z_{\Sigma\max}$ визначаємо сумуючи проміжні припуски:

$$2Z_{\Sigma\min} = 0,06 + 0,36 + 0,436 + 2,839 = 3,695 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\Sigma\max} = 0,097 + 0,42 + 0,676 + 4,939 = 6,132 \text{ (мм)}.$$

Виконуємо перевірку вірності виконаних розрахунків:

$$2Z_{\max4} - 2Z_{\min4} = 97 - 60 = 37 \text{ (мкм)};$$

$$\delta_3 - \delta_4 = 100 - 63 = 37 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max3} - 2Z_{\min3} = 420 - 360 = 60 \text{ (мкм)};$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 160 - 100 = 60 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max2} - 2Z_{\min2} = 676 - 436 = 240 \text{ (мкм)};$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 400 - 160 = 240 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max1} - 2Z_{\min1} = 4939 - 2839 = 2100 \text{ (мкм)};$$

$$\delta_{\text{заг}} - \delta_1 = 2500 - 400 = 2100 \text{ (мкм)}.$$

Отже, всі проведені розрахунки є правильними і не потребують уточнення.

Попередньо в розділі розрахунку заготовки були вибрані табличні значення припусків для обробки трубного прокату і розраховані розміри, мм: $\varnothing 204,8 \pm 1,45$; $\varnothing 120 \pm 1$; $608,3 \pm 2$ (розміри заготовки). Під ці розміри запропоновано вибрати трубу $\varnothing 203$ мм з товщиною стінки 40 мм і виконати осаджування до потрібних розмірів.

Після уточнених розрахунків за допомогою розмірного аналізу довжини заготовки і розрахунково-аналітичним способом діаметру отвору одержано:

$$L = 613,275 \pm 2,2 \text{ мм};$$

$$L_{\max} = 615,475 \text{ мм}; L_{\min} = 611,075 \text{ мм};$$

$$d_{\max} = 121,43 \text{ мм}; d_{\min} = 118,93 \text{ мм}.$$

Отже, розміри заготовки мають знаходитися у вказаних границях:

$$L = 613,275 \pm 2,2 \text{ мм};$$

$$d = 118,93 \pm 2,5 \text{ мм}.$$

2.9.2 Визначення за нормативами проміжних мінімальних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку решти циліндричних поверхонь

Визначимо припуски на циліндричні поверхні нашої деталі. Більшість з них обробляються однократно і на них не буде проміжних технологічних розмірів, тому їх враховувати не будемо. Оскільки на поверхню $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$ проміжні припуски та технологічні розміри розраховані в попередньому пункті, то в цьому пункті залишається визначити проміжні припуски і технологічні розміри на поверхні $\varnothing 160H9^{(+0,1)}$, $\varnothing 190h11_{(-0,29)}$.

За нормативами [1, 10] призначаємо проміжні припуски на обробку всіх циліндричних поверхонь і розраховуємо технологічні розміри і максимальні припуски. Дані заносимо в таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 – Припуски на циліндричні поверхні

Розмір деталі	Стадія обробки	Припуск на перехід, мм	Отримуваний розмір, мм
$\varnothing 160H9^{(+0,1)}$	Заготовка	–	152
	Попереднє розточування	2	157
	Попереднє розточування	1	159
	Остаточне розточування	0,5	160
$\varnothing 190h11_{(-0,29)}$	Заготовка	–	203
	Попереднє точіння	5,0	193
	Остаточне точіння	1,5	190

Так як на отвір $\varnothing 160H9^{(+0,1)}$ розмір заготовки, що одержаний розрахунком складає $\varnothing 152$ мм, а в реальній заготовці $\varnothing 120$ мм, то для досягнення розміру $\varnothing 152$ мм необхідно знімати напуск в декілька проходів. Величина напуску 32 мм. Тобто на першому переході механічної обробки спочатку необхідно на

сторону зняти 16 мм. Це 4 робочих ходи з глибиною різання $t = 4,0$ мм, тільки тоді можна виконати попереднє розточування з глибиною $t = 2,5$ мм

2.10 Визначення режимів різання

Наведемо приклад розрахунку режимів різання для точіння попереднього циліндричної поверхні $\varnothing 190h11_{(-0,29)}$.

Приймаємо наступні початкові параметри.

Заготовка із Сталь 45 з межею міцності $\sigma_s = 750$ МПа. Спосіб кріплення заготовки – в трьохкулачковому патроні з упором в торець на токарно-револьверному верстаті з ЧПК. Оброблена поверхня повинна задовольняти вимоги точності за 13-м квалітетом та мати параметр шорсткості $Ra\ 12,5$ мкм.

Обираємо різець токарний прохідний прямий правий [13-15]. Матеріал ріжучої частини твердий сплав Т15К6, матеріал державки – сталь 45.

Передній кут $\gamma = 10^\circ$, при обробці конструктивної сталі з $\sigma_s \leq 1000$ МПа. Головний задній кут $\alpha = 12^\circ$. Кут нахилу головної ріжучої кромки $\lambda = 0^\circ$, так як здійснюється точіння без ударних навантажень. Головний кут в плані $\varphi = 60 \dots 75^\circ$, а так як точіння відбувається на прохід в умовах нежорсткої системи ВПД (при $l/d = 250/190 = 1,32$), тоді приймаємо $\varphi = 60^\circ$. Допоміжний кут в плані $\varphi_1 = 15^\circ$, так як здійснюється обробка прохідним різцем з пластинкою із твердого сплаву без врізання. Радіус при вершині різця $r = 1$ мм.

Попередня обробка:

- глибина різання $t = 5$ мм;
- призначаємо період стійкості інструмента $T = 60$ хв.;
- вибираємо подачу за [13-15]: $S = 0,3 \dots 0,4$ мм/об, приймаємо $S = 0,3$ мм/об;
- поправковий коефіцієнт на матеріал K_{Mv} :

$$K_{Mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v}, \quad (2.33)$$

де $K_r = 1,0$ – коефіцієнт для матеріалу інструмента, $n_v = 1,75$ – показник степеня при обробці [13-15].

Тоді

$$K_{Mv} = 1,0 \left(\frac{750}{750} \right)^{1,75} = 1;$$

- швидкість різання:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{xv} \cdot S^{yv}} \cdot K_v \text{ [м/с]}, \quad (2.34)$$

де $C_v = 420$, $x = 0,15$, $y = 0,2$, $m = 0,2$ – значення коефіцієнтів та показників степенів [13-15].

$$K_v = K_{nv} \cdot K_{mv} \cdot K_{\alpha v} \cdot K_{\phi v} \cdot K_{\varphi_1 v} \cdot K_{rv}, \quad (2.35)$$

де K_{nv} – поправковий коефіцієнт, що враховує стан поверхні вихідної заготовки; K_{mv} – поправковий коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту; $K_{\alpha v}$, $K_{\phi v}$ – поправкові коефіцієнти, що враховують кути в плані різального інструмента; $K_{\varphi_1 v}$ – поправковий коефіцієнт, що враховує радіус при вершині ріжучої частини інструмента.

При $K_{nv} = 0,8$, $K_{mv} = 1,0$, $K_{\alpha v} = 0,9$, $K_{\phi v} = 0,97$, $K_{\varphi_1 v} = 0,94$ матимемо:

$$v = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 5^{0,15} \cdot 0,3^{0,2}} \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,94 = 116,76 \text{ (м / хв)} = 1,95 \text{ (м / с)};$$

- частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \text{ [об/хв]}. \quad (2.36)$$

Тоді

$$n = \frac{1000 \cdot 116,76}{3,14 \cdot 193} = 192,66 \text{ (об/хв)}.$$

Корегуємо частоту обертання по паспортним даним верстата і встановлюємо фактичну величину:

$$n_{\phi} = 200 \text{ об/хв}.$$

Тоді

$$v_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 193 \cdot 200}{1000} = 87,3 \text{ (м/хв)};$$

- потужність, що витрачається на різання:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot v_{\phi}}{60 \cdot 102} \text{ [Вт]}, \quad (2.37)$$

де

$$P_z = C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot v^{n_{pz}} K_{pz} \text{ [Н]}; \quad (2.38)$$

$$P_y = C_{py} \cdot t^{x_{py}} \cdot S^{y_{py}} \cdot v^{n_{py}} K_{py} \text{ [Н]}; \quad (2.39)$$

$$P_x = C_{px} \cdot t^{x_{px}} \cdot S^{y_{px}} \cdot v^{n_{px}} K_{px} \text{ [Н]}. \quad (2.40)$$

При наступних параметрах: із [13-15] вибираємо значення коефіцієнтів та показників степенів при заданих умовах роботи;

$$C_{pz} = 3000 ; x_{pz} = 1,0; n_{pz} = -0,15 ; y_{pz} = 0,75 ;$$

$$C_{py} = 2430 ; x_{py} = 0,9; n_{py} = -0,3; y_{py} = 0,6;$$

$$C_{px} = 3390 ; x_{px} = 1,0; n_{px} = -0,4; y_{px} = 0,5.$$

Враховуємо поправкові коефіцієнти на силу різання:

$$K_{P_z} = K_{MP_z} \cdot K_{\varphi P_z} \cdot K_{\varphi_1 P_z} \cdot K_{\gamma P_z} \cdot K_{\lambda P_z} \cdot K_{r P_z}; \quad (2.41)$$

$$K_{P_y} = K_{MP_y} \cdot K_{\varphi P_y} \cdot K_{\varphi_1 P_y} \cdot K_{\gamma P_y} \cdot K_{\lambda P_y} \cdot K_{r P_y}; \quad (2.42)$$

$$K_{P_x} = K_{MP_x} \cdot K_{\varphi P_x} \cdot K_{\varphi_1 P_x} \cdot K_{\gamma P_x} \cdot K_{\lambda P_x} \cdot K_{r P_x}. \quad (2.43)$$

При цьому:

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_a}{750} \right)^{n_P}, \quad (2.44)$$

де відповідні значення показників степені обираємо з [13-15]:

$$n_{P_z} = 0,75; n_{P_y} = 1,35; n_{P_x} = 1,0; \text{ тоді } K_{MP_z} = 1,0; K_{MP_y} = 1,0; K_{MP_x} = 1,0.$$

Далі за допомогою таблиць [13-15] знаходимо інші необхідні коефіцієнти:

$$K_{\varphi z} = 0,94; K_{\varphi_1 z} = 1,0; K_{\gamma z} = 1,0; K_{\lambda z} = 1,0; K_{r P_z} = 0,93;$$

$$K_{\varphi y} = 0,77; K_{\varphi_1 y} = 1,0; K_{\gamma y} = 1,0; K_{\lambda y} = 1,0; K_{r P_y} = 0,82;$$

$$K_{\varphi x} = 1,11; K_{\varphi_1 x} = 1,0; K_{\gamma x} = 1,0; K_{\lambda x} = 1,0; K_{r P_x} = 1,0.$$

Знаходимо чисельні значення коефіцієнтів:

$$K_{P_z} = 1 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,93 = 0,8742;$$

$$K_{P_y} = 1 \cdot 0,77 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,82 = 0,6314;$$

$$K_{P_x} = 1 \cdot 1,11 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,11.$$

Тепер можна розрахувати сили різання:

$$P_z = 3000 \cdot 5^{1,0} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 87,3^{-0,15} \cdot 0,8742 = 2795,14 \text{ (Н)};$$

$$P_y = 2430 \cdot 5^{0,9} \cdot 0,3^{0,6} \cdot 87,3^{-0,3} \cdot 0,6314 = 483,31 \text{ (Н)};$$

$$P_x = 3390 \cdot 5^{1,0} \cdot 0,3^{0,5} \cdot 87,3^{-0,4} \cdot 1,11 = 1747,52 \text{ (Н)}.$$

Тоді потужність буде:

$$N_{\text{різ}} = \frac{2795,14 \cdot 87,3}{60 \cdot 1020} = 3,99 \text{ (кВт)};$$

перевіряємо достатність потужності приводу верстата умові:

$$N_{\text{ном}} \leq [N_{\text{верст}}]; \quad (2.45)$$

$$3,99 \text{ кВт} \leq 10 \text{ кВт}.$$

Отже, обробка можлива.

За допомогою довідкових даних [13-15] вибрано режими різання для всіх операцій маршруту механічної обробки і зведено їх до таблиці 2.18.

Таблиця 2.18 – Режими різання на операції

Технологічні переходи і робочі ходи	d , мм	t , мм	t_{max} , мм	S , мм/об	v , м/хв.	$N_{\text{різ}}$, кВт	n , об/хв.	L , мм	T_o , хв.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>005 Комбінована</u>									
2. Підрізати торець 1 попередньо, точити фаску 2, поверхню 3 однократно.	ø200 ø195 ø200	3,2 2,5 2,4	9,35	0,3 0,3 0,3	125,6 385,75 395,64	-	200 630 630	42,98 2,5 355	$0,716 \times 2$ $=1,43$ 0,013 1,88
3. Підрізати торець 1 остаточно.	ø200	1,9	5,4	0,15	395,64		630	42,4	0,45
4. Точити канавки 4, 5 попередньо.	ø195	6,0 (2 переходи)	-	0,15	244,92		400	2,5	$0,042 \times 2$ $=0,084$
5. Точити канавки 4, 5 остаточно.	ø194	0,5	-	0,1	383,77		630	1,0	0,016
6. Розточити отвір 6 попередньо.	ø124	1,44	2,47	0,3	122,65		315	425	4,5
7. Розточити фаску 7 однократно, отвір 6 попередньо.	ø127,6 ø124,7	1,8 0,22		0,15 0,15	252,42 246,68		630 630	1,5 425	0,016 4,5

Продовження таблиці 2.18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8. Розточити отвір 6 остаточно.	ø120H8	0,16	0,2	0,1	301,44		800	425	5,31
9. Центрувати 8 отворів 8.	ø8	4,0	-	0,05	10,48		400	10	$0,5 \times 8 = 4,0$
10. Свердли 8 отворів 8.	ø18,5	9,25	-	0,2	36,6		630	35	$0,28 \times 8 = 2,22$
11. Зенкувати фаски в 8 отворах 8.	ø21,7	1,6	-	0,2	42,93		630	2,5	$0,0008 \times 8 = 0,0063$
12. Нарізати різьбу в 8 отворах 8.	M20×1,5-7H	1,5	-	1,5	19,78		315	30	$0,063 \times 8 = 0,51$
									$\Sigma 24,22$
010 Токарно-револьверна з ЧПК									
2. Підрізати торець 1 однократно, точити поверхню 2 попередньо, підрізати торець 3 однократно.	ø200	3,2	6,7	0,3	125,6		200	42,5	0,708
	ø193	5,0	-	0,3	87,3	3,99	200	250	4,17
	ø200	1,0	-	0,3	87,3		200	3,5	0,058
3. Точити фаску 4, поверхню 5 однократно.	ø180 ø180	3,0 3,25	-	0,2 0,2	226 226		400 400	3 64	0,048 1,016
4. Точити канавку 6 однократно.	ø174	4,0	6	0,15	172,1		315	3	0,063
5. Точити поверхню 2 остаточно.	ø190	1,5	-	0,15	375,86		630	190	2,01
6. Нарізати різьбу на поверхні 5 однократно.	M180×4-8g	2,0	-	4,0	113,04		200	52	0,065
7. Розточити отвір 7 попередньо, підрізати торець 11 однократно.	з ø120 до ø164H12	4,4 (5 проходів) 1,0	-	0,2	162,2		315	175	$2,78 \times 5 = 13,9$
				0,2	162,2		315	19,5	0,31
8. Розточити фаску 12 однократно, розточити отвір 7 попередньо.	ø162,6	0,65	-	0,15	321,66		630	1,0	0,011
	ø161H10	1,5		0,15	318,5		630	173	1,83
9. Розточити канавку 8, фаску 10 однократно.	ø161	4,5	-	0,15	202,2		400	0,5	0,01
	ø161	0,5		0,15	202,2		400	0,5	0,01
10. Розточити фаску 9 однократно.	ø125	3,0	-	0,15	157,0		400	7,0	0,17
11. Розточити отвір 7 остаточно.	ø160H9	0,5	-	0,1	401,92		800	167	2,09
									$\Sigma 26,46$
015 Вертикально-свердлильна з ЧПК									
2. Фрезерувати поверхні 1, 2 однократно.	45 (2 проходи)	3,0	-	0,08	84,7		600	45	$0,94 \times 2 = 1,88$

Продовження таблиці 2.18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3. Центрувати отвори 3, 4.	ø8	4,0	-	0,05	10,48		400	10	$0,5 \times 2 = 1,0$
4. Свердлити отвори 3, 4.	ø18,5	9,25	-	0,2	36,6		600	34,5; 12	$0,28 \times 2 = 0,56$
5. Зенкувати фаски в отворах 3, 4.	ø21,7	1,6	-	0,2	42,93		600	1,6	$0,0008 \times 2 = 0,0016$
6. Нарізати різьбу в отворах 3, 4.	M20×1,5-7H	1,5	-	1,5	19,78		250	24; 12	$0,063 \times 2 = 0,126$ $\Sigma 3,57$
<u>020 Хонінгувальна</u> 2. Хонінгувати поверхню 1 однократно.	ø125H8	0,4	-	0,05			200	425	26,6 $\Sigma 26,6$

Отже, за допомогою довідників визначено режими різання для всіх операцій. Для їх точного розрахунку необхідно користуватися формулами і вести довгі і трудомісткі розрахунки, для того щоб уникнути цього режими вибрано за довідником.

2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання

Оптимізацію режимів різання виконаємо за допомогою комп'ютерної програми [1].

А саме виконано оптимізацію режимів різання для попереднього розточування поверхні $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$ та для точіння поверхні $\varnothing 190h11_{(-0,29)}$.

Розрахунок оптимального режиму різання виконаний і показаний на рис. 2.10 та рис. 2.11.

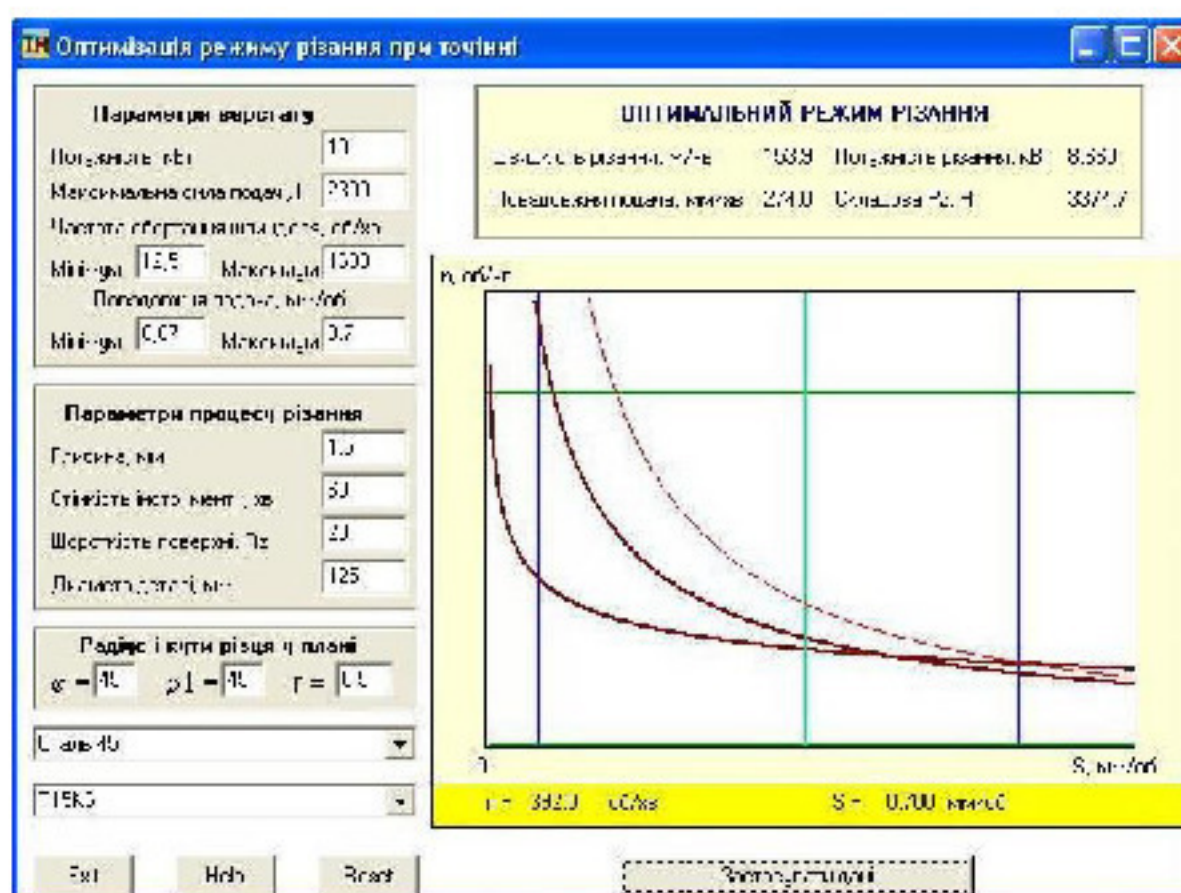


Рисунок 2.10 – Оптимізація режимів різання при попередньому розточуванні поверхні $\varnothing 125H8^{(+0,063)}$

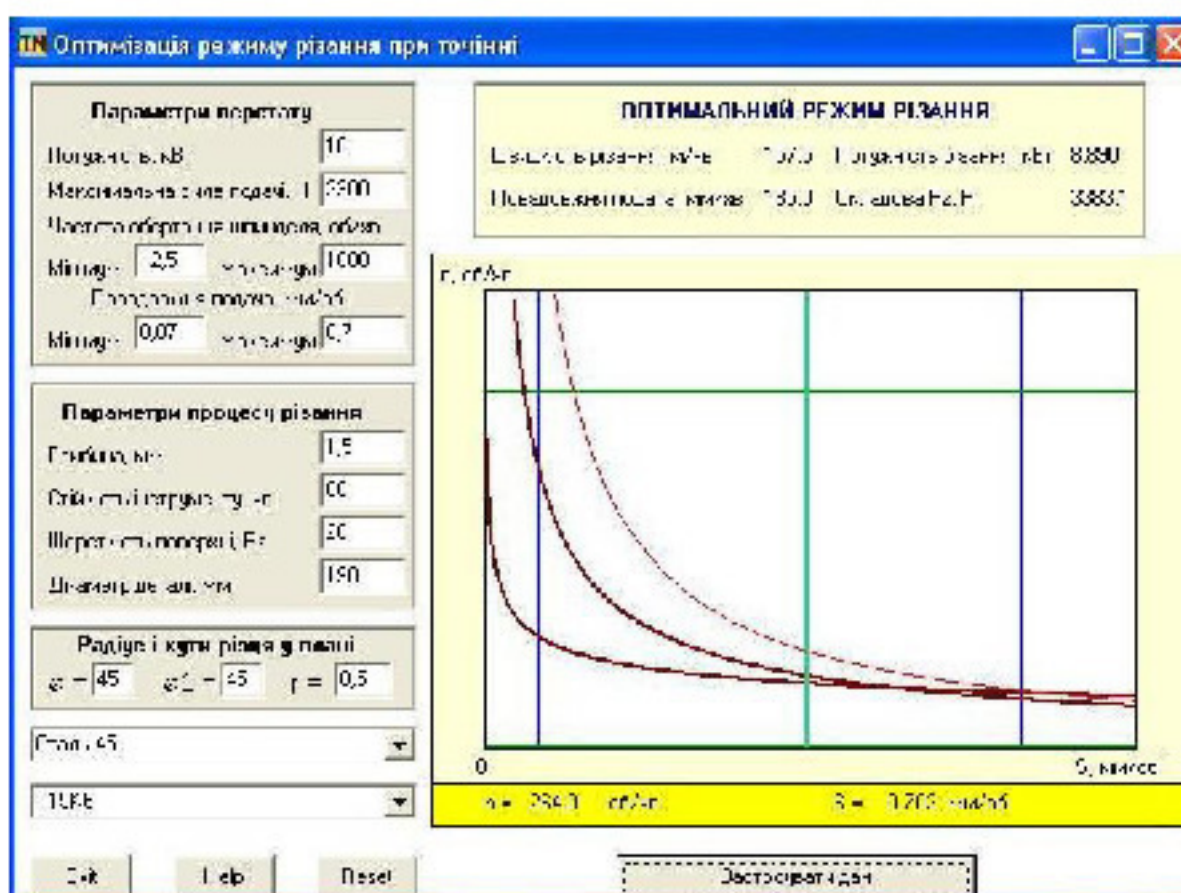


Рисунок 2.11 – Оптимізація режимів різання при точінні поверхні $\varnothing 190h11_{(-0,29)}$

Результати отримані за допомогою комп'ютерної програми мають незначну розбіжність з прийнятими режимами різання. Таким чином максимальна продуктивність обробки на верстатах з ЧПК буде забезпечена.

2.12 Визначення технічних норм часу на операції

Для операції 005 детальне визначення норми часу. Для решти операцій норми часу і їх складові зведені у підсумковій таблиці.

Технічні норми часу в умовах серійного виробництва визначається як норма штучно-калькуляційного часу [1, 13, 15]:

$$T_{шт-к} = \frac{T_{п-з}}{n} + T_{шт} \quad [\text{хв}], \quad (2.46)$$

де $T_{п-з}$ – підготовчо-заключний час, хв;

n – кількість деталей в налагоджувальній партії, шт.;

$T_{шт}$ – норма штучного часу, що визначається за формулою:

$$T_{шт} = T_0 + T_{доп} + T_{обс} + T_{відв} \quad [\text{хв}], \quad (2.47)$$

де T_0 – основний час обробки, хв;

$T_{доп}$ – допоміжний час обробки, хв;

$T_{обс}$ – час на обслуговування робочого місця, хв;

$T_{відв}$ – час на відпочинок і особисті потреби, хв.

Допоміжний час $T_{доп}$, в свою чергу, складається з таких елементів:

$$T_{доп} = T_{встак} + T_{закр} + T_{упр} + T_{вим} \quad [\text{хв}], \quad (2.48)$$

де $T_{встак}$ – час на установку і зняття деталі, хв;

$T_{закр}$ – час на закріплення і розкріплення деталі, хв;

$T_{упр}$ – час на прийоми управління, хв;

$T_{вим}$ – час на вимірювання деталі, хв.

Час на обслуговування робочого місця складається з наступних складових:

$$T_{\text{обс}} = T_{\text{тех}} + T_{\text{орг}} \quad [\text{хв}], \quad (2.49)$$

де $T_{\text{тех}}$ – час на технічне обслуговування робочого місця, хв;

$T_{\text{орг}}$ – час на організаційне обслуговування робочого місця, хв.

Формуємо підготовчо-заключний час $T_{\text{п-з}}$ [13, 15]:

- налагодження верстату та встановлення спеціального пристосування, що встановлюється вручну та закріплюється болтами – 14 хв;
- встановлення інструментів на верстаті – 9 хв;
- отримання інструменту і пристосувань до початку і здача їх після обробки партії деталей – 7 хв;
- введення програми обробки деталі в запам'ятовуючий пристрій системи ЧПК – 10 хв.

Отже, $T_{\text{п-з}} = 14+9+7+10 = 40$ (хв).

Основний час T_o визначаємо на основі прийнятих режимів різання за довідковими формулами, наприклад,

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S} \quad \text{— для точіння, свердління};$$

$$T_o = \frac{L}{S_M} \quad \text{— для фрезерування},$$

де L – довжина оброблюємої поверхні, мм;

n – частота обертання шпинделя, об/хв.;

S – робоча подача, мм/об;

S_M – хвилинна подача, мм/хв.

Основний час обробки на операції 005

$$T_0 = 3,323 + 0,45 + 0,084 + 0,016 + 4,5 + 4,516 + 5,31 + 4,0 + 2,22 + 0,0063 + 0,51 = 24,22 \text{ (хв).}$$

Формуємо допоміжний час $T_{\text{доп}}$ [13, 15]:

$$T_{\text{встан}} = 2,0 \text{ хв};$$

$$T_{\text{закр}} = 0,4 \text{ хв};$$

$$T_{\text{зпр}} = 0,02 \text{ хв};$$

$$T_{\text{підв, відв, інстр}} = 10 \cdot 0,02 + 10 \cdot 0,02 + 4 \cdot 0,01 + 4 \cdot 0,01 = 0,48 \text{ (хв)};$$

$$T_{\text{виз}} = 1 + 0,25 = 1,25 \text{ (хв).}$$

Отже,

$$T_{\text{доп}} = 2,0 + 0,4 + 0,02 + 0,48 + 1,25 = 4,15 \text{ (хв).}$$

В серійному виробництві $T_{\text{обс}} + T_{\text{відв}}$ окремо не нормуються, а встановлюються як відсоток від оперативного часу ($T_0 + T_{\text{доп}}$) [13, 15]:

$$T_{\text{обс}} + T_{\text{відв}} = (T_0 + T_{\text{доп}}) \cdot 0,065 = (24,22 + 4,15) \cdot 0,065 = 1,84 \text{ (хв).}$$

Тоді штучно-калькуляційний час на 005 операції буде дорівнювати:

$$T_{\text{шт-к}} = \frac{40}{1000} + 24,22 + 4,15 + 1,84 = 30,21 \text{ (хв).}$$

Основний час обробки на операції 020 при хонінгуванні

$$T_0 = \frac{h}{t \cdot n_s} \text{ [хв]}, \quad (2.50)$$

де h – припуск на сторону, $h = 0,05$ мм;

t – радіальна подача на подвійний хід брусків, $t = 0,005$ мм;

n_x – частота обертання;

$$n_x = \frac{v_n \cdot 1000}{2 \cdot (L + 2 \cdot L_n + L_{бр})} \text{ [об/хв]}, \quad (2.51)$$

де v_n – швидкість поздовжньої подачі, $v_n = 6$ м/хв;

L – довжина отвору, $L = 200$ мм;

L_n – довжина перебігу інструмента, $L_n = 25$ мм;

$L_{бр}$ – довжина хонінгувальних брусків, $L_{бр} = 100$ мм.

Тоді

$$T_o = \frac{0,05 \cdot 2(200 + 50 + 100)}{0,005 \cdot 6 \cdot 1000} = 1,2 \text{ (хв)}$$

Штучно-калькуляційний час для 020 операції, враховуючи коефіцієнт пропорційності φ_k

$$T_{шт-к} = T_o \cdot \varphi_k = 1,2 \cdot 1,55 = 1,86 \text{ (хв)}.$$

Для інших операцій результати заносимо до таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Технічні норми часу по операціям

Номер і назва операції	T_o , хв	φ_k	$T_{шт-к}$, хв
005 Комбінована	24,22	$\varphi_k = 1,23$ (фактичний) $\varphi_k = 1,3$ (табличний)	30,21
010 Токарно-револьверна з ЧПК	26,46	1,23	32,55
015 Вертикально-свердлильна з ЧПК	3,57	1,4	5,0
020 Хонінгувальна	1,2	1,55	1,86

3 АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ ДОВГИХ ОТВОРІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК ВИСОКОЇ ТОЧНОСТІ

3.1 Постановка задачі дослідження

На сьогодні одним з поширених поєднань способів фінішної обробки отворів в заготовках гільз гідро- і пневмоцилінрів, а також отворів в заготовках блоків циліндрів двигунів внутрішнього згорання і в заготовках інших подібних деталей є тонке розточування з подальшим хонінгуванням.

Слід зазначити, що в сучасному машинобудуванні очевидною є тенденція застосування чистової і фінішної лезової обробки зовнішніх циліндричних поверхонь і отворів (точіння, розточування) замість малопродуктивних круглого і внутрішнього шліфування. Це пояснюється появою на ринку великої кількості типорозмірів і моделей високоточних і високопродуктивних багатоцільових верстатів з ЧПК у т. ч. токарної групи, а також різальних інструментів, оснащених пластинами чи різцевими вставками з надтвердих матеріалів і мінералокераміки [16].

Можливість здійснювати як чистову, так і фінішну обробку декількох як циліндричних поверхонь, так і площин (торців), на одній операції з одного установи є важливою перевагою лезової обробки на верстатах з ЧПК. Це суттєво підвищує якість деталей завдяки усуненню впливу похибки установлення на точність відносного розташування цих поверхонь. Тому певний практичний інтерес складає встановлення показників точності, що забезпечуються чистовою лезовою обробкою довгих отворів на сучасних токарних верстатах з ЧПК високої точності.

Дослідження виконувались на прикладі деталі «Гільза ГЦ.21.002», яка має досить великі габаритні розміри (найбільший діаметр 200 мм, довжина 600 мм). Діаметр головного отвору (виконавчої поверхні) складає 125 мм, а довжина — 430 мм.

Згідно з попередньо розробленим маршрутом механічної обробки (див. розділ 2), вважалось, що тонке розточування отвору виконується на операції 005 з використанням багатоцільового токарного верстата з ЧПК високої точності B1200Y, виготовленого фірмою Biglia (Італія). Будова цього верстата передбачає наявність задньої бабки і гідрофікованого люнету, рух у поздовжньому напрямі і процес затискання заготовки обертовим центром керується системою ЧПК верстата.

Діаметральний розмір отвору, що утворився після тонкого розточування, передбачає наявність припуску під подальше хонінгування (на операції 020).

Ескіз обробки на операції 005 показано на рис. 3.1.

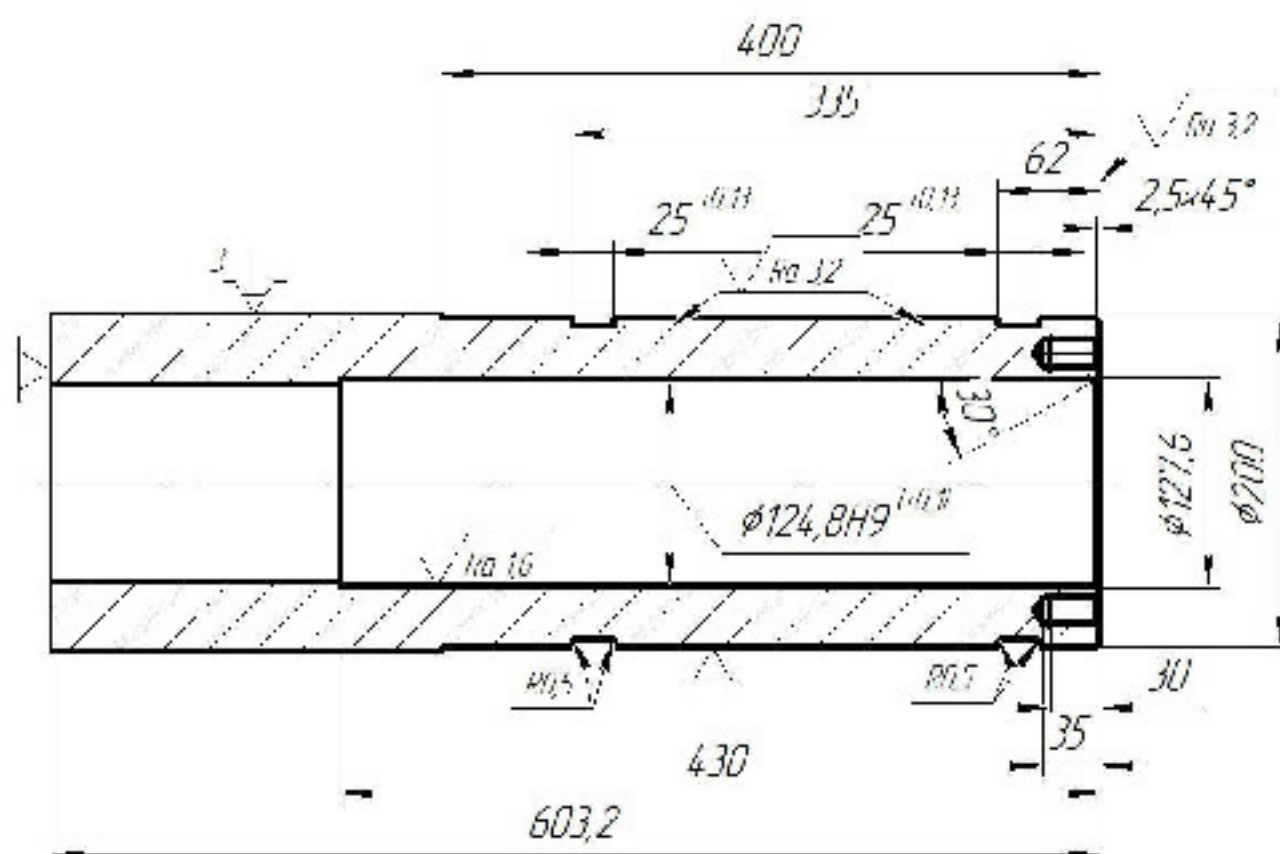


Рисунок 3.1 — Ескіз обробки на операції 005

Згідно з [2] поле розсіювання (сумарна похибка обробки) діаметральних розмірів отворів, що отримуються розточуванням на токарних верстатах з ЧПК під час виготовлення партії деталей складатиме

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \varepsilon_{\text{м}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{нос.}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_5 \varepsilon_{\text{і}})^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{с}})^2 + (K_7 \varepsilon_{\text{т}})^2} \text{ [мкм]}, \quad (3.1)$$

де $\varepsilon_{\text{пд}}$ — похибка, спричинена пружними деформаціями технологічної системи і дією радіальної складової сили різання;

$\varepsilon_{\text{поз}}$ — похибка позиціювання поперечного супорта по осі X;

$\varepsilon_{\text{н}}$ — похибка настроювання розточувального різця на розмір обробки;

ε_i — похибка, зумовлена розмірним зносом розточувального різця;

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

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

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

$K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7$ — коефіцієнти, значення яких визначаються характером законів розподілу відповідних елементарних похибок.

У цьому дослідженні прийнято, що $\frac{1}{K} = 1$. Згідно з [6] бажана гарантована імовірність роботи без браку при цьому складає 0,9973.

Відповідно до [6], прийнято, що похибки $\varepsilon_{\text{пд}}, \varepsilon_{\text{н}}, \varepsilon_{\text{поз}}$ є випадковими похибками, і тому $K_2 = K_3 = K_4 = 1$, а похибки $\varepsilon_i, \varepsilon_{\text{в}}, \varepsilon_{\text{т}}$ — систематичні і тому $K_5 = K_6 = K_7 = 1,73$.

Отже, метою дослідження є виявлення впливу елементарних похибок на сумарну похибку обробки тонким розточуванням на токарних верстатах з ЧПК високої точності.

3.2 Результати дослідження

Дослідження виконувались на прикладі операції 005 (див. розділ 2). На цій операції передбачена попереднє і остаточне точіння правого торця, формоутворення восьми кріпильних різьбових отворів М20, попереднє і остаточне точіння і зовнішніх циліндричних поверхонь, також попереднє і

остаточне розточування головного отвору до $\varnothing 124,8^{+0,1}$ мм з шорсткістю $Ra 1,6$ мкм.

Прийняті такі технологічні умови:

1) обробка виконується на токарному багатоцільовому верстаті з ЧПК моделі В1200У (виробництво фірми «Biglia», Італія). Клас точності верстата – В. Величина дискрети складає 0,001 мм.

2) чистового і тонке розточування отвору виконуються на операції 005 на одному установі; чистове розточування забезпечує діаметральний розмір поверхні за IT10 (для прийнятого номінального розміру величина допуску складає 160 мкм).

3) партія заготовок (33 шт.) обробляється з автоматичним отриманням розмірів на настроєному верстаті;

4) настроювання інструмента (розточувального різця) на розмір обробки відбувається з використанням способу пробних заготовок;

5) матеріали різальної частини різців:

- чистове точіння – твердий сплав Т60К6;
- тонке точіння – оксидно-карбідна мінералокераміка ВОК-60;

6) матеріал деталі – Сталь 45 з твердістю після нормалізації 240...260 НВ.

Послідовно визначимо величини елементарних похибок, що впливають на точність обробки в процесі тонкого розточування.

Похибку, що спричинена пружними деформаціями технологічної системи і дією радіальної складової сили різання, можна визначити за формулою [6]

$$\varepsilon_{\text{пц}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}) \text{ [мкм]}, \quad (3.2)$$

де ω_{Σ} — сумарна податливість технологічної системи;

$P_{y_{\text{max}}}$ і $P_{y_{\text{min}}}$ — максимальна і мінімальна величини радіальної складової сили різання.

З урахуванням прийнятої схеми установу заготовки, вважатимемо, що сумарна піддатливість технологічної системи складе

$$\omega_{\Sigma} = \omega_{\text{л}} + \omega_{\text{с}} + \omega_{\text{р}} + \omega_{\text{заг}} \quad [\text{мкм/Н}], \quad (3.3)$$

де $\omega_{\text{л}}; \omega_{\text{с}}; \omega_{\text{р}}; \omega_{\text{заг}}$ – піддатливості люнета, поперечного супорта, державки різця та заготовки відповідно.

Заготовка на операції 005 встановлена у трикулачковий самоцентрувальний патрон. Окрім того під час розточування центрального отвору заготовка для підвищення жорсткості додатково підтримується люнетом. Оскільки оброблювана частина заготовки товстостінна і, відповідно, має достатньо високу жорсткість, то очевидно, що піддатливістю заготовки за даних технологічних умов можна знехтувати, тобто вважатимемо, що $\omega_{\text{заг}} \approx 0$.

Оскільки на операції, що розглядається, використовується верстат з ЧПК високої точності і, відповідно, жорсткості, то згідно з [6] приймемо $\omega_{\text{л}} = \omega_{\text{с}} = 0,018 \cdot \text{мкм/Н}$.

Підатливість державки розточувального різця визначалась як податливість консольно закріпленого стрижня за формулою

$$\omega_{\text{р}} = \frac{L_{\text{р}}^3}{3 E_{\text{р}} I_{\text{р}}} \quad [\text{мкм/Н}], \quad (3.4)$$

де $E_{\text{р}} = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ – модуль пружності матеріалу сталевий державки різця;

$I_{\text{р}}$ – момент інерції поперечного перетину державки;

$L_{\text{р}} = 430 \text{ мм}$ – довжина державки.

Вважалось, що державка розточувального різця циліндричної форми; тоді її момент інерції визначається за формулою

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

де $D_p = 70$ мм – діаметр державки різця.

Кількісне значення моменту інерції поперечного перетину державки різця

$$I_p = \frac{3,14 \cdot 70^4}{64} = 1,18 \cdot 10^6 (\text{мм}^4).$$

Кількісне значення піддатливості державки різця

$$\omega_p = \frac{420^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,48 \cdot 10^6} = 0,1 \cdot 10^{-3} (\text{мм/Н}) = 1 (\text{мкм/Н}).$$

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

Сумарна піддатливість технологічної системи складе

$$\omega_\Sigma = 0,018 + 0,018 + 1 = 1,038 (\text{мкм/Н}).$$

На зміну величини складової сили різання 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: $P_{y_{\max}} = 28$ Н; $P_{y_{\min}} = 15$ Н.

Визначена за формулою (3.2) величина $\varepsilon_{\text{пл}}$ склала ≈ 10 мкм.

Похибка позиціювання $\varepsilon_{\text{поз}}$ поперечного супорта по осі Х згідно з паспортними даними верстата В1200У складає 0,003 мм.

Похибку настроєння $\varepsilon_{\text{н}}$ визначено за формулою [6]

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{\varepsilon_{\text{р}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2} \right)^2} + \varepsilon_{\text{зм}}^2 \quad [\text{мкм}], \quad (3.7)$$

де $\varepsilon_{\text{р}}$ — похибка регулювання положення різця;

$\varepsilon_{\text{вм}}$ — похибка вимірювання розміру деталі;

$\varepsilon_{\text{зм}}$ — похибка, яка враховує зміщення центра групування розмірів пробних заготовок відносно середини поля розсіювання;

$K = 1,2$ — коефіцієнт, що враховує можливе відхилення законів розподілу похибок $\varepsilon_{\text{р}}$, $\varepsilon_{\text{вм}}$ і $\varepsilon_{\text{зм}}$ від нормального закону (закону Гаусса).

Прийнято, що $\varepsilon_{\text{р}}$ дорівнює похибці позиціювання, тобто $\varepsilon_{\text{р}} = \varepsilon_{\text{поз}} = 3$ мкм .

Похибка вимірювання $\varepsilon_{\text{вм}} = 1$ мкм (вимірювання пробних заготовок здійснюється за допомогою нутроміра з індикатором годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм).

$$\text{Похибка } \varepsilon_{\text{зм}} = \frac{\varepsilon_{\text{пл}}}{\sqrt{m}} = \frac{5}{\sqrt{5}} = 2 \text{ мкм.}$$

Тоді похибка настроєння складе

$$\varepsilon_n = 1,2 \sqrt{3^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 + 2^2} = 4 \text{ (мкм)}.$$

Розрахуємо похибку ε_{i_N} , що виникає через розмірний знос різця в процесі обробки без піднастроювання всіх 33 заготовок партії.

Згідно з [6]

$$\varepsilon_{i_N} = \frac{L_N}{1000} u_o \text{ [мкм]}, \quad (3.7)$$

де L_N — довжина шляху, який проходить вершина різця під час обробки всіх заготовок партії;

$u_o = 0,8 \text{ мкм/км}$ — відносний знос різця, оснащеного пластиною з мінералокераміки BOK60 [4].

Визначимо величину L_N . Для переходу, що досліджується, вона складе

$$L_N = \frac{\pi D L N}{1000 s} = \frac{3,14 \cdot 125 \cdot 430 \cdot 33}{1000 \cdot 0,07} = 80 \cdot 10^3 \text{ (м)}.$$

Отже,

$$\varepsilon_{i_N} = \frac{80 \cdot 10^3}{1000} \cdot 0,8 = 64 \text{ (мкм)}.$$

В результаті обробки однієї заготовки, похибка, що виникає через розмірний знос різця, складе

$$\varepsilon_{i_1} = \frac{\varepsilon_{i_N}}{N} = \frac{64}{33} = 2 \text{ (мкм)}.$$

Оскільки операція, що розглядається, виконується на верстаті з ЧПК, то для зменшення впливу похибки ε_i на точність обробки пропонується застосувати автоматична корекцію вершини розточувального різця після

розточування отворів у двох заготовках. З урахуванням цього вважатимемо, що $\varepsilon_i = 4$ мкм.

Похибка, що зумовлена геометричною неточністю верстата (ε_v) виникатиме через відхилення від паралельності осі обертання заготовки відносно напрямку руху поздовжнього супорта.

Відповідно до [4],

$$\varepsilon_v = \frac{CL}{L_6} \text{ [мкм]}, \quad (3.8)$$

де C — допустиме відхилення від паралельності між напрямом руху поздовжнього супорта і віссю обертання заготовки на базовій довжині L_6 ;

L — довжина оброблюваної поверхні.

Для токарних верстатів високої точності на базовій довжині 250 мм величина C складає 3 мкм.

Отже,

$$\varepsilon_v = \frac{3 \cdot 420}{250} = 6 \text{ (мкм)}.$$

Вважається, що похибка, яка спричинена температурними деформаціями елементів технологічної системи ε_T , складає близько 10% від суми інших похибок. Отже, приймемо, що

$$\varepsilon_T = 0,1(\varepsilon_{\text{пл}} + \varepsilon_v + \varepsilon_{\text{поз}} + \varepsilon_i + \varepsilon_v) \text{ [мкм]}. \quad (3.9)$$

Обробка партії заготовок відбувається у стаціонарному тепловому режимі, тому під час визначення похибки ε_T прийнято, що $\varepsilon_i = \varepsilon_{i1} = 2$ мкм.

Підставивши знайдені раніше величини елементарних похибок у формулу (3.9), отримаємо

$$\varepsilon_T = 0,1(10 + 4 + 3 + 2 + 6) = 3 \text{ (мкм)}.$$

Прийнявши: $\frac{1}{K} = 1$ за формулою (3.1) визначимо сумарну похибку, яка впливатиме на точність обробки тонким розточуванням

$$\varepsilon_{\Sigma} = 2\sqrt{(1 \cdot 10)^2 + (1 \cdot 4)^2 + (1 \cdot 3)^2 + (1,73 \cdot 2)^2 + (1,73 \cdot 6)^2 + (1,73 \cdot 3)^2} = 33 \text{ [мкм]}.$$

За результатами розрахунків побудована діаграма величин елементарних і сумарної похибки (рис. 3.2), що виникають в процесі тонкого розточування на верстаті з ЧПК моделі B1200Y (Biglia).

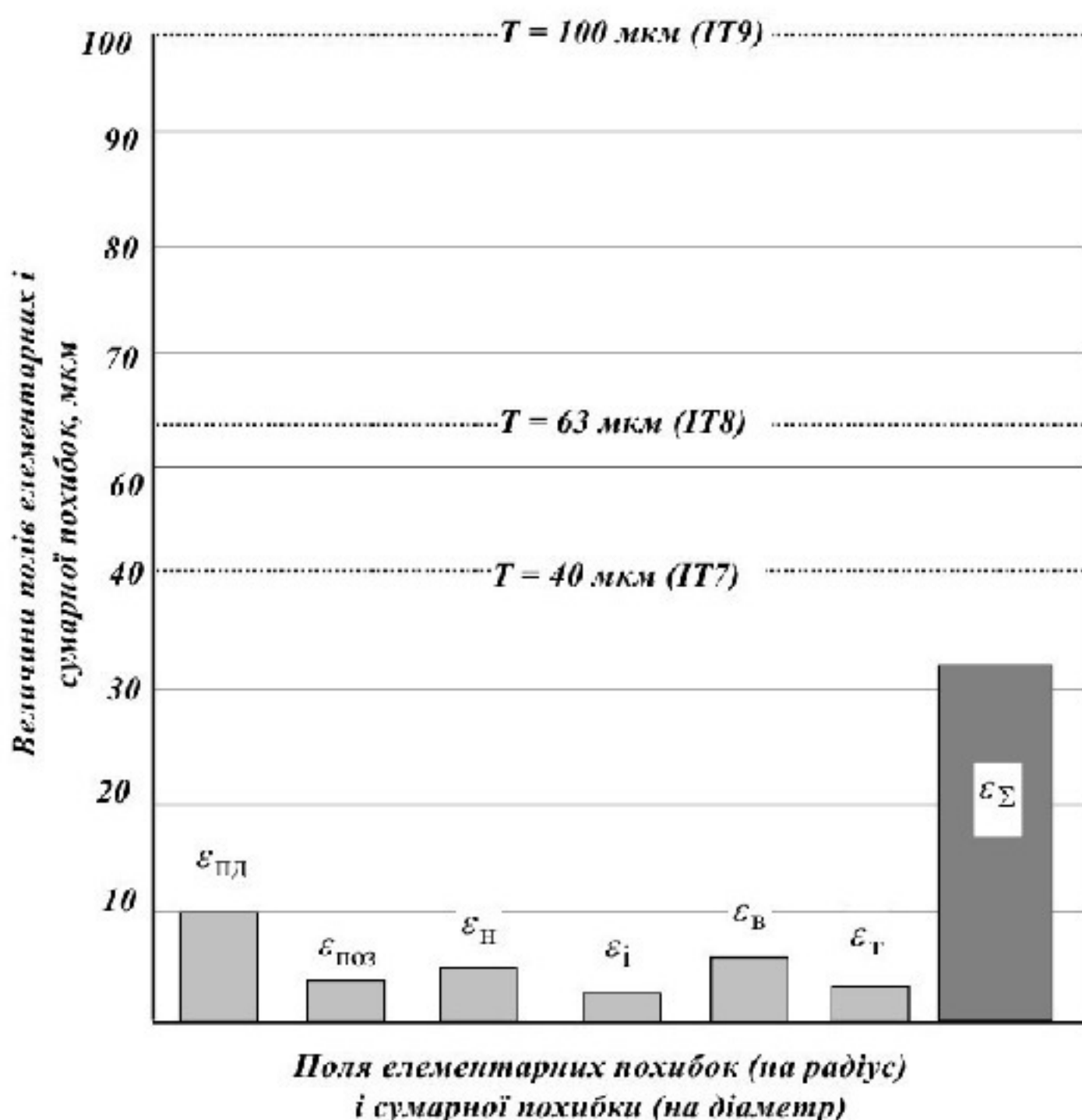


Рисунок 3.2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають в процесі тонкого розточування поверхні $\varnothing 124,8^{(+0,1)} \text{ мм}$

Порівняльний аналіз величин елементарних похибок показує, що найпомітніший вплив на точність обробки чинить похибка, що спричиняється нежорсткістю технологічної системи і дією радіальної складової сили різання. Найвпливовішим фактором, що зменшує жорсткість технологічної системи є досить довгий (430 мм) стрижень державки розточувального різця. Слід зазначити, що під час попереднього переходу обробки отвору чистовим розточуванням може бути використана дво- або трирізцева розточувальна головка. Це дозволить мінімізувати вплив сил різання на точність діаметрального розміру отриманого отвору завдяки врівноваженню впливу радіальної складової сили різання.

З результатів обчислень випливає, що за прийнятих технологічних умов, сумарна похибка (33 мкм) суттєво менша за допуск діаметрального розміру отвору (100 мкм) і, за необхідності, може бути забезпечена точність діаметрального розміру за IT7 (допуск 40 мкм).

Висновки.

1. На прикладі тонкого розточування головного отвору в заготовці деталі типу «Гільза гідроциліндра» виконано аналіз з виявленням елементарних похибок, та сумарної похибки.

2. Показано, що під час розточування отворів значної довжини та діаметра, похибка, що зумовлена розмірним зносом різця, в процесі обробки партії заготовок з автоматичним отриманням розмірів на настроєному верстаті може помітно впливати на точність діаметрального розміру, але якщо обробка виконується на токарному верстаті з ЧПК, то ця похибка може компенсуватися використанням автоматичної корекції положення вершини різця.

4. Аналіз показників точності, що забезпечуються тонким розточуванням великогабаритних заготовок на токарному верстаті з ЧПК високої точності, показує, що за розглянутих технологічних умов може забезпечуватись 7 квалітет точності діаметрального розміру.

4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ГІЛЬЗА ГЦ.21.002»

4.1 Розрахунок приведеної програми

Приведена програма може бути розрахована за формулою [9, 19]:

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

Всі деталі в групі приводяться до представника за допомогою загального коефіцієнта приведення:

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

де K_1 – коефіцієнт приведення по масі; K_2 – коефіцієнт приведення по серійності; K_3 – коефіцієнт приведення по складності.

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

Таблиця 4.1 – Дані для розрахунку приведеної програми

Назва деталі	Маса, кг	Програма, шт.	Параметри деталі IT / Ra								
			6	7	8	9	10	11	12	13	14
Гільза ГЦ.21.002 (розрахунковий представник)	69,67	1000	-	-	1	1	-	3	-	-	68
			12,5	6,3	3,2	2,5	1,6	0,63	0,4	-	-
			66	1	4	-	1	-	1	-	-
			6	7	8	9	10	11	12	13	14
Корпус 2	32	10000	-	1	1	1	2	-	8	-	60
			12,5	6,3	3,2	2,5	1,25	0,63	0,4	-	-
			60	8	3	1	-	-	1	-	-
			6	7	8	9	10	11	12	13	14
Корпус 3	135	100	-	2	2	2	3	-	4	-	58
			12,5	6,3	3,2	2,5	1,25	0,63	0,4	-	-
			58	4	2	2	2	-	-	-	-
			6	7	8	9	10	11	12	13	14
Корпус 4	48	8600	-	-	3	4	2	-	6	-	48
			12,5	6,3	3,2	2,5	1,25	0,63	0,4	-	-
			48	6	1	3	-	-	-	-	-
			6	7	8	9	10	11	12	13	14

Визначення складових коефіцієнта приведення.

Розрахунок коефіцієнта K_1 для кожного з найменувань виробів.

Оскільки в групу об'єднані подібні деталі, то K_1 може бути розрахований за формулою:

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{m_i}{m_{p.пр.}}\right)^2}, \quad (4.3)$$

де m – маса деталі розглядуваного виробу; $m_{p.пр.}$ – маса розрахункового представника.

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

- для корпусу 2:

$$K_{1.2} = \sqrt[3]{\left(\frac{32}{69,67}\right)^2} = 0,6 ;$$

- для корпусу 3:

$$K_{1.3} = \sqrt[3]{\left(\frac{135}{69,67}\right)^2} = 1,55 ;$$

- для корпусу 4:

$$K_{1.4} = \sqrt[3]{\left(\frac{48}{69,67}\right)^2} = 0,78 .$$

Для визначення коефіцієнта K_2 скористаємося залежністю:

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

Таким чином коефіцієнт K_2 складатиме (для деталей, що приводяться до розрахункового представника):

- для корпусу 2:

$$K_{2B2} = \left(\frac{1000}{10000} \right)^{0,15} = 0,708 ;$$

- для корпусу 3:

$$K_{2B3} = \left(\frac{1000}{100} \right)^{0,15} = 1,41 ;$$

- для корпусу 4:

$$K_{2B4} = \left(\frac{1000}{8600} \right)^{0,15} = 0,715 .$$

Знайдемо значення коефіцієнта K_3 для кожної деталі. K_3 – коефіцієнт, що враховує точність, шорсткість, складність конструкції деталі та конструктивні показники, який знаходиться за формулами:

для розрахункового представника:

- для корпусу:

$$\overline{K_{Tp.вр}} = \frac{\sum K_{в} \cdot n_{кс}}{\sum n_{кс}} = \frac{8 \cdot 1 + 9 \cdot 1 + 11 \cdot 3 + 14 \cdot 68}{1 + 1 + 3 + 68} = 13,73 ;$$

- для корпусу 2:

$$\overline{K_{Tp.вр}^{B2}} = \frac{\sum K_{в} \cdot n_{кс}}{\sum n_{кс}} = \frac{7 \cdot 1 + 8 \cdot 1 + 9 \cdot 1 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 8 + 14 \cdot 60}{1 + 1 + 1 + 2 + 8 + 60} = 13,42 ;$$

$$K_{3,1} = \left(\frac{\overline{K_{Tp.вр}^{B2}}}{\overline{K_{Tp.вр}}} \right)^{\alpha_1} = \frac{(13,42)^{\alpha_1}}{(13,73)^{\alpha_1}} = \frac{0,77}{0,76} = 1,013 ;$$

- для корпусу 3:

$$\overline{K_{Tp, np}^{B3}} = \frac{\sum K_{\beta} \cdot n_{\kappa\beta}}{\sum n_{\kappa\beta}} = \frac{7 \cdot 2 + 8 \cdot 2 + 9 \cdot 2 + 10 \cdot 3 + 12 \cdot 4 + 14 \cdot 58}{2 + 2 + 2 + 3 + 4 + 58} = 13,2 ;$$

$$K_{3,1} = \left(\frac{\overline{K_T^{B3}}}{\overline{K_{Tp, np}}} \right)^{\alpha_1} = \frac{(13,2)^{\alpha_1}}{(13,73)^{\alpha_1}} = \frac{0,79}{0,76} = 1,04 ;$$

- для корпуса 4:

$$\overline{K_{Tp, np}^{B4}} = \frac{\sum K_{\beta} \cdot n_{\kappa\beta}}{\sum n_{\kappa\beta}} = \frac{8 \cdot 3 + 9 \cdot 4 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 6 + 14 \cdot 48}{3 + 4 + 2 + 6 + 48} = 13,08 ;$$

$$K_{3,1} = \left(\frac{\overline{K_T^{B2}}}{\overline{K_{Tp, np}}} \right)^{\alpha_1} = \frac{(13,08)^{\alpha_1}}{(13,73)^{\alpha_1}} = \frac{0,795}{0,76} = 1,046 .$$

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

Для розрахункового представника:

- для корпуса 1:

$$\overline{R_a} = \frac{\sum R_a \cdot n_{nos}}{\sum n_{nos}} = \frac{12,5 \cdot 66 + 6,3 \cdot 1 + 3,2 \cdot 4 + 1,6 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1}{66 + 1 + 4 + 1 + 1} = 11,59 ;$$

- для корпуса 2:

$$\overline{R_a^{B2}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{nos}}{\sum n_{nos}} = \frac{12,5 \cdot 60 + 6,3 \cdot 8 + 3,2 \cdot 3 + 2,5 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1}{60 + 8 + 3 + 1 + 1} = 11,14 ;$$

$$K_{3,2} = \frac{(11,14)^{\alpha_2}}{(11,59)^{\alpha_2}} = \frac{0,95}{0,95} = 1 ;$$

- для корпуса 3:

$$\overline{R_a^{B3}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{nos}}{\sum n_{nos}} = \frac{12,5 \cdot 58 + 6,3 \cdot 4 + 3,2 \cdot 2 + 2,5 \cdot 2 + 1,25 \cdot 2}{58 + 4 + 2 + 2 + 2} = 11,24 ;$$

$$K_{3.2}^{B3} = \frac{(11,24)^{\alpha_2}}{(11,59)^{\alpha_2}} = \frac{0,95}{0,95} = 1 ;$$

- для корпуса 4:

$$\overline{R_a^{B4}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{nos}}{\sum n_{nos}} = \frac{12,5 \cdot 48 + 6,3 \cdot 6 + 3,2 \cdot 4 + 2,5 \cdot 3}{48 + 6 + 4 + 3} = 10,8 ;$$

$$K_{3.2}^{B4} = \frac{(10,8)^{\alpha_2}}{(11,59)^{\alpha_2}} = \frac{0,95}{0,95} = 1 .$$

Знайдемо значення коефіцієнта K_3 для кожної деталі:

- для корпуса 2: $K_{3B2} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 1,013 \cdot 1 = 1,013 ;$
- для корпуса 3: $K_{3B3} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 1,04 \cdot 1 = 1,04 ;$
- для корпуса 4: $K_{3B4} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 1,046 \cdot 1 = 1,046 .$

Знайдемо значення коефіцієнта K_{np} для кожного виробу:

- для корпуса 2: $K_{npB2} = 0,6 \cdot 0,708 \cdot 1,013 = 0,43 ;$
- для корпуса 3: $K_{npB3} = 1,55 \cdot 1,41 \cdot 1,04 = 2,27 ;$
- для корпуса 4: $K_{npB4} = 0,78 \cdot 0,715 \cdot 1,046 = 0,583 .$

Результати розрахунку занесено до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок приведеної програми

Найменування виробу	Річний випуск, шт.	Маса одного виробу, кг	Коефіцієнт приведення				Приведена програма
			по масі	по серійності	по складності	загальний	на річний випуск
Корпус 1	1000	69,67	1,0	1,0	1,0	1,0	1000
Корпус 2	10000	32	0,6	0,708	1,013	0,43	4300
Корпус 3	100	135	1,55	1,41	1,04	2,27	227
Корпус 4	8600	48	0,78	0,715	1,046	0,583	5014
Всього	-	-	-	-	-	-	10541

На основі приведених вище розрахунків приведена програма становитиме:

$$N_{np} = 1000 \cdot 1,0 + 10000 \cdot 0,43 + 100 \cdot 2,27 + 8600 \cdot 0,583 = 10541 \quad (\text{шт.})$$

4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

Кількість верстатів визначається за формулою [9, 19]:

$$C_p = \frac{N_{np} \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot F_d}, \quad (4.5)$$

де $T_{шт-к}$ – сумарна трудомісткість деталей, год.;

F_d – ефективний річний фонд часу роботи верстата при роботі в одну зміну, год.

Операція 005 – комбінована $T_{шт-к} = 30,21$ хв.

$$C_{p005} = \frac{10541 \cdot 30,21}{60 \cdot 3890} = 1,36 .$$

Прийнята кількість – 2.

Операція 010 – токарно-револьверна з ЧПК $T_{шт-к} = 32,55$ хв.

$$C_{p010} = \frac{10541 \cdot 32,55}{60 \cdot 3890} = 1,47 \text{ .}$$

Прийнята кількість – 2.

Операція 015 – вертикально-свердлильна з ЧПК $T_{шт-к} = 4,998$ хв.

$$C_{p015} = \frac{10541 \cdot 4,998}{60 \cdot 3890} = 0,22 \text{ .}$$

Прийнята кількість – 1.

Операція 020 – хонінгувальна $T_{шт-к} = 1,86$ хв.

$$C_{p020} = \frac{10541 \cdot 1,86}{60 \cdot 4060} = 0,08 \text{ .}$$

Прийнята кількість – 1.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_z = \frac{C_p}{C_{np}}, \quad (4.6)$$

де C_p – кількість розрахункового обладнання;

C_{np} – кількість прийнятого обладнання.

Операції 005:

$$\eta_{z005} = \frac{1,36}{2} = 0,68 \text{ .}$$

Операції 010:

$$\eta_{\text{з010}} = \frac{1,47}{2} = 0,735 \text{ .}$$

Операція 015:

$$\eta_{\text{з015}} = \frac{0,22}{1} = 0,22 \text{ .}$$

Операції 020:

$$\eta_{\text{з020}} = \frac{0,08}{1} = 0,08 \text{ .}$$

Розраховуємо середнє значення коефіцієнта завантаження обладнання:

$$\eta_{\text{з,ср.}} = \frac{0,68 + 0,735 + 0,22 + 0,08}{4} = 0,43 \text{ .}$$

У відсотках $\eta_{\text{з,ср.}} = 43\%$.

Розраховуємо коефіцієнт використання обладнання за основним часом

$$\eta_{\text{оз}} = \frac{T_{\text{осп}}}{T_{\text{шт-к}}} \text{ ,} \quad (4.7)$$

де $T_{\text{осп}}$ – основний час;

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

Операції 005:

$$\eta_{\text{оз005}} = \frac{24,22}{30,21} = 0,8 \text{ .}$$

Операції 010:

$$\eta_{\text{оз010}} = \frac{26,46}{32,55} = 0,813 \text{ .}$$

Операція 015:

$$\eta_{\text{оз015}} = \frac{3,57}{5,0} = 0,714 \text{ .}$$

Операція 020:

$$\eta_{\text{оп } 020} = \frac{1,2}{1,86} = 0,645 \text{ .}$$

Розраховуємо середнє значення коефіцієнта використання обладнання за основним часом:

$$\eta_{\text{о.ср.}} = \frac{0,8 + 0,813 + 0,714 + 0,645}{4} = 0,743 \text{ \%}.$$

У відсотках $\eta_{\text{о.ср.}} = 74,3\%$.

Таблиця 4.3 – Розрахунок кількості обладнання

N _{оп}	Назва операції	Розрахункова кількість верстатів, C _p	Прийнята кількість верстатів, P	Коефіцієнт завантаження обладнання, η_3	Середній коефіцієнт завантаження обладнання, $\eta_{3.c.}$	Коефіцієнт використання обладнання за основним часом, η_o	Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом, η_{oc}
005	Багатоцільовий верстат з ЧПК B1200Y (Biglia)	1,36	2	0,68	0,43	0,8	0,743
010	Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ30	1,47	2	0,735		0,813	
015	Вертикально-свердлильний верстат з ЧПК 2P135Ф2	0,22	1	0,22		0,714	
020	Хонінгувальний верстат 3K84	1,78	1	0,08		0,645	

4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

Графік завантаження обладнання показаний на рис. 4.1. Графік використання обладнання за основним часом показаний на рис. 4.2.

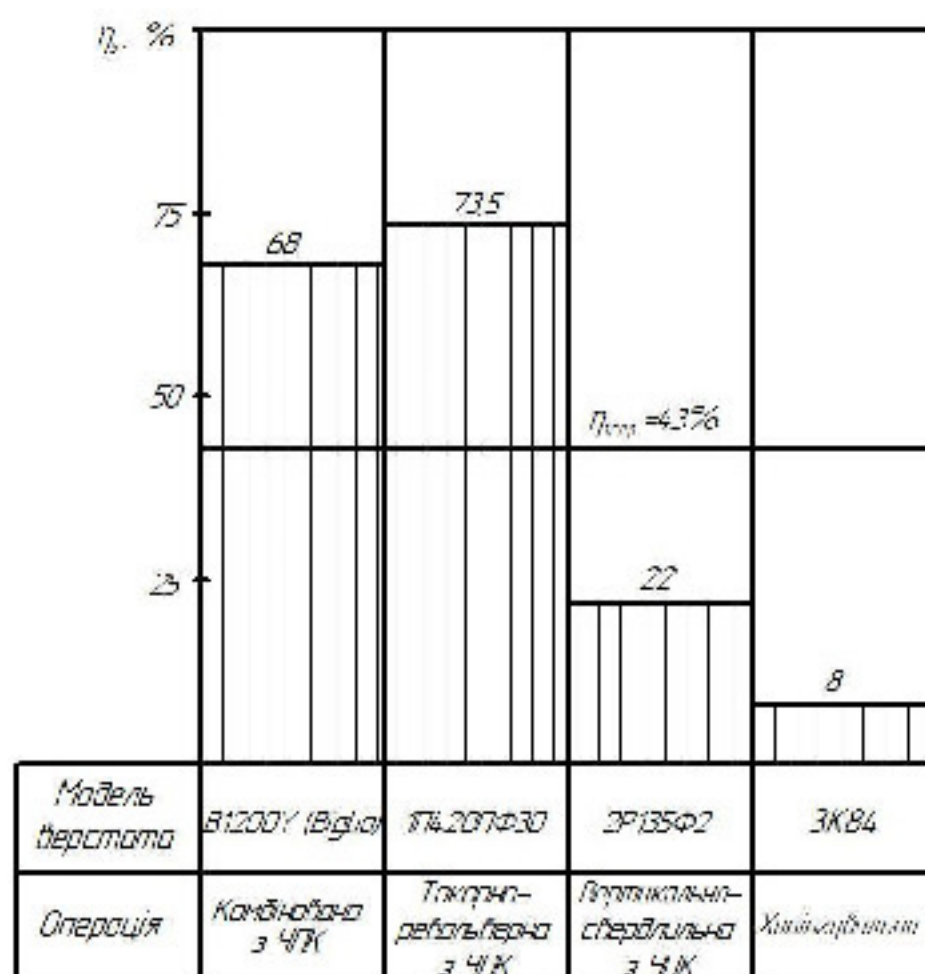


Рисунок 4.1 – Графік завантаження обладнання

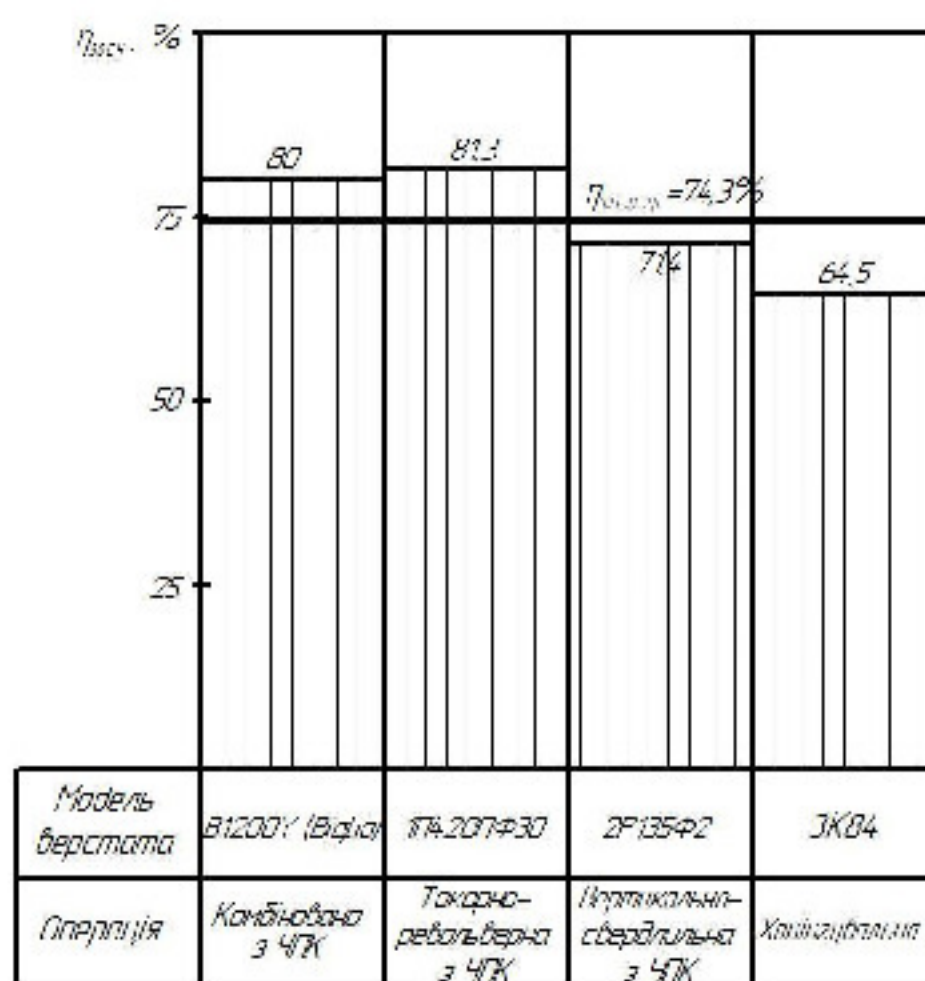


Рисунок 4.2 – Графік використання обладнання за основним часом

Висновки. Завантаження верстатів є недостатнім при заданій програмі випуску виробів. Можливе довантаження їх іншими деталями, крім врахованих в приведеній програмі, що дозволить підняти коефіцієнт завантаження.

Коефіцієнт використання за основним часом є досить високим. Це свідчить про доцільність використання запропонованого варіанту технологічного процесу, обладнання.

4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці

Кількість робітників-верстатників дільниці механічного цеху може бути підрахована в залежності від прийнятої кількості верстатів за формулою [9, 19]:

$$P = \frac{C_{\text{вр}} \cdot \Phi_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{з}} \cdot \eta_{\text{осн}}}{\Phi_{\text{с}} \cdot K_{\text{м}}} \text{ [чол.]}, \quad (4.8)$$

де $C_{\text{вр}}$ – прийнята кількість верстатів, шт.;

$\Phi_{\text{в}}$ – ефективний річний фонд роботи верстатника, 1840 год;

$K_{\text{м}}$ – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування, $K_{\text{м}} = 1,0 \dots 2,2$;

$\Phi_{\text{с}}$ – ефективний річний фонд часу роботи верстата при роботі в одну зміну, год.

Наприклад для роботи на токарних верстатах необхідно:

$$P = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,68 \cdot 0,8}{2 \cdot 1840} = 1,15 \text{ (чол.)}$$

При розрахункові ефективний фонд роботи верстатника прийнятий рівним 1840 год (тривалість робочої неділі – 41 год., основної відпустки – 16 днів).

Отже для виконання заданого обсягу роботи необхідний 1 робітник.

Таблиця 4.4 – Кількість працюючих

Операція	Прийнята кількість верстатів $C_{вр}$	$\Phi_{в}$, ГОД	$\eta_{в}$	$\eta_{осн}$	$K_{осн}$	P , ЧОЛ.	$P_{вр}$, ЧОЛ.
Операція 005	2	1840	0,68	0,8	2	1,15	2
Операції 010	2		0,735	0,813	2	1,26	2
Операція 015	1		0,22	0,714	1	0,16	1
Операція 020	1		0,08	0,645	1	0,12	1

Згідно таблиці 4.4 сума всіх основних робочих – 6 чол.

Завантаження основних робітників є недостатнім, тому для них необхідно планувати роботу по обробці інших деталей, крім наведених в приведеній програмі.

Кількість допоміжних робітників:

$$P_{доп} = (0,2...0,25) \cdot 6 = 1,2...1,5 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 2 допоміжних робітника, але оскільки вони не завантажені, то мають працювати ще і на інших дільницях механічної обробки.

Кількість ІТР складає:

$$P_{ІТР} = (0,16...0,22) \cdot 6 = 0,96...1,32 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 2 чол. ІТР, але один з них має виконувати роботу і для іншої дільниці механічної обробки, оскільки на даній дільниці він не завантажений на повну ставку.

Кількість службовців:

$$P_{СКП} = 0,019 \cdot 6 = 0,114 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1 чол., але очевидно це буде працівник механічного цеху, який буде працювати на декількох дільницях механічної обробки.

Кількість молодшого обслуговуючого персоналу:

$$P_{\text{МОП}} = 0,02 \cdot (6+2+2+1) = 0,22 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1 чол. молодшого обслуговуючого персоналу, оскільки він є не завантаженим, то він буде працювати і на інших дільницях механічної обробки.

Отримані дані занесемо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Відомість складу працюючих дільниці

Категорії працюючих	Спосіб визначення	Розрахункова кількість	Прийнята кількість
Основні робітники-верстатники			6
Допоміжні робітники	20...25%	1,2...1,5	2
ІТР	16...22%	0,96...1,32	2
СКП	0,9%	0,114	1
МОП	2%	0,22	1

5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ГІЛЬЗА ГЦ.21.002»

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 [20].

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	1	1
2	1	2	2
3	4	3	2
4	3	2	1
5	4	3	2
6	4	2	3
7	2	3	3
8	2	2	2
9	2	3	3
10	2	2	2
11	3	2	3
12	1	4	2
Сума балів	СБ ₁ = 31	СБ ₂ = 29	СБ ₃ = 26
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{31 + 29 + 26}{3} = 28,67$		

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			25%
Середній розряд робітників		7		10%
Середній коефіцієнт завантаження обладнання		7		15%
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом		7		15%

Визначимо абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

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

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

$$K_{\text{н.н.}} = 10 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,25 + 7 \cdot 0,1 + 7 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,15 = 9,3.$$

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

Таблиця 5.4 – Основні параметри інноваційного рішення та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий	Новий (інноваційне рішення)		
Кількість верстатів, шт.	10	6	1,67	0,4
Кількість основних робітників, чол.	12	6	2,0	0,25
Середній розряд робітників	4	3	1,33	0,1
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,32	0,43	1,34	0,15
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом	0,51	0,743	1,46	0,15
Собівартість заготовки, грн.	1195,7	751,76	-	-

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

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

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

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

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

$$K_{a.k.} = 1,67 \cdot 0,4 + 2,0 \cdot 0,25 + 1,33 \cdot 0,1 + 1,34 \cdot 0,15 + 1,46 \cdot 0,15 = 1,72.$$

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

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

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

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

$$K = \frac{I_{т.п.}}{I_{е.п.}}, \quad (5.5)$$

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

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I_{e.n.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Het}}{\sum_{i=1}^n P_{Bet}}, \quad (5.6)$$

де P_{Het} , P_{Bet} – 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 1,72. За формулою (5.6) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I_{e.n.} = \frac{1195,7}{751,76} = 1,59.$$

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

$$K = \frac{1,72}{1,59} = 1,08.$$

Оскільки $K > 1$, то запропонована нова технологія виготовлення деталі «Гільза ГЦ.21.002» є більш доцільнішою і конкурентноспроможною, ніж базова.

5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002»

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 [20]:

$$K = Z_o + Z_{доо} + Z_n + B_{бзд} + B_{обз} + B_{тпр} + B_{осм} + B_{им} + B_{пу} + B_{пе} + B_{оз} \text{ [грн.]}, \quad (5.7)$$

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.;

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

Z_n – нарахування на заробітну плату розробників, грн.;

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

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

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

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

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

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

$B_{пе}$ – 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_{pi} – 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:

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

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

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

5.2.4 Єдиний страховий внесок розробників (ЄСВ)

Єдиний страховий внесок розробників $z_{\text{н}}$ розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати розробників за формулою:

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

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

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

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:

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

де $C_{\text{пр}}$ – приблизна вартість переобладнання 1 м² власних приміщень ($C_{\text{пр}} \approx 200 \dots 1000 \text{ грн./м}^2$);

$S_{\text{діль}}$ – загальна площа виробничої дільниці, м².

$$B_{\text{буд.}} = 1000 \cdot 150 = 150000 \text{ (грн.)}$$

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 робіт $K_i = 1,3 \dots 1,5$);

k – кількість найменувань обладнання встановленого на дільниці.

Таблиця 5.6 – Вартість обладнання

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	K_i	Вартість, грн.
1	Багатоцільовий верстат з ЧПК B1200Y (Biglia)	900000	2	1,1	1980000
2	Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ30	500000	2	1,1	1100000
Всього					3080000

Придбані верстати були у використанні.

Завдяки удосконаленню технологічного процесу механічної обробки, на базовій дільниці не використовується 4 застарілих верстати.

Всього отримано коштів за реалізацію проданих верстатів: 800000 грн.

Отже, витрати на обладнання

$$B_{\text{обл}} = 3080000 - 800000 = 2280000 \text{ (грн.)}$$

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

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

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

K_n – нормативний відсоток витрат в залежності від типу виробництва;

$$B_{мо} = 2280000 \cdot 0,10 = 228000 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{осв} = 228000 \cdot 0,25 = 57000 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{ксп} = 0,1 \cdot 228000 = 22800 \text{ (грн.)}$$

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

$$B_{осп} = B_{мо} + B_{осв} + B_{ксп} \text{ [грн.]}; \quad (5.16)$$

$$B_{осп} = 228000 + 57000 + 22800 = 307800 \text{ (грн.)}$$

5.2.9 Вартість виробничого та господарчого інвентарю

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

5.2.10 Вартість програм керування

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

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

$$B_{\text{пр}} = 0,1 \cdot 2280000 = 228000 \text{ (грн.)}$$

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:

$$\begin{aligned} K &= 31454,46 + 3145,45 + 7611,98 + 150000 + 2280000 + 307800 + 228000 = \\ &= 3008011,89 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

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 «Гільза ГЦ.21.002» складає 751,76 грн. (див. розділ 2).

5.3.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховують за формулою:

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

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

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

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, $C_e = 7,5$ грн.;

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

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

Проведені розрахунки зведено до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на електроенергію

Найменування операції, верстат	Встановлена потужність, кВт	Тривалість обробки, год.	Сума, грн.
005 Багатоцільовий верстат з ЧПК B1200Y (Biglia)	26	24,22/60	73,8
010 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ30	30	26,46/60	93,02
015 Вертикально-свердлильний верстат з ЧПК 2P135Ф2	10	3,57/60	4,18
020 Хонінгувальний верстат 3K84	7,5	1,2/60	1,05
Всього			Σ 172,05

5.3.3 Основна заробітна плата робітників

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

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

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:

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

де M_M – розмір мінімальної місячної заробітної плати, $M_M = 8000$ грн. (з 01.04.2024 р.);

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

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств машинобудування до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати

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

$t_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, год.

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

Таблиця 5.8 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування операцій, верстат	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
005 Багатоцільовий верстат з ЧПК B1200Y (Biglia)	24,22/60	3	1,35	92,05	37,16
010 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ30	26,46/60	3	1,35	92,05	40,59
015 Вертикально-свердлильний верстат з ЧПК 2P135Ф2	3,57/60	3	1,35	92,05	5,48
020 Хонінгувальний верстат 3K84	1,2/60	3	1,35	92,05	1,84
Всього					Σ 85,07

5.3.4 Додаткова заробітна плата робітників

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

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

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

$$Z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 85,07 = 8,51 \text{ (грн.)}$$

5.3.5 Єдиний страховий внесок робітників (ЄСВ)

Єдиний страховий внесок робітників $Z_{\text{є}}$ розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати виробничих робітників за формулою:

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

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

$$z_{\text{н}} = (85,07 + 8,51) \cdot 0,22 = 20,59 \text{ (грн.)}$$

5.3.6 Розрахунок загальновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

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

$$B_{\text{заг}} = 2,5 \cdot 85,07 = 212,675 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Таблиця 5.9 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.	Примітка
Витрати на матеріали на одиницю продукції, грн.	M	751,76	
Витрати на силову електроенергію, грн.	$B_{\text{с}}$	172,05	
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	$z_{\text{р}}$	85,07	
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	$z_{\text{дод}}$	8,51	
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	$z_{\text{н}}$	20,59	
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{\text{заг}}$	212,675	
Всього	$S_{\text{в}}$	1250,66	

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 $P = 5...20\%$;

w – ставка податку на додану вартість, за станом на 01.01.2024 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.

$$C_{\text{нир}} = 1250,66 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 1800,95 \text{ (грн.)}$$

5.4.2 Верхня межа ціни

Верхня межа ціни ($C_{\text{вер}}$) 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 $C_{\text{вер}} = 1800,95$ грн.

5.5 Розрахунок величини чистого прибутку

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

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

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

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

S_v – 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, $q = 5...10\%$;

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

$$\Pi = \left\{ \left[1800,95 - \frac{(1800,95 - 751,76) \cdot 16,67}{100} - 1250,66 - \frac{10 \cdot 1250,66}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 10541 =$$

$$= 2163705,77 \text{ (грн.)}$$

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

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

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

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

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

$$NPV = \frac{2163705,77}{(1 + 0,2)^1} + \frac{2163705,77}{(1 + 0,2)^2} + \frac{2163705,77}{(1 + 0,2)^3} + \frac{2163705,77}{(1 + 0,2)^4} - 3008011,89 = 2593248,03 \text{ (грн.)}$$

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

5.6.2 Розрахунок внутрішньої норми доходності

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

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

де P_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.

$$IRR_{MIN} = \sqrt[4]{\frac{2163705,77 + 2163705,77 + 2163705,77 + 2163705,77}{3008011,89}} - 1 = 0,3 .$$

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.,

ΔK – величина додаткових капітальних вкладень для модернізації технології, грн.,

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

$$T_o = \frac{3008011,89}{2163705,77} = 1,39 \text{ (року)}.$$

5.7 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002», 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 3008011,89 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 2163705,77 грн., термін окупності 1,39 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002» доцільне для впровадження.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі виконано удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002». При цьому можна зробити такі висновки.

1. Проведено огляд технології виготовлення деталей типу «Циліндр»; проаналізовано базовий технологічний процес; запропоновано шляхи удосконалення базового технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002».

2. Варіантним вибором встановлено, що найбільш доцільними способами виготовлення заготовки є штампування на гідравлічних пресах та трубний прокат. Техніко-економічні розрахунки показали, що економічно доцільніше виготовляти заготовку із трубного прокату, оскільки вартість виготовлення заготовки при цьому складає 758,03 грн., що менше у порівнянні з штампуванням – 1195,7 грн.;

3. Розроблений удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002». 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, встановлені розряди робітників-верстатників.

4. На прикладі тонкого розточування головного отвору в заготовці деталі типу «Гільза гідроциліндра» виконано аналіз з виявленням елементарних похибок, та сумарної похибки. Показано, що під час розточування отворів значної довжини та діаметра, похибка, що зумовлена розмірним зносом різця, в процесі обробки партії заготовок з автоматичним отриманням розмірів на настроєному верстаті може помітно впливати на точність діаметрального розміру, але якщо обробка виконується на токарному верстаті з ЧПК, то ця похибка може компенсуватися використанням автоматичної корекції

положення вершини різця. Аналіз показників точності, що забезпечуються тонким розточуванням великогабаритних заготовок на токарному верстаті з ЧПК високої точності, показує, що за розглянутих технологічних умов може забезпечуватись 7 квалітет точності діаметрального розміру.

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 «Гільза ГЦ.21.002».

6. Проведені економічні розрахунки, які підтвердили доцільність впровадження удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Гільза ГЦ.21.002», 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.
3. 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.
4. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Репінський С. В. Основи технології машинобудування. Частина 1: практикум. Вінниця: ВНТУ, 2017. 106 с.
5. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Сухоруков С. І. Основи технології машинобудування. Частина 2 : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2015. 116 с.
6. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013. 125 с.
7. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. К. : Вища школа, 1993. 414 с.
8. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування. К. : ІСДО, 1996. 300 с.
9. Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Савуляк В. В., Сердюк О. В. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2016. 148 с.
10. Дусанюк Ж. П., Сивак І. О., Дусанюк С. В., Репінський С. В. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Гаряче об'ємне штампування : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2006. 105 с.
11. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів : Світоч, 1996. 348 с.

12. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М., Пуховський Є. С. Проектування і виробництво заготовок : підручник. К. : НТУУ «КПІ», 2014. 353 с.
13. 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.
14. Булига Ю. В., Веселовська Н. Р., Міськов В. П. Теорія різання. Розрахунок режимів різання : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2019. 67 с.
15. 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.
16. Мазур М. П., Внуков Ю. М., Грабченко А. І. та ін. Основи теорії різання матеріалів : підручник. Львів : Новий світ, 2018. 471 с.
17. Мицик І. С., Сухоруков С. І. Розробка засобів автоматизації процесу проектування верстатних пристосувань. Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)», Вінниця : ВНТУ, 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2022/paper/view/14580>.
18. Дерібо О. В., Гарболінський О. В., Мицик І. С. До питання визначення складових мінімального проміжного припуску для попередньої обробки головних отворів у литих заготовках деталей типу «Фланець». Матеріали ІІ Всеукраїнської науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ (2023), Вінниця : ВНТУ, 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2023/paper/view/18759>.
19. Джур Є. О., Бондаренко О. В. Проектування машинобудівних заводів та цехів. Загальна частина: навч. посіб. Д. : «Інновація», 2011. 109 с.
20. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. Вінниця : ВНТУ, 2021. 42 с.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Гільза ГЦ.21.002»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

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

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

Показники звіту подібності

Turnitin	
Оригінальність	82%
Загальна схожість	18%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи (додається)

Автор _____ Мицик І. С.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

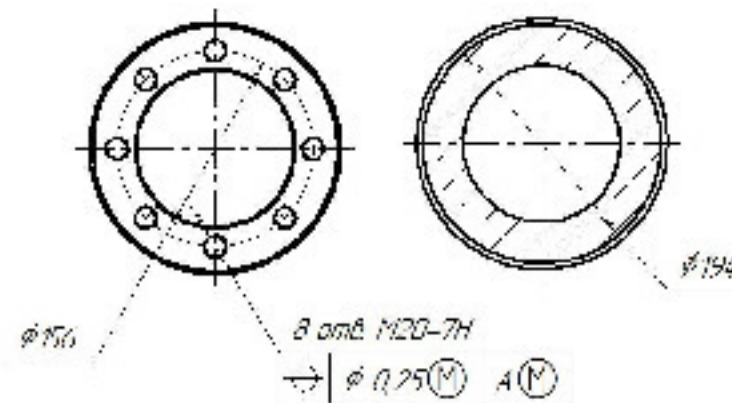
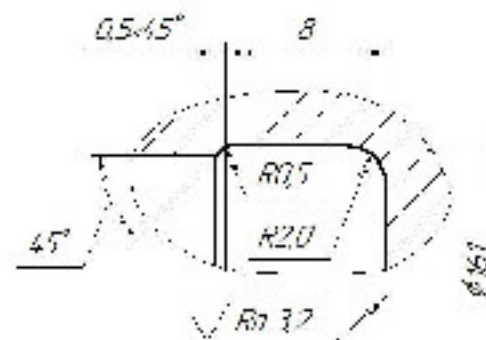
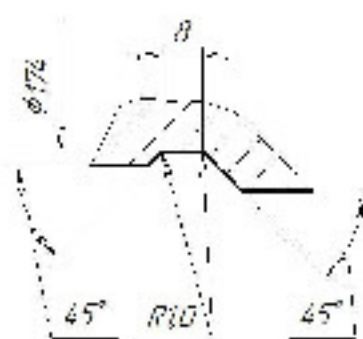
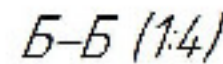
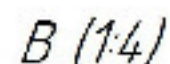
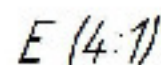
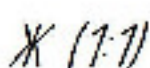
Особа, відповідальна за перевірку _____ Сердюк О. В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Експерт _____ Козлов Л. Г., д.т.н., зав. каф. ТАМ
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Додаток

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ
ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ГІЛЬЗА ГЦ.21.002»

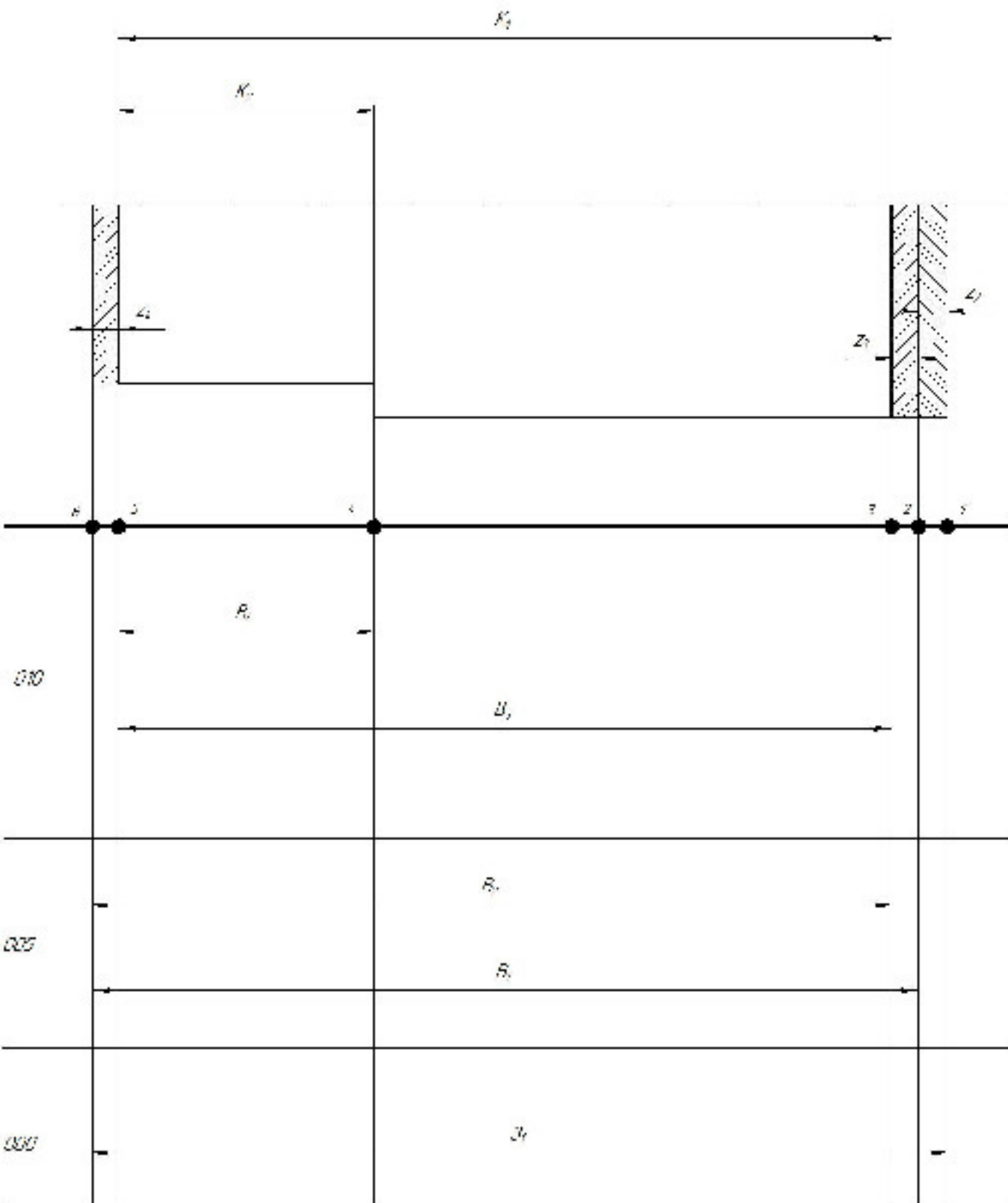


1. Допуск перпендикулярности осей стержня $1/20 \times 15$ 7H в отношении поверхности D $\Phi 0,03$ мм.

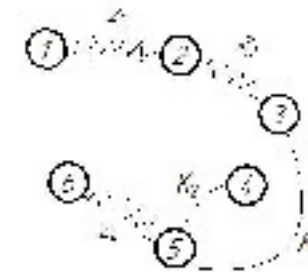
[illegible]

Розмірний аналіз технологічного процесу

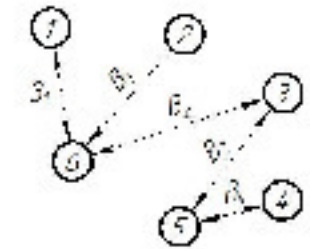
Розмірна схема технологічного процесу



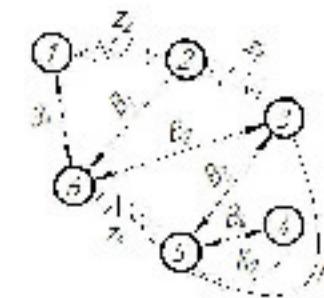
Вихідний граф-дерево



Похідний граф-дерево



Суміщений граф

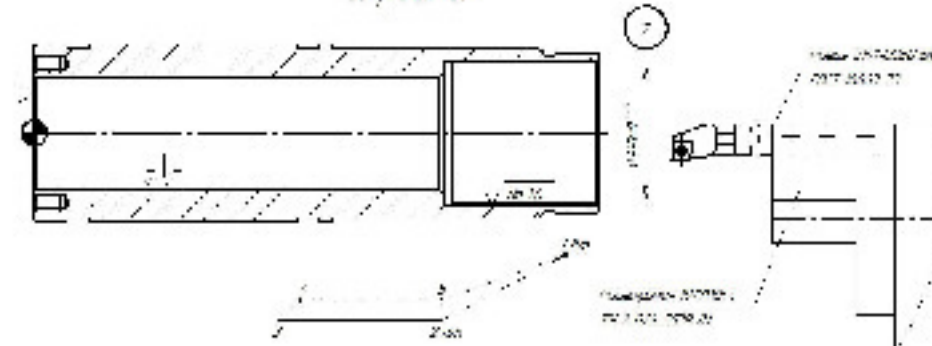
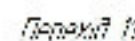
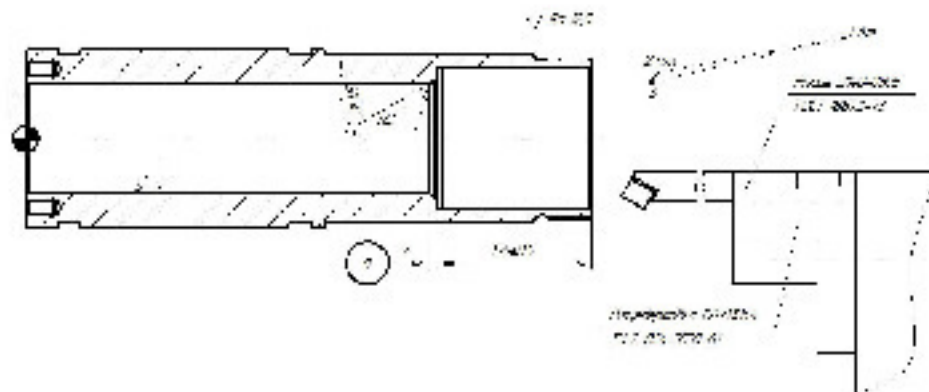
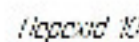
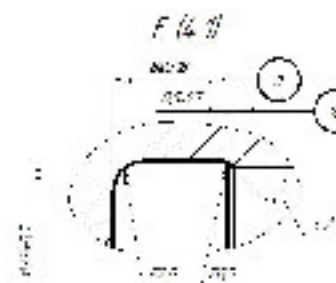
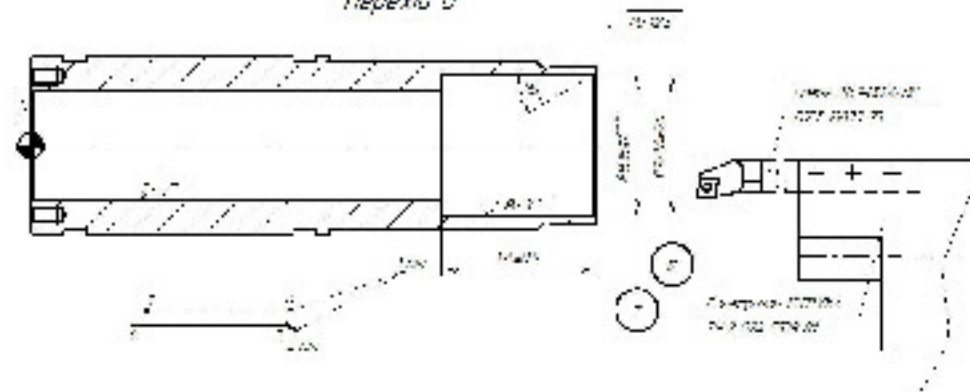
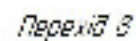
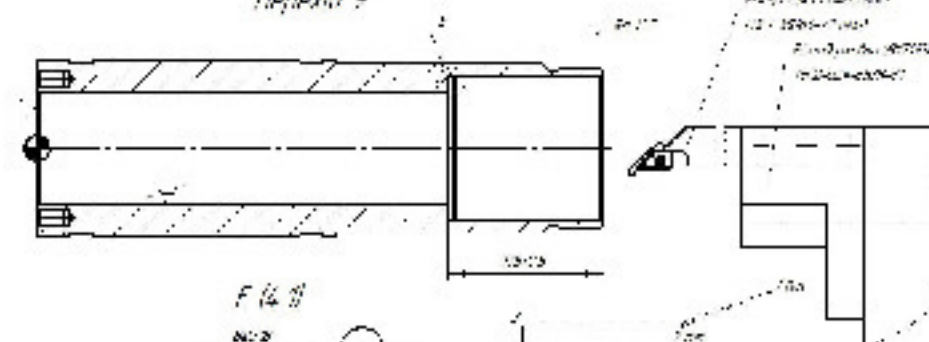
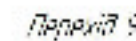
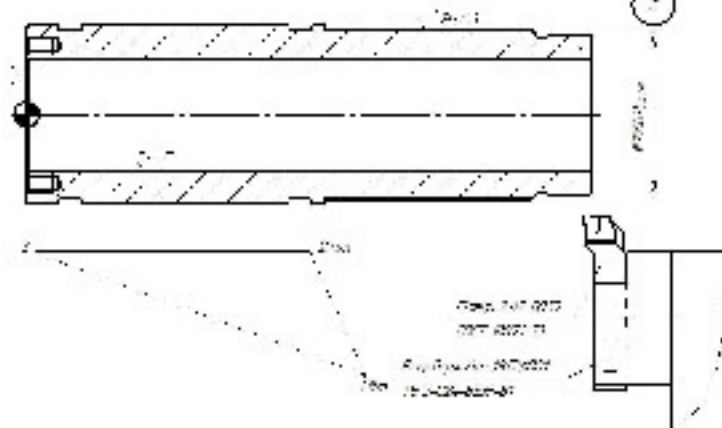
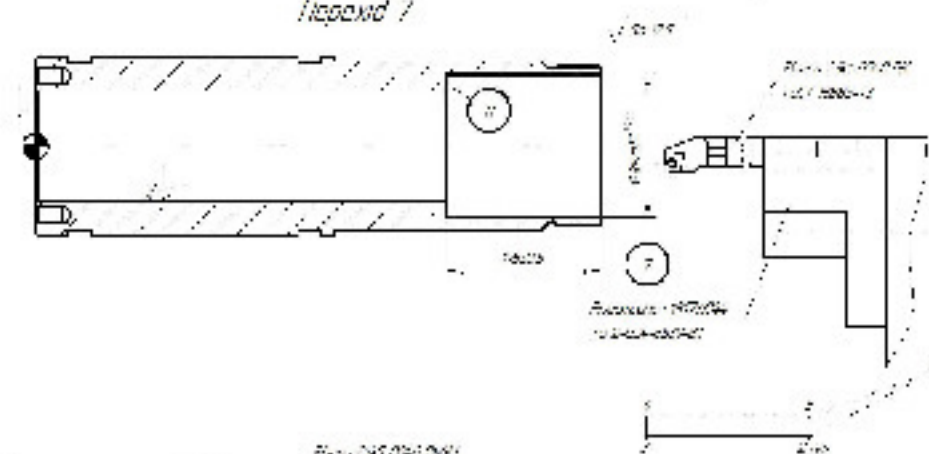
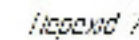
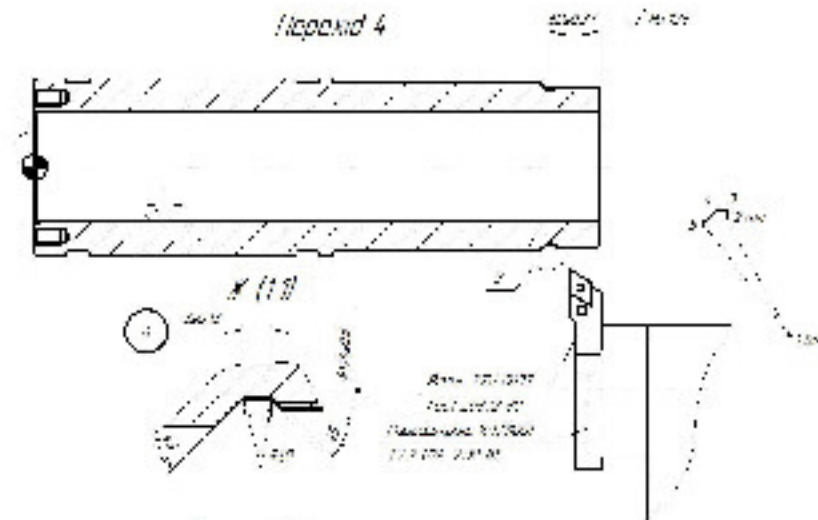


Припуски на механічну обробку, мм

	Z_1	Z_2	Z_3
Різноточення	1,2	1,4	1,2
Рівномірність	9,12	5,4	0,7

Значення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки та допуски цих розмірів, мм

Позначення розміру	тех. розмір	тех. розмір	Допуск	Начальний розмір	Значення розміру в механічному цеху	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
R_1	600,125	601,875	1,75	601	601±0,875	
R_2	601,075	602,825	1,75	601,95	601,95±0,875	
U_1	570,125	600,875	1,75	600	600±0,875	
U_2	740,05	750,5	10	750	750±1,5	
Z_1	611,075	615,475	4,4	613,775	-	613,775±2,7



2000 4

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ ДОВГИХ ОТВОРІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК ВИСОКОЇ ТОЧНОСТІ

Мета дослідження – виявлення впливу елементарних похибок на сумарну похибку обробки тонким розточуванням на токарних верстатах з ЧПК високої точності.

Дослідження виконувались на прикладі деталі «Гільза ГЦ.21.002». Згідно з попередньо розробленим маршрутом механічної обробки, вважалось, що тонке розточування отвору виконується на операції 005 з використанням багатоцільового токарного верстата з ЧПК високої точності B1200Y, виготовленого фірмою Biglia (Італія).

Діаметральний розмір отвору, що утворився після тонкого розточування, передбачає наявність припуску під подальше хонінгування (на операції 020).

Згідно з [2] поле розсіювання (сумарна похибка обробки) діаметральних розмірів отворів, що отримуються розточуванням на токарних верстатах з ЧПК під час виготовлення партії деталей складатиме

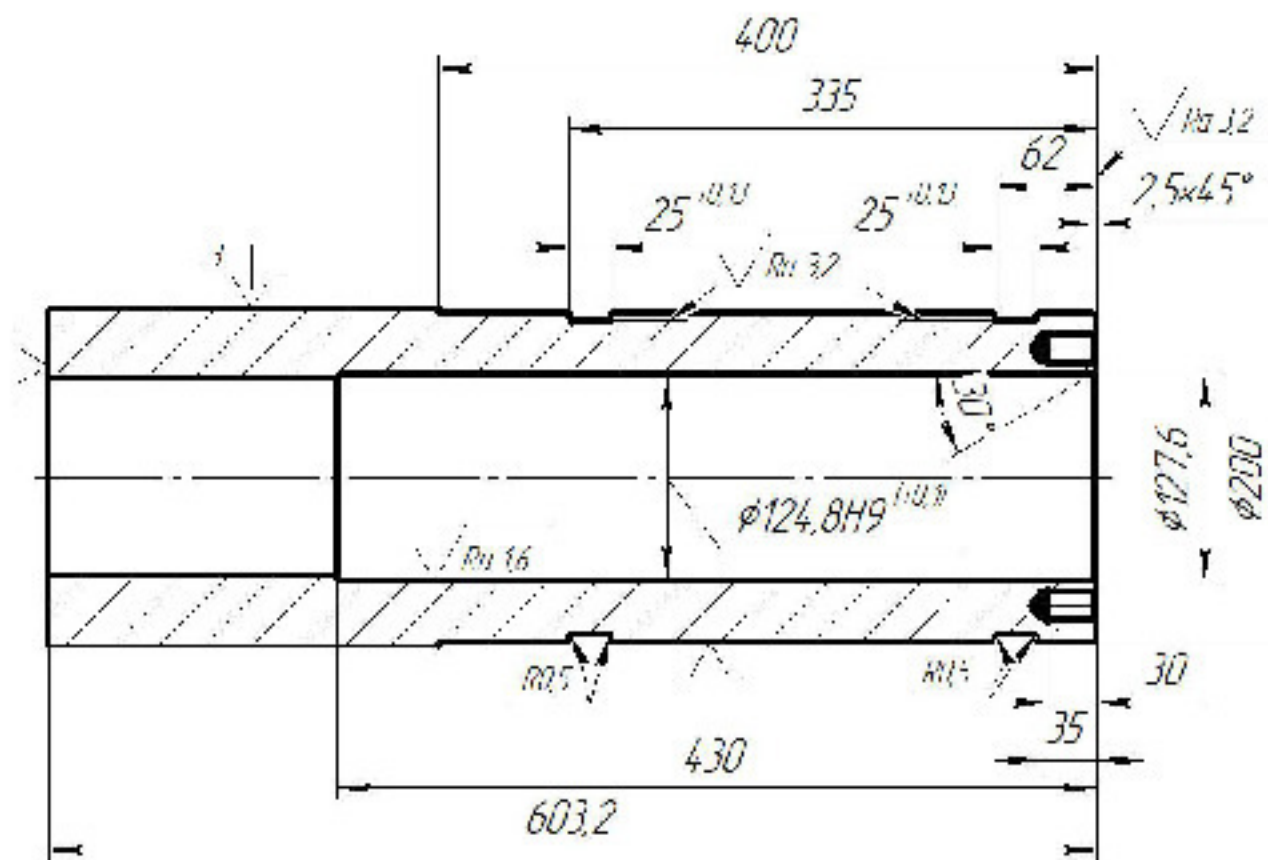


Рисунок 1 – Ескіз обробки на операції 005

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \varepsilon_{\text{пл}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{поз}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_5 \varepsilon_{\text{і}})^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_7 \varepsilon_{\text{т}})^2} \text{ [мкм]}, \quad (1)$$

де $\varepsilon_{\text{пл}}$ — похибка, спричинена пружними деформаціями технологічної системи і дією радіальної складової сили різання; $\varepsilon_{\text{поз}}$ — похибка позиціонування поперечного супорта по осі X; $\varepsilon_{\text{н}}$ — похибка настроювання розточувального різця на розмір обробки; $\varepsilon_{\text{і}}$ — похибка, зумовлена розмірним зносом розточувального різця; $\varepsilon_{\text{в}}$ — похибка, зумовлена геометричною неточністю верстата; $\varepsilon_{\text{т}}$ — похибка, зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи; $\frac{1}{K}$ — коефіцієнт, що залежить від бажаної імовірності роботи без браку.

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ ДОВГИХ ОТВОРІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК ВИСОКОЇ ТОЧНОСТІ (продовження)

Похибку, що спричинена пружними деформаціями технологічної системи і дією радіальної складової сили різання, можна визначити за формулою

$$\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}) \text{ [мкм]}. \quad (2)$$

Похибка позиціонування $\varepsilon_{\text{поз}}$ поперечного супорта по осі Х згідно з паспортними даними верстата В1200У складає 0,003 мм. Похибку настроєння $\varepsilon_{\text{н}}$ визначено за формулою

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{\varepsilon_{\text{р}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{ВМ}}}{2} \right)^2 + \varepsilon_{\text{ЗМ}}^2} \text{ [мкм]}. \quad (3)$$

Розрахуємо похибку ε_{i_N} , що виникає через розмірний знос різця в процесі обробки без піднастроювання всіх заготовок партії

$$\varepsilon_{i_N} = \frac{L_N}{1000} u_o \text{ [мкм]}. \quad (4)$$

Похибка, що зумовлена геометричною неточністю верстата ($\varepsilon_{\text{в}}$) виникатиме через відхилення від паралельності осі обертання заготовки відносно напрямку руху поздовжнього супорта

$$\varepsilon_{\text{в}} = \frac{CL}{L_6} \text{ [мкм]}. \quad (5)$$

Вважається, що похибка, яка спричинена температурними деформаціями елементів технологічної системи $\varepsilon_{\text{т}}$, складає близько 10% від суми інших похибок. Отже, приймемо, що

$$\varepsilon_{\text{т}} = 0,1 (\varepsilon_{\text{пд}} + \varepsilon_{\text{н}} + \varepsilon_{\text{поз}} + \varepsilon_{\text{і}} + \varepsilon_{\text{в}}) \text{ [мкм]}. \quad (6)$$

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ ДОВГИХ ОТВОРІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК ВИСОКОЇ ТОЧНОСТІ

(продовження)

За результатами розрахунків побудована діаграма величин елементарних і сумарної похибки (рис. 2), що виникають в процесі тонкого розточування на верстаті з ЧПК моделі B1200Y (Biglia).

Висновки

1. На прикладі тонкого розточування головного отвору в заготовці деталі типу «Гільза гідроциліндра» виконано аналіз з виявленням елементарних похибок, та сумарної похибки.

2. Показано, що під час розточування отворів значної довжини та діаметра, похибка, що зумовлена розмірним зносом різця, в процесі обробки партії заготовок з автоматичним отриманням розмірів на настроєному верстаті може помітно впливати на точність діаметрального розміру, але якщо обробка виконується на токарному верстаті з ЧПК, то ця похибка може компенсуватися використанням автоматичної корекції положення вершини різця.

4. Аналіз показників точності, що забезпечуються тонким розточуванням великогабаритних заготовок на токарному верстаті з ЧПК високої точності, показує, що за розглянутих технологічних умов може забезпечуватись 7 квалітет точності діаметрального розміру.

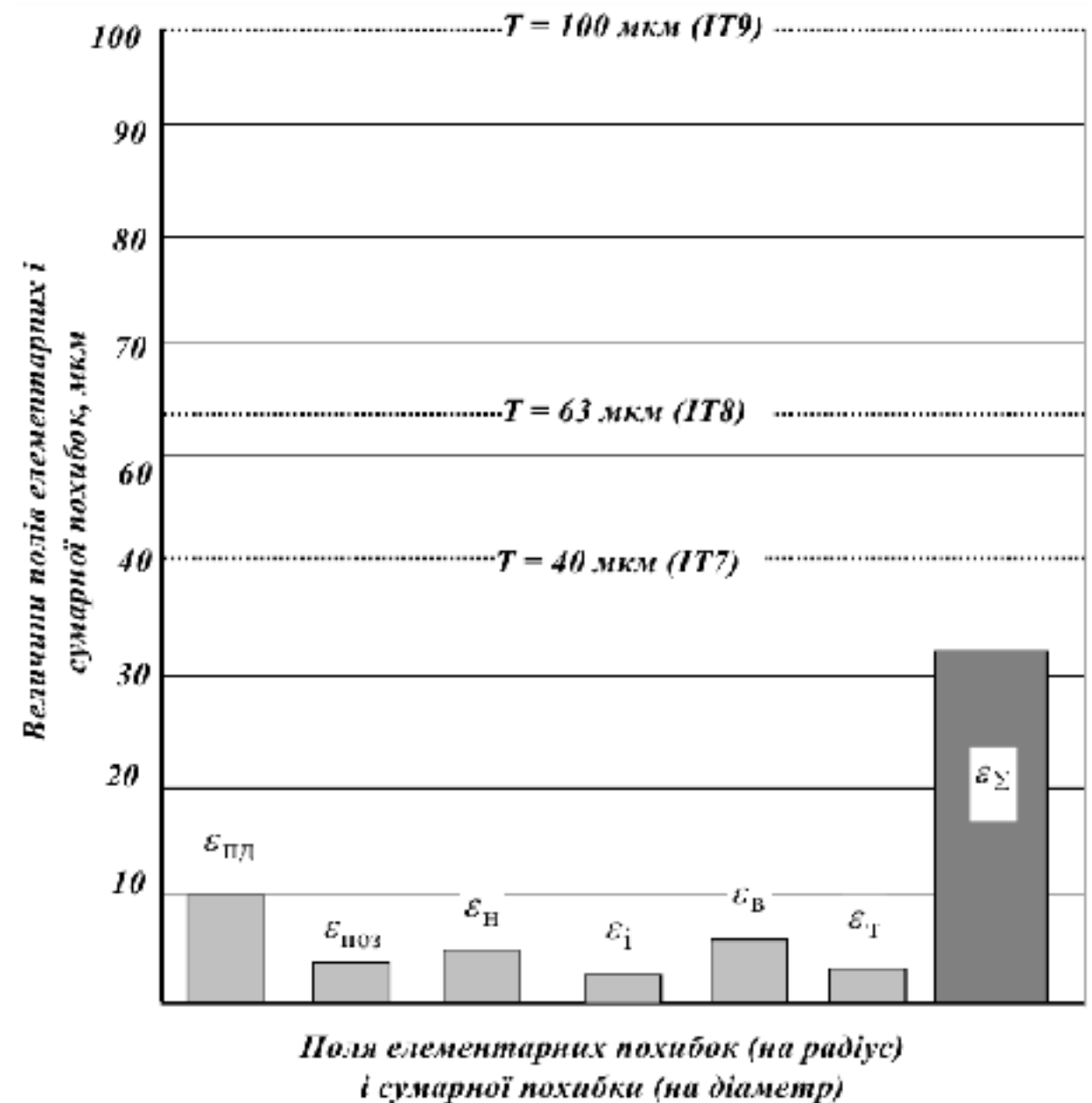


Рисунок 2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають в процесі тонкого розточування поверхні $\varnothing 124,8^{+0,1}$ мм

Техніко-економічні показники удосконаленого технологічного процесу та ділянки механічної обробки

Показники	По базовому варіанту	По удосконаленому технологічному процесу
Маса деталі, кг	69,67	69,67
Спосіб виготовлення заготовки	штампування на гідравлічному пресі	трудний прокат
Маса заготовки, кг	97,5	107,27
Коефіцієнт використання матеріалу заготовки	0,715	0,65
Вартість заготовки, грн.	1195,7	751,76
Середній розряд робітників	4	3
Кількість верстатів, шт.	10	6
Площа, зайнята верстатами, м ²	250	150
Кількість основних робітників, чол.	12	6
Кількість працюючих на ділянці, чол.	18	12
Капітальні вкладення, грн.	–	3008011,89
Собівартість деталі, грн.	1800,95	1250,66
Прибуток за рік, грн./рік	–	2163705,77
Термін окупності капітальних вкладень, років	–	1,39