

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки
деталі типу “Цапфа Р25.03.018”»**

08-26.МКР.009.00.000 ПЗ

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

Сікач О. М.

Керівник: к.т.н., професор каф. ТАМ

Дерібо О. В.

« 13 » грудня 2021 р.

Опонент: к.е.н., доцент каф. АТМ

Буренніков Ю. Ю.

« 21 » грудня 2021 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ТАМ

д.т.н., проф. Козлов Л. Г.

« » 2021 р.

Вінниця ВНТУ – 2021 рік

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

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

« 18 » жовтня 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Сікачу Олександр Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018»

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

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

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

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі «Цапфа Р25.03.018»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 1000 шт.; довідкова література

4. Зміст текстової частини: анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталі типу «Вал»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018»; аналіз точності обробки і визначення коефіцієнтів уточнення, що забезпечуються чистовим і тонким точінням великогабаритних заготовок на верстатах з ЧПК; розрахунок дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018»; економічна доцільність удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018»; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
деталь «Цапфа Р25.03.018» (А1); 3D-модель деталі (А1); заготовка деталі «Цапфа» (А3); маршрут механічної обробки (2А1); розмірний аналіз технологічного процесу (А1); карта налагоджень (операція 005) (А1); аналіз точності обробки і визначення коефіцієнтів уточнення, що забезпечуються чистовим і тонким точінням великогабаритних заготовок на верстатах з ЧПК (4А1); план дільниці механічного цеху (А1); техніко-економічні показники (А1)

6. Консультанти розділів роботи

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	02.11.21 р.	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	12.11.21 р.	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	15.11.21 р.	
4	Розв'язання поставлених задач	25.11.21 р.	
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	29.11.21 р.	
6	Виконання розділу «Економічна частина»	05.12.21 р.	
7	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	10.12.21 р.	
8	Попередній захист МКР	13.12.21 р.	
9	Перевірка роботи на плагіат	10.12.21 р.	
10	Нормоконтроль МКР	20.12.21 р.	
11	Рецензування МКР	21.12.21 р.	
12	Захист МКР	22.12.21 р.	

Студент

(підпис)

Сікач О. М.

Керівник роботи

(підпис)

Дерібо О. В.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.9

Сікач О. М. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – прикладна механіка, освітня програма – технології машинобудування. Вінниця : ВНТУ, 2021. 146 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 30 назв; рис.: 20; табл. 42.

У магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018». У загальній частині роботи проведено огляд технологій виготовлення деталі типу «Вал», обґрунтована доцільність удосконалення існуючого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018».

В технологічній частині виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Цапфа Р25.03.018» з використанням верстатів з ЧПК та вибрано кращий з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки; визначено режими різання та норми часу; виконано аналіз впливу технологічних факторів на показники точності механічної обробки чистовим і тонким точінням крупногабаритних заготовок на верстатах з ЧПК, визначено коефіцієнти уточнення, що забезпечуються такою обробкою; розраховано приведену програму, кількість обладнання та працівників; удосконалено дільницю 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 дільниці механічної обробки. Розроблено також заходи з охорони праці та безпеки та в надзвичайних ситуаціях.

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

Ключові слова: технологічний процес, механічна обробка, точіння, заготовка, великогабаритна деталь типу «тіло обертання», точність обробки.

ABSTRACT

Sikach O. M. Improvement of the technological process of machining the workpiece of a part of the «Trunnion R25.03.018» type. Master's qualification work in specialty 131 – applied mechanics, educational program – mechanical engineering technology. Vinnytsia : VNTU, 2021. 146 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 30 titles; fig.: 20; tabl. 42.

In the master's qualification work, the technological process of machining a workpiece of a part of the «Trunnion R25.03.018» type has been improved. In the general part of the work, a review of the technologies for manufacturing a part of the «Shaft» type was carried out, the expediency of improving the existing technological process of machining a workpiece of a part of the «Trunnion R25.03.018» type was substantiated.

In the technological part, a variant selection and a feasibility study of a method for manufacturing a blank are made; options for the route of machining a part of the «Trunnion R25.03.018» type with the use of CNC machines were developed and the best of them was selected at a minimum of reduced costs; dimensional-accurate modeling of the improved technological process of machining was carried out; the cutting modes and time norms are determined; the analysis of the influence of technological factors on the accuracy of machining by finishing and fine turning of large-sized workpieces on CNC machines was carried out, the refinement coefficients provided by such processing were determined; the reduced program, the number of equipment and workers are calculated; the area of mechanical processing has been improved.

In the economic part of the work, capital investments, the cost of machining the workpiece of the part, the payback period and the economic effect obtained as a result of improving the technology and the machining site are calculated. Measures for labor protection and safety and in emergency situations have also been developed.

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

Key words: technological process, machining, turning, workpiece, large-sized part such as a body of revolution, machining accuracy.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ»	10
1.1 Характеристика об'єкта виробництва, його призначення та технічні умови на виготовлення	10
1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Вал»	11
1.3 Критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі «Цапфа Р25.03.018»	13
1.4 Характеристика удосконаленого технологічного процесу	15
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ЦАПФА Р25.03.018»	17
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі	17
2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт	21
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки	29
2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь	39
2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз	41
2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу	44
2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат	52
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу	57
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів	63
2.10 Призначення режимів різання	69
2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання	73
2.12 Визначення технічних норм часу	75

3 АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ І ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ УТОЧНЕННЯ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ЧИСТОВИМ І ТОНКИМ ТОЧІННЯМ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК	81
3.1 Постановка задачі дослідження	81
3.2 Результати дослідження	83
3.3 Висновки	94
4 РОЗРАХУНОК ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ЦАПФА Р25.03.018»	95
4.1 Розрахунок приведеної програми	95
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження	99
4.3 Побудова графіків завантаження обладнання	102
4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці	103
5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ЦАПФА Р25.03.018»	106
5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки	106
5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018»	113
5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції	119
5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу	123
5.5 Розрахунок величини чистого прибутку	124
5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення	125
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	128
6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	128
6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	131
6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	136
ВИСНОВКИ	142
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	144
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної роботи	147
Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина	148

ВСТУП

Актуальність. Машинобудування є однією з найважливіших галузей промисловості України і світу. Основна задача машинобудування полягає в забезпеченні високоефективним обладнанням різні сфери виробництва. В процесах виготовлення будь-яких виробів дуже важливу роль відіграють якість, конкурентоспроможність, собівартість та інші показники, що виділяють вироби на ринку збуту. Для забезпечення високого рівня цих показників в першу чергу слід вибирати найсприятливіші умови виробництва, удосконалювати його організацію, застосовувати комплексну механізацію й автоматизацію виробничих процесів. Важливу роль в забезпеченні високої ефективності виробництва відіграє вибір раціональних способів виготовлення заготовок, правильна організація виробничих процесів, впровадження передових методів і технологій виготовлення деталей та складальних одиниць. В сучасному серійному виробництві значно підвищує продуктивність праці, зменшує час обробки і не потребує висококваліфікованих робітників використання нових технологій, багатоцільових і багатоінструментальних верстатів з ЧПК та сучасних різальних інструментів, оснащених пластинами з надтвердих матеріалів для лезової обробки замість малопродуктивного шліфування.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018».

Завдання, що вирішуються в роботі:

- проведення огляду технології виготовлення деталі типу «Вал»;
- техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки;
- удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018» на основі варіантного підходу;
- розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу;
- визначення режимів різання та норм часу удосконаленого технологічного процесу механічної обробки;

- аналіз впливу елементарних похибок на сумарну похибку обробки великогабаритних заготовок чистовим і тонким точінням на токарних верстатах з ЧПК високої точності і визначення коефіцієнтів уточнення, які досягається в процесах такої обробки;

- розрахунок приведеної програми, кількості обладнання та працівників на дільниці, що проектується;

- проведення економічних розрахунків з упровадження запропонованих у роботі рішень;

- виконання розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

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

Предмет дослідження – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа P25.03.018».

Методи дослідження. Метод теорії розмірних ланцюгів для виконання розмірно-точнісного моделювання технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа P25.03.018»; методологія дослідження балансу точності переходів механічної обробки; метод лінійного програмування (симплекс-метод) для визначення оптимальних режимів різання.

Наукова новизна одержаних результатів. отримала подальший розвиток методологія дослідження балансу точності стосовно лезової викінчувальної обробки великогабаритних заготовок типу «тіло обертання» на токарних верстатах з ЧПК високої точності.

Практичне значення одержаних результатів. Удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа P25.03.018». Запропоновані рішення:

- для виготовлення заготовки деталі типу «Цапфа P25.03.018» запропоновано два способи – штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах та прокат. Встановлено, що економічно доцільніше виготовляти заготовку штампуванням на кривошипних гарячештампувальних пресах, оскільки коефіцієнт точності маси заготовки при цьому способі (0,44)

більший, ніж з при виготовленні заготовки з прокату (0,29); при цьому вартість штампованої заготовки складає 540,76 грн., що менше у порівнянні з прокатом – 1077,78 грн.

- удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018» з використанням верстатів з ЧПК;

- виконано аналіз точності обробки і визначено коефіцієнти уточнення, що забезпечуються чистовим і тонким точінням великогабаритних заготовок на верстатах з ЧПК високої точності;

- для удосконаленого маршруту механічної обробки спроектовано ділянку механічної обробки; розраховано приведену програму для роботи ділянки в середньосерійному виробництві, яка складає $N_{прив} = 9025$ шт.; ділянка механічної обробки повинна містити 5 верстатів, кількість основних робітників, що її обслуговують – 5 чол., всього працівників на ділянку – 9 чол.

Апробація результатів роботи. Доповідь на конференції:

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

Опубліковано тезу доповіді:

Сікач О. М. Аналіз точності обробки і визначення коефіцієнтів уточнення, що забезпечуються чистовим і тонким точінням крупногабаритних заготовок на верстатах з ЧПК. Електронний ресурс : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2022/paper/viewFile/14178/12008>.

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ»

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

Деталь «Цапфа P25.03.018» (рис. 1.1) є складовою вальцювого станка А1-БЗ-2Н, який призначений для подрібнення зерна і проміжних продуктів розмолу пшениці і застосовується в складі комплекту обладнання на мукомольних підприємствах з збільшеним виходом муки вищих сортів [1].

Службове призначення деталі «Цапфа P25.03.018» полягає в тому, що вона є опорою для полого валка, який в свою чергу, служить для механізмів розсіювання продуктів розмелювання.

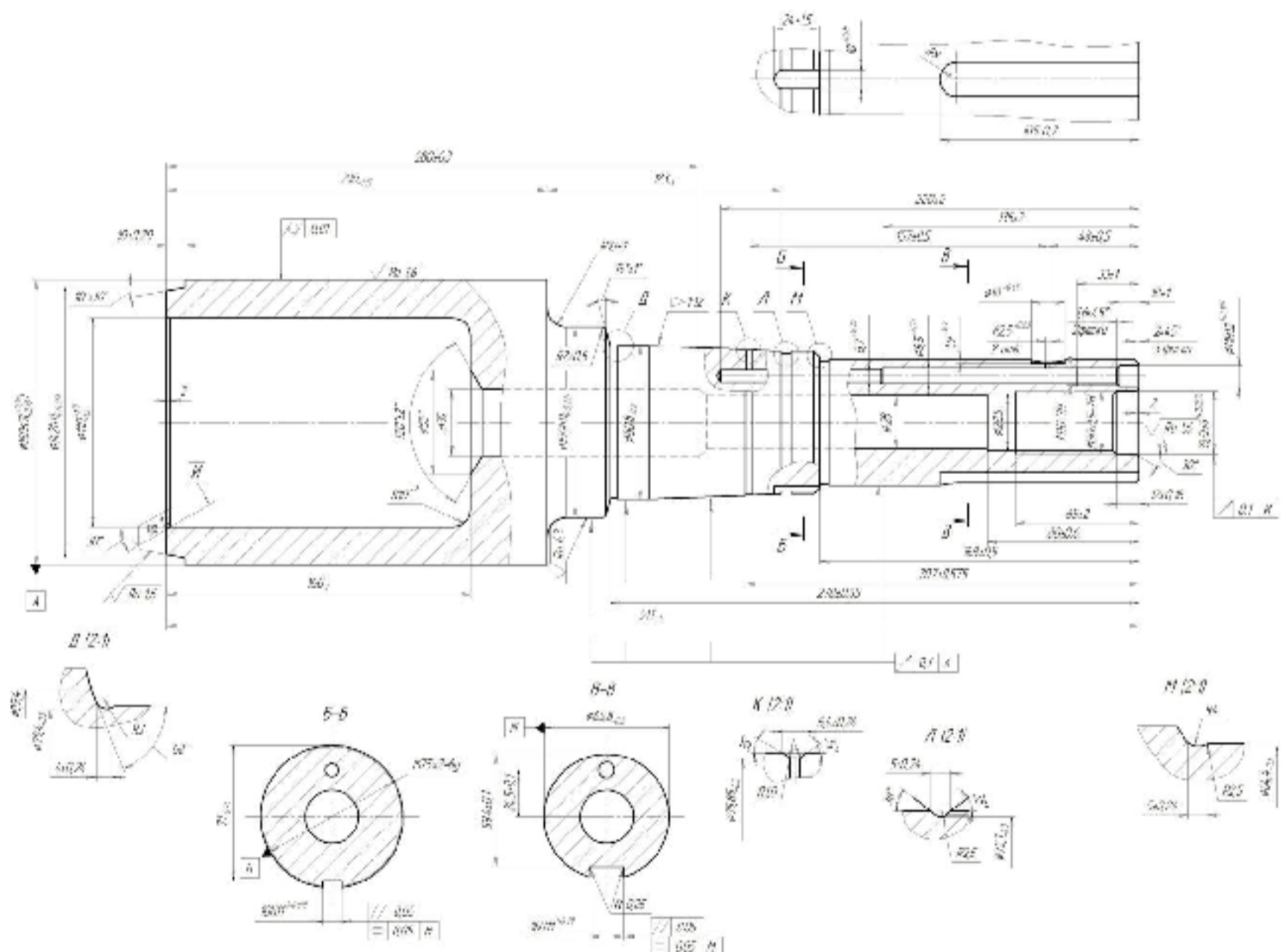


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі «Цапфа P25.03.018»

Основні конструкторські бази деталі – це зовнішня виконавча поверхня $\varnothing 150s7^{(+0,14)}_{(+0,10)}$, що слугує для правильної орієнтації у вузлі.

Допоміжні конструкторські бази деталі – це $\varnothing 80,8_{-0,2}$, $\varnothing 65,8_{-0,2}$, $\varnothing 100h11_{(-0,22)}$, кріпильний отвір $\varnothing 11H12^{(+0,18)}$.

Вільна поверхня – $\varnothing 110$.

У відповідності з призначенням поверхонь до них ставляться такі вимоги: найбільш точними є виконавчі, основні та допоміжні конструкторські бази (діаметральні розміри). До них ставиться вимога обробки по 8 квалітету з шорсткістю $R_a = 1,6$ мкм ($\varnothing 150s7^{(+0,14)}_{(+0,10)}$, $\varnothing 33,5H8^{(+0,039)}$).

Інші поверхні, що слугують допоміжними конструкторськими базами повинні мати такі характеристики: $\varnothing 100h11$ повинен бути оброблений згідно 11 квалітету з шорсткістю $R_a = 6,3$ мкм. Кріпильний отвір $\varnothing 11H12^{(+0,18)}$ повинен мати після механічної обробки 12 квалітет та шорсткість поверхні $R_a = 12,5$ мкм.

Вільна поверхня $\varnothing 110$ мм в результаті механічної обробки повинна мати точність по 12 квалітету та шорсткість $R_a = 12,5$ мкм.

Поставлені вимоги щодо взаємного розміщення поверхонь:

- радіальне биття поверхонь $\varnothing 100h11$, $\varnothing 80,8$ відносно бази А.

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

Задану деталь «Цапфа P25.03.018» можна віднести до класу валів [2, 3].

Вивчивши подібні деталі в даному типі виробництва, можна сказати, що найбільш схожий процес механічної обробки буде для шліцевого валу, так як вона за своєю конфігурацією наближається до конфігурації досліджуваної деталі. Форма і розміри обрано для порівняння деталі зображені на рис. 1.2 [2].

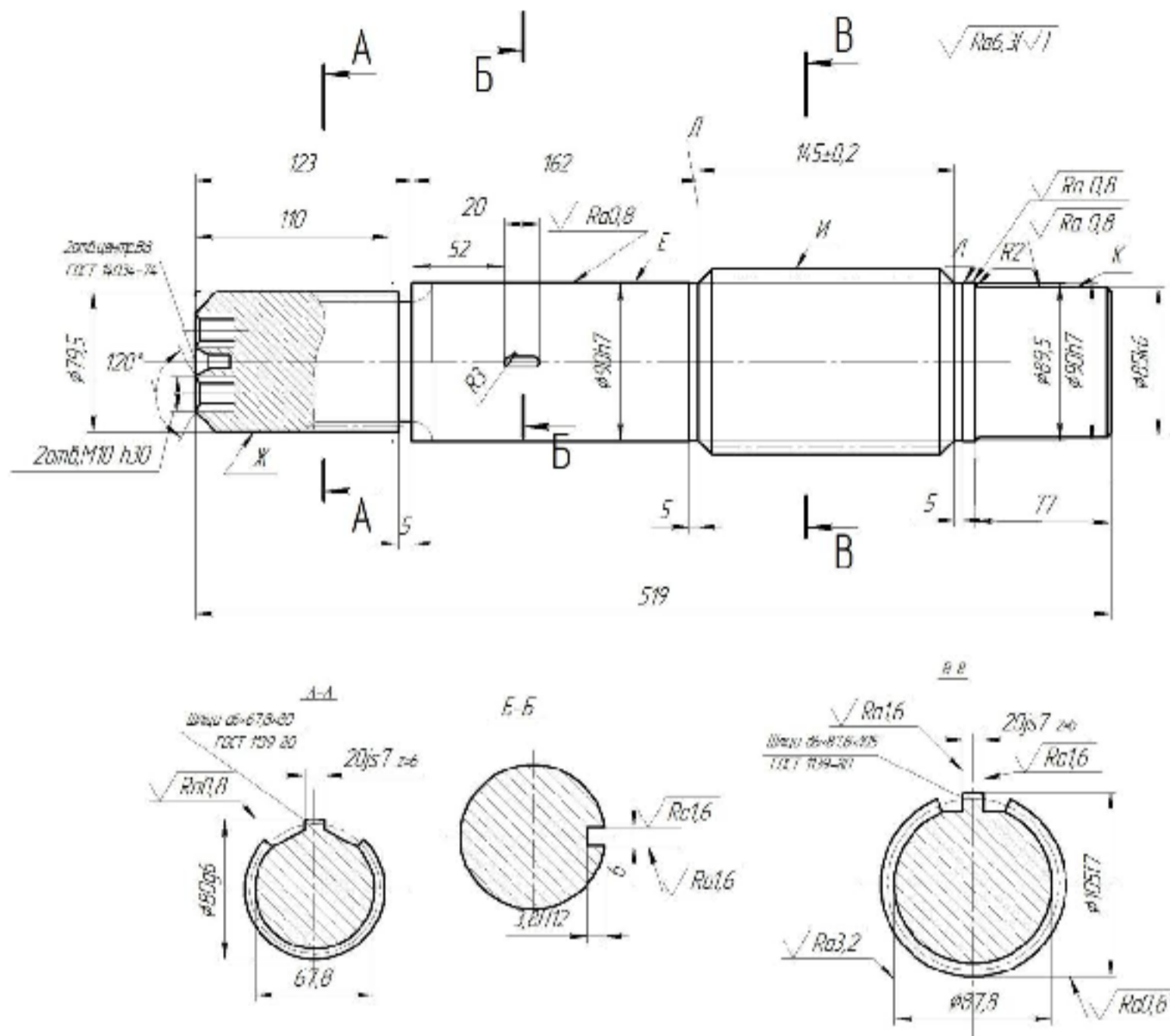


Рисунок 1.2 – Шліцевий вал

Вихідні дані: вид заготовки – прокат, матеріал – сталь 45, число деталей із заготовки – 1.

Схеми базування для неї при обробці – центра та призма.

Маршрут механічної обробки зображений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Типовий технологічний процес виготовлення шліцевого валу

Операція	Зміст операцій	Обладнання
1	2	3
005	Відрізати заготовку	Фрезерно-відрізний
010	Термічна обробка	
015	Фрезерувати торці в розмір $519 \pm 0,2$ і центрувати з двох сторін одночасно	Фрезерно-центрувальний 2Г942
020	Точити: шийки $\text{Ø}80g6$ до $\text{Ø}85$; $\text{Ø}90h7$ до $\text{Ø}95$ і фаски	Токарний 16К20Ф3

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
025	Точити: шийки Ø80k6 до Ø90; Ø90h7 до Ø95 і фаски Точити: шийки Ø80g6 до Ø80; Ø105f7 до Ø105,5h4, фаски, Ø90h6 до Ø90,5h4, проточити дві канавки B = 5	Токарний 16К20Ф3
030	Точити шийки Ø80g6 до Ø80,5h4; Ø90h6 до Ø90,5h14, фаски, канавки B = 5	Токарний 16К20Ф3
035	Фрезерувати шпонковий паз 6	Шпоночно-фрезерний 6930
040	Обробити два різьбових отвори M10 на глибину 10	Радіально-свердлильний 2А554
045	Фрезерувати шість шліців в розмір 20j _s до 87,8	Шліцефрезерний горизонтальний напівавтомат 5А352ПФ2
050	Фрезерувати шість шліців в розмір 20j _s до Ø67,8	Шліцефрезерний горизонтальний напівавтомат 5А352ПФ2
055	Зачистити задирки	Механізований верстак
060	Шліфувати шийки Ø80g6, Ø90h7, Ø105f7; торець Д	Круглошліфувальний 3М153ДФ2
065	Шліфувати шийки Ø85k6 і Ø90h7	Круглошліфувальний 3М153ДФ2
070	Промити деталь	Миюча машина
075	Технічний контроль	
080	Нанесення антикорозійного покриття	

Проаналізувавши дві деталі, можна зробити висновок, що використання типової схеми обробки, в деякій мірі, доцільно для нашої деталі.

1.3 Критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі «Цапфа Р25.03.018»

Базовий ТП показано в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технологічний процес механічної обробки деталей типу «Цапфа Р25.03.018»

Номер операції	Назва і короткий зміст операції	Верстат
1	2	3
005	Фрезерно-відрізна Зняти залишок.	Фрезерно-відрізний 8В66
010	Токарна Відрізати заготовку; центрувати правий торець; підрізати лівий торець; точити поверхню; переустановити деталь; центрувати лівий торець; підрізати правий торець.	Токарний з ЧПК 1М63Ф101
015	Токарна Свердлити отвір; розсвердлити отвір.	Токарний 1П365
020	Токарна Розточити отвір з підрізанням дна.	Токарний з ЧПК 1М63Ф101
025	Токарно-револьверна Розсвердлити отвір.	Токарний 1П365
030	Токарна Розточити отвір; розточити радіус; розточити фаску.	Токарний з ЧПК 1М63Ф101
035	Токарна Свердлити отвір на прохід.	Токарний з ЧПК 1М63Ф101
040	Токарна Підрізати правий торець остаточно; розточити отвір $\varnothing 30,34^{+0,2}$ під різьбу; розточити отвір; розточити фаску; нарізати різьбу; калібрувати різьбу.	Токарний з ЧПК 1М63Ф101
045	Круглошліфувальна Шліфувати поверхню на прохід; шліфувати поверхню; шліфувати поверхню.	Круглошліфувальний 3А164
050	Вертикально-фрезерна Фрезерувати шпонковий паз.	Вертикально-фрезерний 6Р11
055	Вертикально-фрезерна Фрезерувати отвір.	Вертикально-фрезерний 6Р11
060	Вертикально-фрезерна Фрезерувати шпонковий паз	Вертикально-фрезерний 6Р11
065	Радіально-свердлильна Свердлити отвір; свердлити отвір; розсвердлити отвір; нарізати різьбу.	Радіально-свердлильний 2М57
070	Радіально-свердлильна Свердлити отвір на вихід в отвір $\varnothing 8,5^{+0,15}$; свердлити отвір на вихід в отвір $\varnothing 6,7Н14$.	Радіально-свердлильний 2М57

В даному технологічному процесі використовується здебільшого універсальне обладнання. Але використовуючи базовий технологічний процес, де наявне універсальне обладнання, недоцільно, тому що це призводить до значних затрат часу на налагодження верстатів, виникає похибка базування на взаємне розміщення поверхонь, підвищується собівартість деталі.

1.4 Характеристика удосконаленого технологічного процесу

На основі типових та базового ТП розроблено удосконалений ТП виготовлення деталі «Цапфа Р25.03.018» (детальні розрахунки наведено в розділі 2).

Таблиця 1.3 – Удосконалений технологічний процес

№	Короткий зміст операцій та переходів	Модель верстату
1	2	3
005	Токарно-револьверна з ЧПК Точити по контуру правий торець однократно, конус однократно, канавку попередньо, поверхню попередньо; точити по контуру поверхні остаточно; свердлити отвір; розточити отвір; розточити отвір $\text{Ø}60^{+0,7}$; розточити отвір $\text{Ø}90^{+0,9}$; розточити отвір; розточити радіус; розточити фаску; розточити фаску однократно.	Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30
010	Токарно-револьверна з ЧПК Точити по контуру поверхні однократно, попередньо, однократно; точити поверхню попередньо; точити канавку однократно; точити канавку однократно; точити канавки однократно; точити поверхню остаточно; підрізати торець однократно; розточити по контуру фаску, поверхню попередньо, фаску і поверхню однократно; розточити поверхню попередньо; розточити поверхню остаточно; нарізати різьбу; калібрувати різьбу.	Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30
015	Вертикально-свердлильна Свердлити отвір; розсвердлити отвір; розсвердлити отвір; нарізати різьбу.	Вертикально-свердлильний з ЧПК 2Р135Ф2

Продовження таблиці 1.3

1	2	3
020	<p style="text-align: center;">Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <p>Установ 1 Фрезерувати шпонковий паз; фрезерувати шпонковий паз.</p> <p>Установ 2 Фрезерувати отвір; свердлити отвір на прохід в отвір $\varnothing 8,5^{+0,15}$; свердлити отвір на вихід в отвір $\varnothing 6,7^{+0,36}$.</p>	<p style="text-align: center;">Вертикально- фрезерний з ЧПК 6P13PФ3</p>
025	Термічна обробка	
030	<p style="text-align: center;">Токарна з ЧПК</p> <p>Точити поверхню $\varnothing 150s7^{(+0,14/+0,10)}$ попередньо; точити поверхню $\varnothing 150s7^{(+0,14/+0,10)}$ остаточно.</p>	<p style="text-align: center;">Токарний з ЧПК МК6801Ф3</p>

При використанні удосконаленого маршруту механічної обробки зменшиться кількість верстатів з дев'яти до п'яти, а саме: токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30, вертикально-свердлильний з ЧПК 2P135Ф2, вертикально-фрезерний з ЧПК 6P13PФ3 та токарний з ЧПК МК6801Ф3, що веде до зменшення площі ділянки, а також зменшиться кількість проміжних складів заготовок, що створюються біля кожного робочого місця. Крім того, значно знизиться кваліфікація робітників, оскільки верстати із ЧПК можуть обслуговуватися робітниками другого чи третього розряду, зменшиться також і кількість робітників, оскільки, зменшиться кількість верстатів і робітник може обслуговувати два верстати із числовим програмним управлінням.

Існуюча площа ділянки – 280 м², кількість верстатів – 9 шт., кількість робітників – 7 чоловік.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ЦАПФА P25.03.018»

2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі

2.1.1 Якісний аналіз технологічності деталі

Деталь «Цапфа P25.03.018» виготовляється із сталі ГОСТ 1050-88 максимальний $\varnothing 150$ і довжиною 511. Вона запресовується з обох сторін полого валка. «Цапфа P25.03.018» має три шийки: перехідну циліндричну поверхню $\varnothing 100$ мм, опорну циліндрично-конічну поверхню $\varnothing 80 \dots 75$ мм з конусністю 1:12 для встановлення підшипників з конусною внутрішньою обоймою, а також на кінцях конічної поверхні є різьба M75 для гайок за допомогою яких відбувається затягування підшипників та циліндричну шийку для посадки шківів з одної сторони і шестерен міжвалкової передачі з іншої. В деталі є центральні отвори $\varnothing 28$ мм (наскрізні) для зливання охолоджувальної рідини. Наявні повздовжні і радіальні отвори використовуються для демонтажу підшипників.



Рисунок 2.1 – 3D-модель деталі «Цапфа P25.03.018»

Деталь «Цапфа P25.03.018» є нетехнологічною, оскільки її довжина 511 мм також на ній присутні важкодоступні нетехнологічні елементи, а саме глухі отвори $\varnothing 6,7$ і $\varnothing 28$, які мають велику довжину і проходять майже через всю деталь і обробити їх буде важко, але всі інші поверхні деталі розміщені добре для обробки.

2.1.2 Кількісний аналіз технологічності деталі

Коефіцієнт уніфікації визначається за формулою [3, 4]:

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

де Q_{ey} – кількість уніфікованих елементів;

Q_e – загальна кількість елементів.

Отже, оскільки $Q_e = 97$ – кількість розмірів, та $Q_{ey} = 65$ – кількість уніфікованих розмірів, тоді

$$K_{ye} = 65/97 = 0,67.$$

Так як $K_{ye} = 0,67 > 0,6$, значить деталь технологічна за цим показником.

Таблиця 2.1 – Дані для розрахунку коефіцієнта уніфікації

Розміри								Шорсткість Ra, мкм		Різи	
Лінійні, мм		Діаметральні, мм		Радіуси, мм		Кути, °					
1		2		3		4		5		6	
P_L	$P_{L.V.}$	P_D	$P_{D.V.}$	P_R	$P_{R.V.}$	P_K	$P_{K.V.}$	Ш	Ш _γ	P_P	P_{VP}
24±1,5	24	6,7 ^{+0,36}	6,7	9	9	10	10	1,6	1,6	M30	M30
10 ^{+0,36}	10	8,5 ^{+0,15}	8,5	10±1	10	15	15	1,6	1,6	M75	-
105±0,7	105	2,5 ^{+0,25}	2,5	2±0,5	2	30	30	1,6	1,6	M10	M10
220±2	220	18 ^{+0,43}	18	10 ⁺²	10	30	30	1,6	1,6		
135±2	-	11 ^{+0,18}	11	2,5	-	35	35	6,3	6,3		
157±0,5	-	28	28	1	1	35	35				
48±0,5	48	28,5	-	0,25	-	38	-				
123 ₋₁	-	80,8 _{-0,2}	-	4	4	38	-				
1,9 ^{+0,2}	1,9	100 _{-0,22}	100	2,5	-	45	45				
1,6	1,6	150 ^(+0,14) _{+0,10}	150	3	3	45	45				
1,6	1,6	35	-			45	45				
33±1	-	55	55			45	45				
2	2	110 ^{+3,0} _{-1,5}	110			68	-				
2	2	142 _{-0,25}	-			120	120				

Продовження таблиці 2.1

1	2		3	4		5		6			
10±1	10	149,9 _{0,063}	-								
2	2	150 ^{+0,17} _{0,14}	150								
33,5 ^{+0,039}	-	72,1 _{-0,3}	-								
12±0,18	12	75,85 _{-0,3}	-								
280±0,3	280	65,8 _{-0,2}	-								
200 _{-1,15}	200	64,4 _{-0,3}	-								
165	-	150 ^{+0,17} _{+0,14}	150								
10±0,29	10	149,9 _{-0,063}	-								
10±0,29	10	89,4	-								
2	2	79,4 _{-0,3}	-								
160 ₋₁	160										
278±0,65	-										
511 _{-1,5}	-										
207±0,575	-										
168±0,5	-										
80±0,6	80										
65±2	-										
5±0,24	5										
6,4±0,24	-										
24,5±0,1	-										
59,4±0,1	-										
18 ^{+0,11}	18										
5±0,24	5										
71 _{-0,74}	71										
4±0,24	4										
Σ39	Σ25	Σ24	Σ12	Σ10	Σ7	Σ14	Σ11	Σ5	Σ5	Σ3	Σ2

Коефіцієнт шорсткості [3, 4]:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{\varphi}} \text{ [1/ммкм]}, \quad (2.2)$$

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

де $Ш_i$ – шорсткість i -ої поверхні;

n_i – кількість поверхонь з шорсткістю $Ш_i$. Всі дані для розрахунку коефіцієнта шорсткості наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Визначення коефіцієнта шорсткості

Шорсткість R_a , мкм	Кількість поверхонь	Розрахунок
1,6 (33,5H8 ^{+0,039} ; Ø150s7 ^(+0,14) _{+0,10})	4	1,6·4 = 6,4
6,3 (Ø100h11 _{-0,22})	1	6,3·1 = 6,3
12,5	67	12,5·67 = 837,5
	Σ72	Σ850,2

$$Ш_{cp} = \frac{850,2}{72} = 11,81 \text{ (мкм)}; \quad K_{ш} = \frac{1}{11,81} = 0,085 \text{ (1/мкм)}.$$

Оскільки $K_{ш} = 0,085 < 0,32$, то деталь ми вважаємо технологічною також.

Коефіцієнт точності визначається [3, 4]:

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

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

де T_i – квалітет точності і-го розміру кількістю n_i .

Дані для розрахунку наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок коефіцієнта точності обробки

Квалітет	Кількість поверхонь	Розрахунок
7 (Ø150s7 ^(+0,14) _{+0,10})	1	7·1 = 7
8 (33,5H8 ^{+0,039})	2	8·2 = 16
11 (Ø100h11 _{-0,22} ; Ø142h11 _{-0,25} ; 18H11 ^{+0,11})	3	11·3 = 33
12 (Ø11H12 ^{+0,18})	1	12·1 = 12
14	65	14·65 = 910
	Σ72	Σ978

$$T_{cp} = \frac{978}{72} = 13,58;$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{13} = 1 - 0,077 = 0,923.$$

Так як значення не менше за 0,8, тому деталь можна вважати технологічною по відношенню до даного показника.

Висновок: аналіз розрахованих вище коефіцієнтів показав, що досліджувана деталь «Цапфа Р25.03.018» є технологічною.

2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт

2.2.1 Визначення типу виробництва

Визначаємо тип виробництва за коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о.}$ [3, 4]

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

де $\sum O_i$ – сумарна кількість операцій, що виконуються на даному робочому місці; $\sum P_i$ – сумарна кількість робочих місць для виконання операцій.

Найбільш характерні переходи механічної обробки деталі «Цапфа Р25.03.018»:

- точіння $\varnothing 150s7$ попереднє;
- точіння $\varnothing 150s7$ остаточне;
- шліфування $\varnothing 150s7$ попереднє і остаточне;
- розточування отвору $\varnothing 110$;
- свердління отвору $\varnothing 28$.

Таблиця 2.4 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій

Переходи механічної обробки	Формула та розрахунок $T_{осн}$, хв	φ_K	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_K$, хв.	C_p , шт.	P , шт.	$\eta_{з.ф}$	$\eta_{з.н}$	O , шт.	$K_{з.о}$
Точіння $\varnothing 150s7$ попереднє	$T_{осн1} = 0,1 \cdot d \times l = 0,1 \cdot 150 \times 200 \cdot 10^{-3} = 3$	2,14	6,42	0,035	1	0,035	0,8	22,86	12,94
Точіння $\varnothing 150s7$ остаточне	$T_{осн2} = 0,17 \cdot d \cdot l = 0,17 \cdot 150 \times 200 \cdot 10^{-3} = 5,1$	2,14	10,91	0,059	1	0,059	0,8	13,56	12,94
Шліфування $\varnothing 150s7$ попереднє і остаточне	$T_{осн3} = (0,1 + 0,15) \cdot dl \cdot 10 = (0,1 + 0,15) \cdot 150 \cdot 35 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 0,525$	2,1	27,56	0,151	1	0,151	0,8	5,29	12,94
Розточування отвору $\varnothing 110$	$T_{осн4} = 0,18 \cdot d \cdot l = 0,18 \cdot (60 + 90 + 110) \cdot 160 \cdot 10^{-3} = 7,488$	3,25	24,34	0,133	1	0,133	0,8	6	12,94
Свердління отвору $\varnothing 28$	$T_{осн5} = 0,52 \cdot d \cdot l = 0,52 \cdot 28 \cdot (511 - 160) \cdot 10^{-3} = 5,11$	1,72	8,79	0,048	1	0,048	0,8	17	12,94

Визначення норми часу $T_{осн}$ необхідного для обробки вказаних поверхонь [3, 4]

$$T_{осн} = 0,17dl \cdot 10^{-3} \text{ [хв.]}, \quad (2.7)$$

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

Точіння $\varnothing 150s7$ попереднє:

$$T_{осн1} = 0,1 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 150 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 3 \text{ (хв.)}$$

Точіння $\varnothing 150s7$ остаточне:

$$T_{осн2} = 0,17 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 150 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 5,1 \text{ (хв.)}$$

Шліфування $\varnothing 150s7$ попереднє і остаточне:

$$T_{осн3} = (0,1 + 0,15) \cdot d \cdot l \cdot 10 \cdot 10^{-3} = (0,1 + 0,15) \cdot 150 \cdot 35 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 13,125 \text{ (хв.)}$$

Розточування отвору $\varnothing 110$:

$$T_{осн4} = 0,18 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot (60 + 90 + 110) \cdot 160 \cdot 10^{-3} = 7,488 \text{ (хв.)}$$

Свердління отвору $\varnothing 28$:

$$T_{осн5} = 0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 28 \cdot (511 - 160) \cdot 10^{-3} = 5,11 \text{ (хв.)}$$

Визначення штучно-калькуляційного часу $T_{шт-к}$

$$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k, \text{ [хв.]} \quad (2.8)$$

де φ_k – коефіцієнт пропорційності [3, 4].

При програмі випуску $N = 1000$ шт. і масі деталі – 23,5 кг згідно виробництво середньосерійне. Для серійного виробництва вибрано φ_k .

Точіння $\varnothing 150s7$ попереднє:

$$T_{шт-к1} = T_{осн1} \cdot \varphi_k = 3 \cdot 2,14 = 6,42 \text{ (хв.)}$$

Точіння $\varnothing 150s7$ остаточне:

$$T_{шт-к2} = T_{осн2} \cdot \varphi_k = 5,1 \cdot 2,14 = 10,91 \text{ (хв.)}$$

Шліфування $\varnothing 150s7$ попереднє і остаточне:

$$T_{\text{шт-к3}} = T_{\text{осн3}} \cdot \varphi_{\kappa} = 13,125 \cdot 2,1 = 27,56 \text{ (хв.)}$$

Розточування отвору $\varnothing 110$:

$$T_{\text{шт-к4}} = T_{\text{осн4}} \cdot \varphi_{\kappa} = 7,488 \cdot 3,25 = 24,34 \text{ (хв.)}$$

Свердління отвору $\varnothing 28$:

$$T_{\text{шт-к5}} = T_{\text{осн5}} \cdot \varphi_{\kappa} = 5,11 \cdot 1,72 = 8,79 \text{ (хв.)}$$

Кількість верстатів для виконання переходів

$$C_{p1} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к}}}{60 \cdot F_q \cdot \eta_z}, \quad (2.9)$$

де N – річна програма, шт. ($N = 1000$ шт.);

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

F_{∂} – дійсний річний фонд часу, год. ($F_{\partial} = 3810$ год.);

η_z – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання ($\eta_z = 0,8$ – для середньосерійного типу виробництва).

Точіння $\varnothing 150s7$ попереднє:

$$C_{p1} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к1}}}{60 \cdot F_q \cdot \eta_z} = \frac{1000 \cdot 6,42}{60 \cdot 3810 \cdot 0,8} = 0,035.$$

Точіння $\varnothing 150s7$ остаточне:

$$C_{p2} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к2}}}{60 \cdot F_q \cdot \eta_z} = \frac{1000 \cdot 10,91}{60 \cdot 3810 \cdot 0,8} = 0,059.$$

Шліфування $\varnothing 150s7$ попереднє і остаточне:

$$C_{p3} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к3}}}{60 \cdot F_q \cdot \eta_s} = \frac{1000 \cdot 27,56}{60 \cdot 3810 \cdot 0,8} = 0,151.$$

Розточування отвору $\varnothing 110$:

$$C_{p5} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к5}}}{60 \cdot F_q \cdot \eta_s} = \frac{1000 \cdot 24,34}{60 \cdot 3810 \cdot 0,8} = 0,133.$$

Свердління отвору $\varnothing 28$:

$$C_{p6} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к6}}}{60 \cdot F_q \cdot \eta_s} = \frac{1000 \cdot 8,79}{60 \cdot 3810 \cdot 0,8} = 0,048.$$

Для виконання кожного з механічних переходів достатньо одного верстата:

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = 1.$$

Коефіцієнт завантаження фактичний визначається за формулою:

$$\eta_{зф} = \frac{C_p}{P}, \quad (2.10)$$

де P – прийняте число робочих місць.

$$\text{Точіння } \varnothing 150s7 \text{ попереднє: } \eta_{зф1} = \frac{C_{p1}}{P_1} = \frac{0,035}{1} = 0,035.$$

$$\text{Точіння } \varnothing 150s7 \text{ остаточне: } \eta_{зф2} = \frac{C_{p2}}{P_2} = \frac{0,059}{1} = 0,059.$$

Шліфування $\varnothing 150s7$ попереднє і остаточне: $\eta_{зф3} = \frac{C_{p3}}{P_3} = \frac{0,151}{1} = 0,151$.

Розточування отвору $\varnothing 110$: $\eta_{зф4} = \frac{C_{p4}}{P_4} = \frac{0,133}{1} = 0,133$.

Свердління отвору $\varnothing 28$: $\eta_{зф5} = \frac{C_{p5}}{P_5} = \frac{0,048}{1} = 0,048$.

Визначення кількості операцій закріплених за кожним робочим місцем

$$O = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{зф}} \quad (2.11)$$

Точіння $\varnothing 150s7$ попереднє: $O_1 = \frac{\eta_z}{\eta_{зф1}} = \frac{0,8}{0,035} = 22,86$.

Точіння $\varnothing 150s7$ остаточне: $O_2 = \frac{\eta_z}{\eta_{зф2}} = \frac{0,8}{0,059} = 13,56$.

Шліфування $\varnothing 150s7$ попереднє і остаточне: $O_3 = \frac{\eta_z}{\eta_{зф3}} = \frac{0,8}{0,151} = 5,29$.

Розточування отвору $\varnothing 110$: $O_4 = \frac{\eta_z}{\eta_{зф4}} = \frac{0,8}{0,133} = 6$.

Свердління отвору $\varnothing 28$: $O_5 = \frac{\eta_z}{\eta_{зф5}} = \frac{0,8}{0,048} = 17$.

Визначення коефіцієнту закріплення операцій:

$$K_{з.м.} = \frac{\sum O_o}{P_я} = \frac{22,86 + 13,56 + 5,29 + 6 + 17}{1+1+1+1+1} = 12,94;$$

$10 < K_{з.о.} < 20$ – виробництво серійне.

2.2.2 Визначення форми організації роботи

Добовий випуск виробів

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

де 254 – кількість робочих днів в році.

Добова продуктивність лінії

$$Q_{\partial} = \frac{F_{\partial}}{T_{шт-ксер} \cdot \eta_3} \text{ [шт.]}, \quad (2.13)$$

де $T_{шт-ксер}$ – середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів,

хв.;

η_3 – добовий коефіцієнт завантаження потокової лінії.

$$T_{шт-ксер} = \frac{\sum T_{шт-к_i}}{\sum n_{пер}} \text{ [хв.]}, \quad (2.14)$$

де $T_{шт-к_i}$ – штучно-калькуляційний час виконання i -го переходу, хв.;

$\sum n_{пер}$ – сумарна кількість виконуваних переходів.

Кількість деталей в партії при груповій формі організації:

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

де a – періодичність запуску деталей на обробку, в днях.

При потоковій формі організації визначається такт випуску, хв.:

$$t_6 = \frac{60 \cdot F_{\partial}}{N} \text{ [хв.]}, \quad (2.16)$$

Визначення заданого добового випуску виробів:

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

Визначення добової продуктивності потокової лінії:

$$Q_o = \frac{952}{15,6} \cdot 0,8 = 48,8 \text{ (шт.)},$$

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

$$T_{шт-к.ср} = \frac{\sum_i^n T_{шт-к.i}}{n} = \frac{6,42 + 10,91 + 27,56 + 24,34 + 8,79}{5} = 15,6 \text{ (хв.)}$$

де $T_{шти}$ – штучний час i -ої основної операції;

n – кількість основних операцій.

Так як $N_o \leq Q_o$, то організація потової лінії недоцільна.

Визначення кількості деталей в партії для одночасного запуску

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

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

Визначення розрахункового числа змін на обробку всієї партії деталей на основних робочих місцях

$$c = \frac{T_{шт-к.ср} \cdot n}{476 \cdot 0,8} = \frac{15,6 \cdot 24}{476 \cdot 0,8} = 0,98.$$

Кількість деталей у партії для завантаження обладнання протягом цілого числа змін

$$n_{np} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot c_{np}}{T_{шт-к.ср}} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot 0,98}{15,6} = 14,9 \text{ (шт.)}$$

Приймаємо кількість деталей у партії 15 шт.

Висновок: тип виробництва – серійний, форма організації роботи – групова.

2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

2.3.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки

На основі проведеного аналізу обрано два способи отримання заготовки [5-8]: штампуванні на кривошипних гарячештампвальних пресах; прокат.

2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки для двох способів її виготовлення

Згідно ГОСТ 7505-89 на кривошипних гарячештампвальних пресах при штампуванні у відкритих штампах можна виготовити заготовки четвертого, п'ятого класу точності (Т4-Т5). Так як виробництво серійне, то приймаємо клас точності заготовки Т4.

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 вилівка, що є одною із конструктивних характеристик форми поковок, необхідно попередньо обчислити масу штамповки. Скористаємося формулою для орієнтовного розрахунку [5, 6]:

$$Q_{п} = Q_{дет} \cdot K_p \text{ [кг]}, \quad (2.17)$$

де $Q_{\text{п}}$ – розрахункова маса поковки; $Q_{\text{дет}}$ – маса деталі; K_p – розрахунковий коефіцієнт для визначення орієнтованої маси штампованої заготовки дорівнює 1,45.

Відповідно отримаємо:

$$Q_{\text{п}} = 23,5 \cdot 1,45 = 34,075 \text{ (кг)}.$$

Опора вписується у циліндр, маса якого складатиме:

$$Q_{\phi} = V_{\phi} \cdot \rho = \pi \cdot R^2 \cdot H \cdot \rho = 3,14 \cdot 7,875^2 \cdot 53,66 \cdot 7,8 = 81,5 \text{ (кг)}.$$

Відношення маси поковки до маси фігури:

$$Q_{\text{п}}/Q_{\phi} = 34,075/81,5 = 0,418.$$

Отже, згідно із ГОСТ 7505-89 поковка матиме 2 ступінь складності (С2).

Вихідний індекс з врахуванням отриманих вище даних складатиме – 16.

Припуск на механічну обробку включає основний, а також додаткові припуски, що враховують відхилення форми поверхні. Основний припуск на механічну обробку поковок визначається в залежності від вихідного індексу, лінійних розмірів та шорсткості поверхні деталі для кожного розрахункового розміру. Наприклад для $\varnothing 150_{s7}$ він складає 2,7 мм. Аналогічно визначається припуск на інші поверхні, результати занесено до таблиці 2.5. Додатковий припуск на зміщення по поверхні роз'єму штампа складають 0,3 мм, причому внаслідок наявності двох площин роз'єму їх зміщення впливатиме на всі поверхні які охоплені розрахунковими розмірами (крім канавок). Додатковий припуск для врахування вигнутості і відхилення від площинності, прямолінійності визначається в залежності від класу точності (Т4) та найбільшого розміру заготовки (511 мм) в даному випадкові складає 0,8 мм.

Таблиця 2.5 – Розрахунок розмірів штампованої заготовки

Вихідні дані (норми точності)	Обробка на кривошипних гаряче штампувальних пресах					
	Згідно з ГОСТ 7505-89			Прийнято		
Клас точності	Т4 – Т5			Т4		
Марка матеріалу	М2			М2		
Ступінь складності	С2			С2		
Індекс	16			16		
Конфігурація поверхні роз'єднання штампа	П			П		
Припуски:	Розрахункові розміри, мм					
	Ø150s7	278	Ø100h11	Ø80,8	200	511
Основні	2,7	2,6	2,5	2,0	2,4	2,8
Додаткові на зміщення по поверхні роз'єднання штампа	0,3		0,3		0,3	
Для врахування вигнутості і відхилення від площинності, прямолінійності	0,8		0,8		0,8	
Радіуси заокруглень	5	-	4	4	-	-
Загальний припуск	3,8	3,7	3,6	3,1	3,5	3,9
Допуски:	Розміри заготовки, мм					
	Ø157,6	278,4	Ø107,2	Ø87	207,8	518,8
Розмірів	4 ^{+2,7} _{-1,3}	5 ^{+3,3} _{-1,7}	4 ^{+2,7} _{-1,3}	3,6 ^{+2,4} _{-1,2}	4,5 ^{+3,0} _{-1,5}	5,6 ^{+3,7} _{-1,9}
На зміщення по поверхні роз'єднання штампа	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
На вигнутість, відхилення від площинності і прямолінійності, на радіальне биття	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Радіус заокруглень	2,0	-	1,0	1,0	-	-
Величина залишкового облою	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4

З врахуванням прийнятих припусків отримаємо розміри заготовки для розмірів деталі:

$$\text{розмір 511} \quad 511 + (2,8 + 0,8 + 0,3) \cdot 2 = 518,8 \text{ (мм);}$$

$$\text{Ø150} \quad \text{Ø150} + (2,7 + 0,8 + 0,3) \cdot 2 = 157,6 \text{ (мм);}$$

$$\text{Ø80,8} \quad \text{Ø80,8} + (2,0 + 0,8 + 0,3) \cdot 2 = 87 \text{ (мм);}$$

розмір 278	$278 - (2,8 + 0,8 + 0,3) + (2,8 + 0,8 + 0,3) = 278,4$ (мм);
розмір 200	$200 + 2 \cdot (2,8 + 0,8 + 0,3) = 207,8$ (мм);
Ø100h11	$100 + 2 \cdot (2,5 + 0,8 + 0,3) = 107,2$ (мм).

Допустимі відхилення лінійних розмірів поковок призначаються в залежності від вихідного індексу і розмірів поковки. Отримані дані заносимо до таблиці 2.5.

Допустима величина зміщення по поверхні роз'єму штампів визначається в залежності від маси поковки, конфігурації поверхні роз'єму штампів і класу точності і не повинна перевищувати 0,3 мм.

Допустиме відхилення по вигнутості від площинності і прямолінійності для плоских поверхонь складає 0,5 мм [5, 6]. Дана величина не враховує перепади по висоті чи ширині поковки.

Штампувальні нахили приймаємо наступні: $\alpha = 4^\circ$. Розрізняють два види радіусів заокруглень штампів: внутрішні $r_{вн}$, і зовнішні $r_{зв}$. Враховуючи масу поковки 34,075 та глибину порожнини, призначаємо радіуси заокруглень, що становлять $r = 5$ мм, $r = 4$ мм.

Розрахунок розмірів заготовки із прокату.

Таблиця 2.6 – Розрахунок розмірів заготовки із прокату

Вихідні дані	Вид обробки	Припуск (табличний), мм
Ø150	точіння чорнове	2,7
	напівчистове точіння	1,0
	попереднє шліфування	0,85
	попереднє шліфування	0,1
	остаточне шліфування	0,05
511	підрізання торця однократне	6

Розраховуємо граничні розміри заготовки діаметр $\varnothing 150$ буде:

$$150+2\cdot(2,7+1+0,85+0,1+0,05) = 159,4 \text{ (мм).}$$

Найближчий гостований прокат $\varnothing 140$ ГОСТ 2590-88.

Для того, щоб отримати $\varnothing 160$, потрібно поставити на молот і зробити осадку.

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot 160^2}{4} \cdot 523 = 10510208 \text{ (мм}^3\text{)};$$

$$H = \frac{4V}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 10510208}{3,14 \cdot 140^2} = 683,1 \text{ (мм.)}$$

Лінійний розмір 511 буде дорівнювати сумі номінального розміру і подвоєному припуску на підрізання торця.

$$511+2\cdot 6 = 523 \text{ (мм.)}$$

Припуск на розрізку і обробку торця прокату 511, за допомогою дискової пили на відрізному верстаті – 6 мм.

Отже, для того, щоб виготовити таку заготовку $\varnothing 160$ і довжиною 523, необхідно взяти заготовку меншого діаметру, але більшої довжини 683 мм, яку піддати осаджуванню на молотах.

2.3.3 Оформлення ескізів обох варіантів заготовки

З урахуванням отриманих розмірів заготовок та обраних конструктивних параметрів показано ескізи заготовки (рис. 2.2 та 2.3).

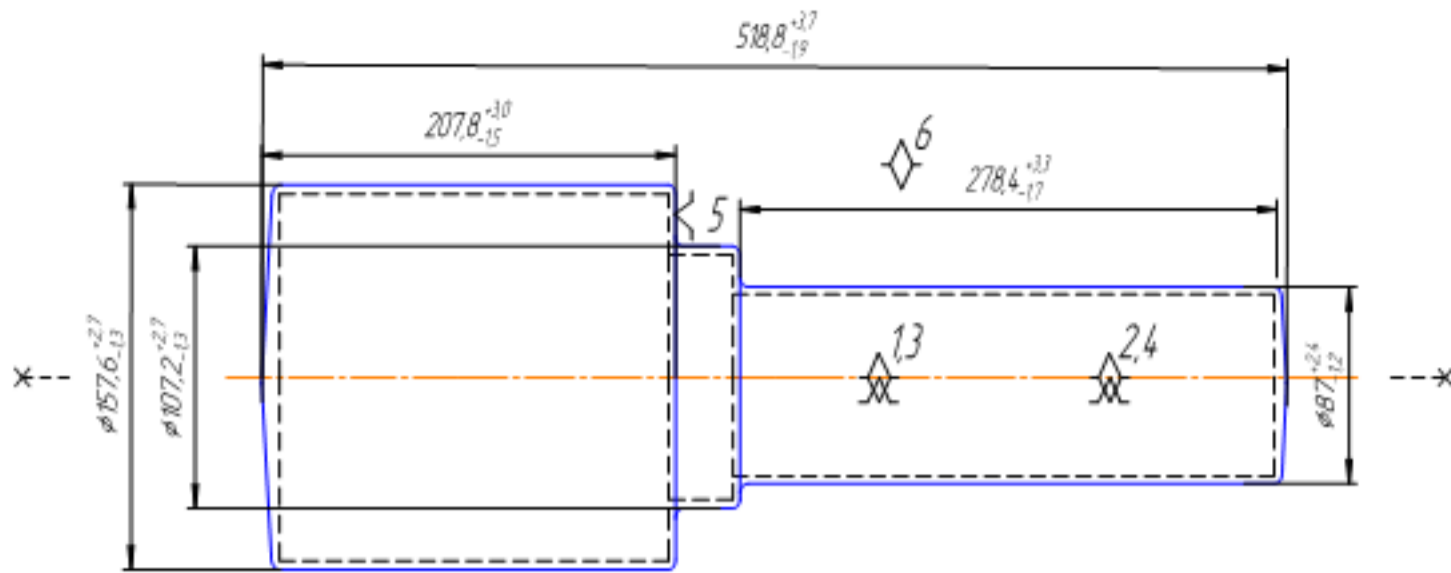


Рисунок 2.2 – Ескіз штапованої заготовки на КГШП

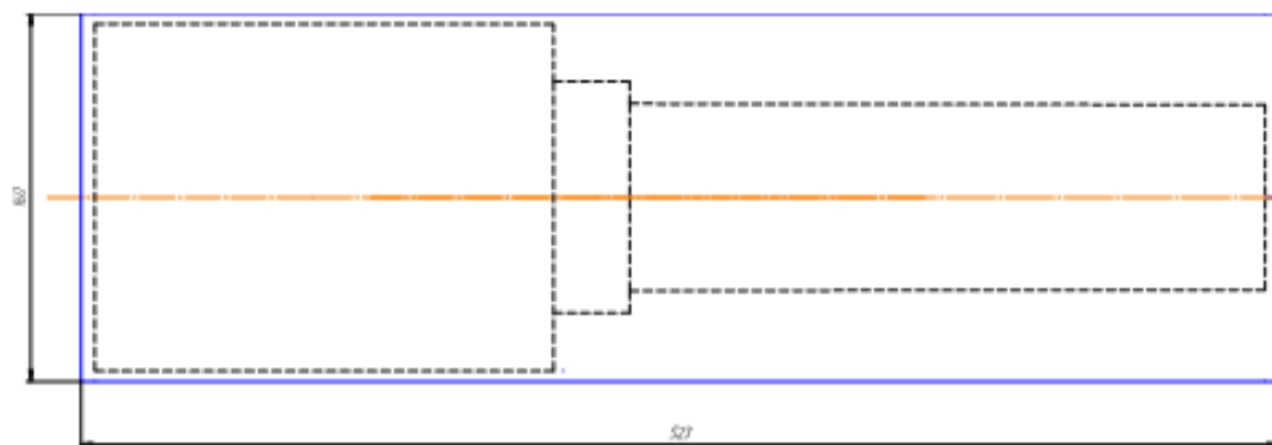


Рисунок 2.3 – Ескіз заготовки з прокату

2.3.4 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси двох варіантів заготовки [5]

Розрахуємо коефіцієнт точності маси заготовки використовуючи дані 3D-моделювання програми «Компас 3D».

Штапування на КГШП:

Деталь	
Площа	$S = 229888.647465 \text{ мм}^2$
Об'єм	$V = 4531197.832255 \text{ мм}^3$
Матеріал	Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Густина	$R_0 = 0.007820 \text{ г/мм}^3$
Маса	$M = 53150.950548 \text{ г}$
Центр мас	$X_c = -9.580555 \text{ мм}$
	$Y_c = -9.580556 \text{ мм}$

$$Z_c = 190.515683 \text{ мм}$$

Розрахунок коефіцієнта точності маси заготовки:

$$\gamma = \frac{Q_{\text{дет}}}{Q_{\text{заг}}}, \quad (2.18)$$

$$\gamma_1 = 23,5/53,15=0,442.$$

Розрахуємо коефіцієнт точності маси заготовки використовуючи дані 3D-моделювання програми «Компас 3D».

Прокат

Деталь

Площа	$S = 301228.339830 \text{ мм}^2$
Об'єм	$V = 10395302.159774 \text{ мм}^3$
Матеріал	Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Густина	$R_0 = 0.007810 \text{ г/мм}^3$
Маса	$M = 81187.309868 \text{ г}$
Центр мас	$X_c = 0.000000 \text{ мм}$
	$Y_c = 0.000000 \text{ мм}$
	$Z_c = 261.771874 \text{ мм}$

Розрахунок коефіцієнта точності маси заготовки:

$$\gamma_2 = 23,5/81,19 = 0,289.$$

Як видно із розрахунків виготовлення заготовок штампуванням дозволяє скоротити механічну обробку та зменшити витрати матеріалу, але саме виготовлення заготовки вимагає витрати додаткових коштів, тому висновок про найбільш доцільний спосіб виготовлення заготовки можна зробити лише за

допомогою подальшого техніко-економічного порівняння способів виготовлення заготовки.

2.3.5 Техніко-економічне порівняння двох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого

Вартість заготовок можна визначити за формулою [5]:

$$C_{заг.шт} = \frac{(Q_{заг} \cdot C_{шт} \cdot K_m \cdot K_M \cdot K_c \cdot K_v \cdot K_n)}{1000} - \frac{(Q_{заг} - Q_{дет}) \cdot C_{відх}}{1000} \quad [\text{грн.}], \quad (2.19)$$

де $C_{відх}$ – заготівельні ціни на стружку чорних і кольорових металів по преїскурантах, грн, при матеріалі сталь ця величина становить 2350 грн./т;

$C_{шт}$ – базова вартість 1 т заготовок, грн., для операції штампування на кривошипно-гарячештампувальному пресі ця величина становить 18730 грн./т;

K_T, K_M, K_c, K_v, K_n – коефіцієнти, що залежать відповідно від класу точності штамповки, марки матеріалу, групи складності, маси і об'єму виробництва заготовок;

K_T, K_M, K_c, K_v, K_n відповідно рівні 1,0 – 1,0 – 0,84 – 0,73 – 1,0.

При штампуванні на КГШП отримаємо:

$$C_{заг.1} = \left(\frac{18730}{1000} \cdot 53,15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 0,73 \cdot 1 \right) - (53,15 - 23,5) \frac{2350}{1000} = 540,76 (\text{грн.})$$

При використанні прокату

$$C_{заг.2} = \left(\frac{81,19}{1000} \cdot 14730 \right) - (81,19 - 23,5) \frac{2350}{1000} = 1060,36 (\text{грн.})$$

Для того щоб визначити загальний економічний ефект, потрібно розрахувати затрати на обробку поверхні довжиною 33 мм і діаметром 100 та

поверхні довжиною 278 та діаметром 80,8, оскільки при виготовленні заготовки із прокату ці поверхні не будуть виготовлені, на відміну від заготовки, яка виготовляється при штампуванні на КГШП. Ця обробка буде здійснюватись чорновим обточуванням за 6 та 8 проходів відповідно, оскільки в першому випадку $(150-100)/2=25$ мм, а за один прохід зняти такий припуск не можливо, а в другому $(150-80,8)/2=34,6$ мм.

Тому необхідно розрахувати вартість виконуваних додатково проходів механічної обробки при використанні заготовки, одержаної із прокату:

$$C_{обр} = \frac{C_{n-з} \cdot T_{шт-к}}{K_e \cdot 60} \text{ [грн.]}, \quad (2.20)$$

де $C_{n-з}$ – приведені витрати, що становлять для верстата 1В340Ф30, і рівні 82,5 грн./год. [9];

K_e – коефіцієнт виконання норм, приблизно рівний 1,3;

$T_{шт-к}$ – штучно-калькуляційний чи штучний час на операцію, хв. Його можна знайти за формулою

$$T_{шт-к} = T_0 \cdot \varphi_k \text{ [хв.]},$$

де T_0 – основний технологічний час при методі обробки – чорнове обточування;

φ_k – значення коефіцієнта, яке рівне 2,14.

Додаткові переходи механічної обробки:

- чорнове обточування за 6 проходів $\text{Ø}100\text{h}11$;

- чорнове обточування за 8 проходів $\text{Ø}80,8$.

Собівартість обробки при чорновому обточуванні за 6 проходів $\text{Ø}100\text{h}11$:

$$C_{n-з1} = 82,5 \text{ грн./год.};$$

$$T_{очн} = 6 \cdot 0,17 \cdot d \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 0,17 \cdot 33 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 3,37 \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{шт-к}} = 3,37 \cdot 1,3 = 4,38 \text{ (хв.)};$$

$$C_{\text{обр1}} = \frac{82,5 \cdot 4,38}{1,3 \cdot 60} = 4,63 \text{ (грн.)}$$

Собівартість обробки при чорновому обточуванні за 8 проходів Ø80,8:

$$C_{\text{п-з2}} = 82,5 \text{ грн./год.};$$

$$T_{\text{осн}} = 8 \cdot 0,17 \cdot d \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 0,17 \cdot 80,8 \cdot 110 \cdot 10^{-3} = 12,09 \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{шт-к}} = 12,09 \cdot 1,3 = 15,72 \text{ (хв.)};$$

$$C_{\text{обр2}} = \frac{82,5 \cdot 12,09}{1,3 \cdot 60} = 12,79 \text{ (грн.)}$$

Отже, сумарна вартість прокату становитиме

$$C_{\text{обр}} = C_{\text{обр1}} + C_{\text{обр2}} = 4,63 + 12,79 = 17,42 \text{ (грн.)};$$

$$C_{\text{заг}} = 1060,36 + 17,42 = 1077,78 \text{ (грн.)}$$

Враховуючи, що програма випуску заготовок становить $N = 1000$ шт., визначаємо економічний ефект:

$$E = (C_{\text{заг1}} - C_{\text{заг2}}) \cdot N = (1077,78 - 540,76) \cdot 1000 = 537020 \text{ (грн.)}$$

Економічний ефект по матеріалу:

$$E_{\text{м}} = (Q_{\text{заг2}} - Q_{\text{заг1}}) \cdot N \cdot C_{\text{відх}} = (81,19 - 53,15) \cdot 1000 \cdot 2350 / 1000 = 65894 \text{ (грн.)}$$

Сумарна економічна ефективність буде рівною

$$E - E_{\text{м}} = 537020 - 65894 = 471126 \text{ (грн.)}$$

Отже, можна зробити висновок: порівнюючи коефіцієнт точності маси заготовки при обох способах виготовлення заготовки, тобто для прокату $\gamma_1 = 0,29$ та для штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах $\gamma_2 = 0,44$ доцільніше було б з економічної точки зору використовувати штампування на КГШП.

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

Найбільш продуктивним способом обробки поверхні $\varnothing 150s7^{(+0,14)}_{(+0,10)}$ (шорсткість $Ra = 1,6$ мкм) є точіння. Заготовка штамповка, допуск $T_{заг} = 4000$ мкм, допуск деталі $T_{дет} = 40$ мкм.

Коефіцієнт уточнення складає [9]:

$$\varepsilon = \frac{T_{заг}}{T_{дет}} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_2}{T_3} \dots = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \dots; \quad (2.21)$$

де ε_i – окремі ступені уточнення. Точність проміжних ступенів $\varepsilon_{попередн.} = 6 \dots 5$; $\varepsilon_{попередн.} = 4 \dots 3$; $\varepsilon_{остаточн.} = 1, 1 \dots 2$.

Таким чином матимемо:

$$\varepsilon = \frac{4,0}{0,040} = 100;$$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 = 5,9 \cdot 3,85 \cdot 2,6 \cdot 1,7 = 100.$$

Приймаємо 4 переходи механічної обробки:

$$T_1 = \frac{4,0}{5,9} = 0,678 \text{ } (\approx \text{IT } 13); \quad T_2 = \frac{0,678}{3,85} = 0,176 \text{ } (\approx \text{IT } 10);$$

$$T_3 = \frac{0,176}{2,6} = 0,068 (\approx IT 8); \quad T_3 = \frac{0,068}{1,7} = 0,04 (IT 7).$$

Остаточно приймаємо 4 переходи: точіння попереднє, точіння попереднє, точіння попереднє, точіння остаточне.

Методи обробки поверхні $\varnothing 150s7^{(+0,14/+0,10)}$ та інших поверхонь приведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Визначення кількості ступенів механічної обробки поверхонь

Розмір	Коефіцієнт уточнення	Розподіл E	Допуски, мм	Квалітет	Метод обробки
1	2	3	4	5	6
$\varnothing 150s7^{(+0,14/+0,10)}$	$\varepsilon=4/0,04=100$	$\varepsilon_1=5,9$ $\varepsilon_2=3,85$ $\varepsilon_3=2,6$ $\varepsilon_4=1,7$	$T_{заг}=4$ $T_1=4/5,9=0,678$ $T_2=0,678/3,85=0,176$ $T_3=0,176/2,6=0,068$ $T_4=0,068/1,7=0,04$	13 10 8 7	Точіння попереднє Точіння остаточне Шліфування попереднє Шліфування остаточне
$33,5H8^{+0,039}$	$\varepsilon=0,23/0,039=5,89$	$\varepsilon_1=4,7$ $\varepsilon_2=1,25$	$T_{заг}=0,23$ $T_1=0,23/4,7=0,049$ $T_2=0,049/1,25=0,039$	12 8	Розточування попереднє Розточування попереднє Розточування остаточне
$100h11_{-0,22}$	$\varepsilon=4/0,22=18,18$	$\varepsilon_1=5,6$ $\varepsilon_2=3,25$	$T_{заг}=4$ $T_1=4/5,6=0,714$ $T_2=0,714/3,25=0,22$	13 11	Точіння попереднє Точіння остаточне
$\varnothing 142h11_{-0,25}$	$\varepsilon=1,6/0,25=6,4$	$\varepsilon_1=4,85$ $\varepsilon_2=1,3$	$T_{заг}=1,6$ $T_1=1,6/4,85=0,33$ $T_2=0,33/1,3=0,25$	12 11	Точіння попереднє Точіння остаточне
$\varnothing 11H12^{+0,18}, 10\pm 1$				12	Розсвердлювання
$\varnothing 142h11_{-0,25} 10\pm 0,29$				11	Точіння однократне

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4	5	6
$\text{Ø}150^{+0,17}_{+0,14}$, 200. 1,15				12	Точіння попереднє Точіння остаточнє
$\text{Ø}28^{+0,5}$				12	Свердління
$\text{Ø}35^{+0,6}$					Розточування однократнє
$\text{Ø}110^{+3,0}_{-1,5}$, 160. ₋₁					Розточування попереднє Розточування попереднє Розточування остаточнє
R10, 160. ₋₁					Розточування
$120^{\circ\pm 2^{\circ}}$, $\text{Ø}55$					Розточування
2, 30°					Розточування однократнє
$\text{Ø}28,5^{+0,5}$, 80 ± 6					Розточування однократнє
$\text{Ø}65,8_{-0,2}$, $168\pm 0,5$					Точіння однократнє
$\text{Ø}80,8_{-0,2}$, 110					Точіння попереднє Точіння попереднє Точіння остаточнє
$\text{Ø}6,7^{+0,36}$, 220 ± 2					Свердління
$\text{Ø}8,5^{+0,15}$, 135 ± 2					Розсвердлюва ння
$105\pm 0,7$, $59,4\pm 0,1$					Фрезерування
$24\pm 1,5$					Фрезерування
$\text{Ø}18^{+0,43}$, $48\pm 0,5$					Фрезерування

2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз

Вибираємо спочатку 1-ий комплект чистових технологічних баз, які мають такий вигляд – рисунок 2.4.

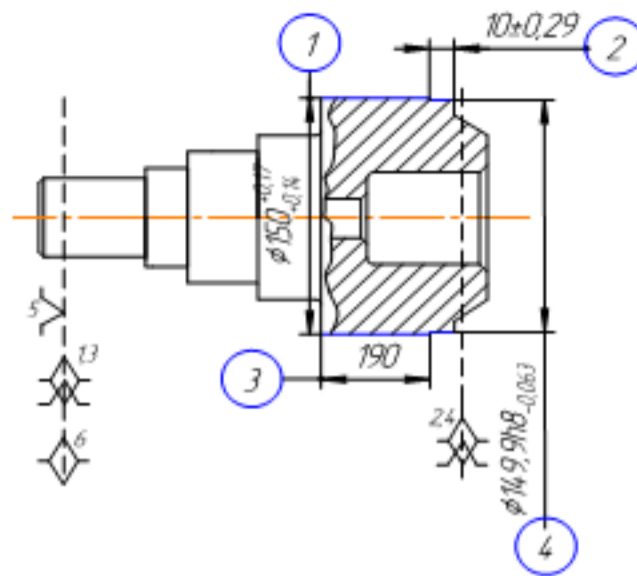


Рисунок 2.4 – Чистові технологічні бази

В даному випадку ми збазували деталь в центрах. Обробку проводимо на верстаті з ЧПК, тому обробку майже всіх поверхонь зробимо за один прохід.

Визначаємо похибки базування на розміри, які утворюються в ході операцій.

На розміри 150, 149,9 дорівнює 0 – діаметральні розміри.

На розміри 10, 190 = 0 – обробка з одного установа.

2-ий комплект чистових технологічних баз має вигляд – рисунок 2.5.

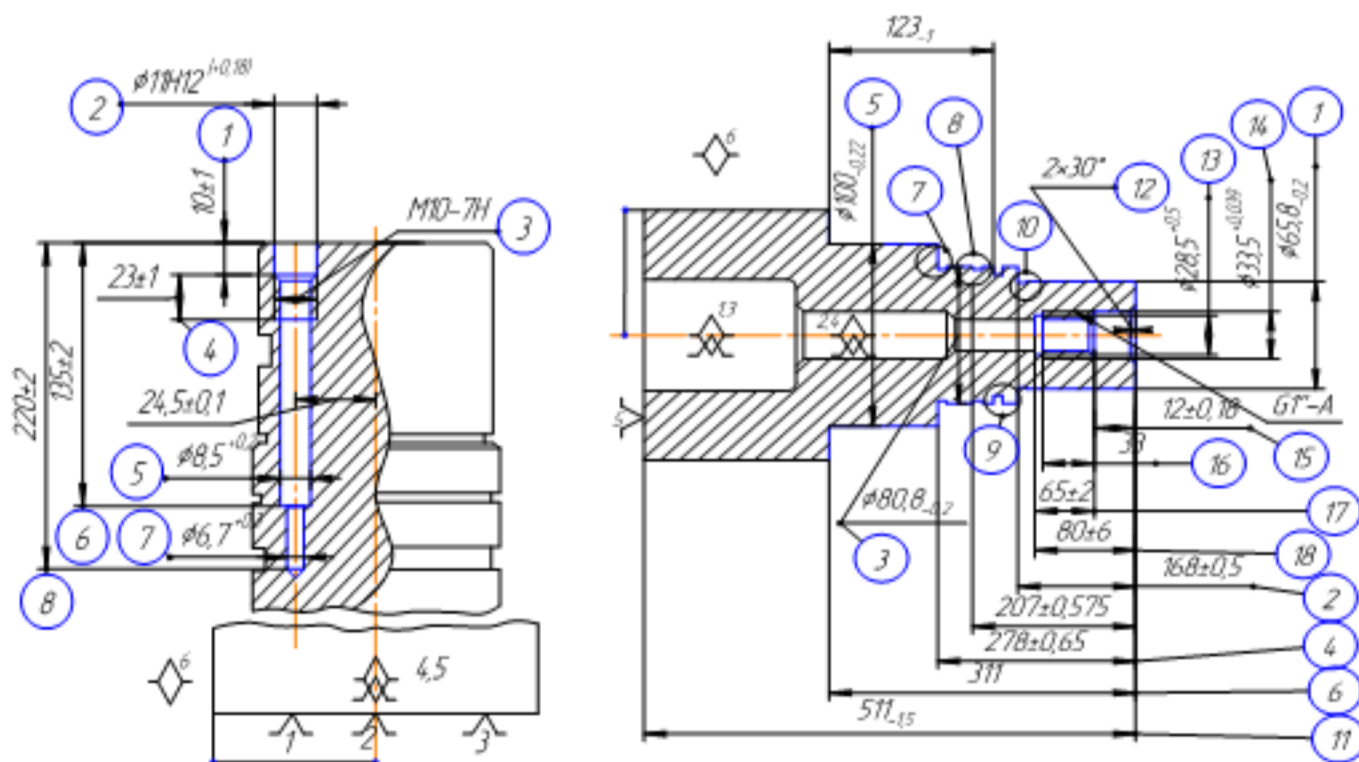


Рисунок 2.5 – Чистові технологічні бази

В даному випадку ми збазували деталь в самоцентруючому патроні. Обробку проводимо на верстаті з ЧПК, тому обробку майже всіх поверхонь зробимо за один прохід.

Визначаємо похибки базування на розміри, які утворюються в ході операцій.

На розміри 6,7, 8,5, 11, 28,5, 100, 65,8, 80,8, 33,5 дорівнює 0 – діаметральні розміри.

На розміри 10, 23, 135, 220, 24,5, 80, 65, 12, 33, 123, 207, 278, 311 = 0 – обробка з одного установа.

На розмір 511 дорівнює 0 – співпадання вимірювальної і технологічної баз.

3-ий комплект чистових технологічних баз має вигляд – рисунок 2.6.

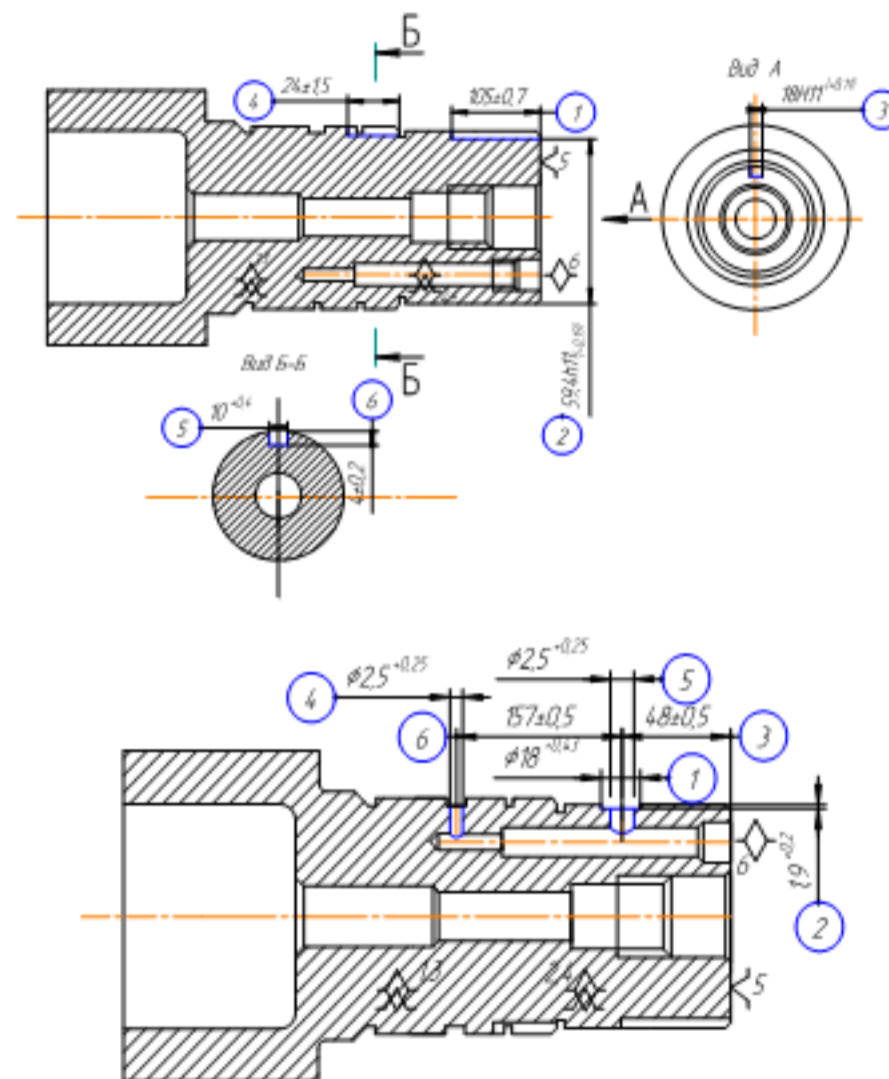


Рисунок 2.6 – Чистові технологічні бази

В даному випадку ми збазували деталь в призму. Обробку проводимо на верстаті з ЧПК, тому обробку майже всіх поверхонь зробимо за один прохід.

Визначаємо похибки базування на розміри, які утворюються в ході операцій.

На розміри 2,5, 2,5, 18 дорівнює 0 – діаметральні розміри.

На розміри 18, 24, 4, 59,4, 157, 1,9, 10 = 0 – обробка з одного установа.

На розмір 48, 105 дорівнює 0 – співпадання вимірювальної і технологічної баз.

Для даної деталі необхідно передбачити більш точну обробку зовнішніх циліндричних поверхонь, внутрішніх отворів, оскільки вони в подальшому будуть використовуватися як чистові бази, та торців деталі. В даному випадку, буде вирішуватись задача зв'язку оброблених і необроблених поверхонь.

Чорнові технологічні бази, які показані на рисунку 2.7.

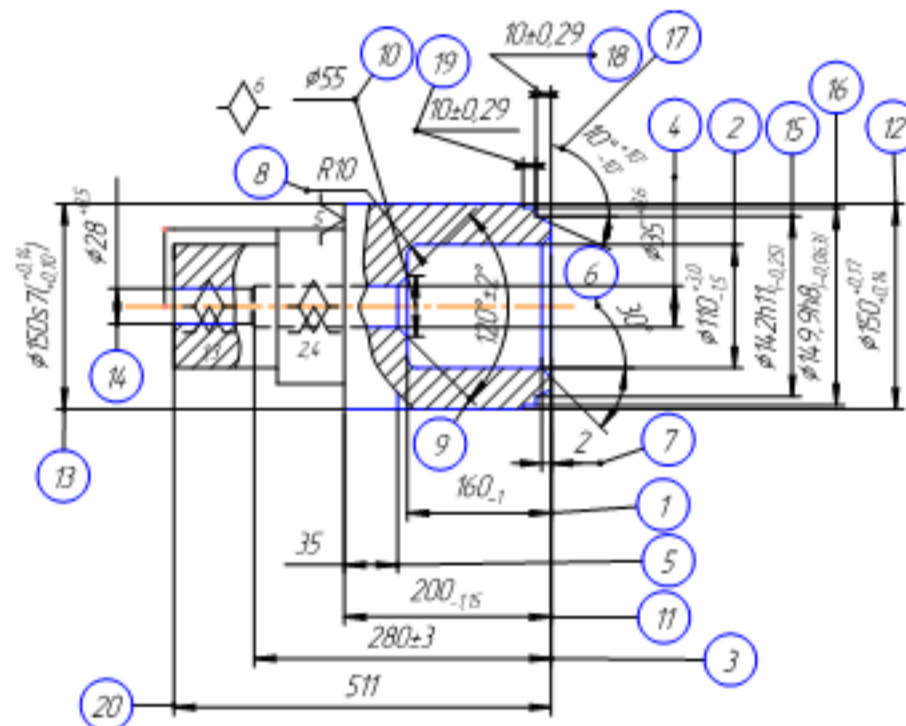


Рисунок 2.7 – Чорнові технологічні бази

Для виконання наступних операцій базуємо заготовку в самоцентруючий патрон. В даному випадку, буде вирішуватись задача зняття рівномірного припуску з більш відповідальних поверхонь.

Отже, можна зробити висновок, що схеми базування вибрані вірно, оскільки похибки базування рівні нулю.

2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу

Результат проектування приведений у таблицях 2.8-2.9.

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4
015	<p><u>Вертикально-свердлильна з ЧПК</u></p> <p>1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Свердлити отвір в розміри 7, 8. 3) Розсвердлити отвір в розміри 5, 6. 4) Розсвердлити отвір в розміри 1, 2. 5) Нарізати різьбу в розміри 3, 4. 6) Зняти заготовку.</p>		Вертикально-свердлильний з ЧПК 2P135Ф2
020	<p><u>Вертикально-фрезерна з ЧПК</u></p> <p>Установ 1</p> <p>1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Фрезерувати шпонковий паз в розміри 1, 2, 3. 3) Фрезерувати шпонковий паз в розміри 4, 5, 6. 3) Зняти заготовку.</p> <p>Установ 2</p> <p>1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Фрезерувати отвір в розміри 1, 2, 3. 3) Свердлити отвір в розміри 3, 5 на прохід в отвір $\text{Ø}8,5^{+0,15}$.</p>	<p>Установ 1</p>	Вертикально-фрезерний з ЧПК 6P13PФ3

Таблиця 2.9 – Маршрут механічної обробки (2-й варіант)

№ операції	Назва, зміст операцій та переходів	Ескіз обробки, схема базування	Тип верстату
1	2	3	4
005	<p>Токарна з ЧПК</p> <p>1) Встановити і закріпити заготовку;</p> <p>2) Точити по контуру торець в розмір 1 однократно, конус в розміри 3, 5, 6 однократно, канавку в розміри 4, 7 попередньо, поверхню в розміри 1, 2 попередньо.</p> <p>3) Точити по контуру поверхні в розміри 4, 7 і 1, 2 остаточно.</p> <p>4) Зняти заготовку.</p>		Токарний з ЧПК 16K20Ф3
010	<p>Токарна з ЧПК</p> <p>1) Встановити і закріпити заготовку;</p> <p>2) Свердлити отвір в розміри 11, 12.</p> <p>3) Розточити отвір в розміри 3, 4.</p> <p>4) Розточити отвір витримуючи розмір $\varnothing 60^{+0,7}$.</p> <p>5) Розточити отвір в розмір $\varnothing 90^{+0,9}$.</p> <p>6) Розточити отвір в розміри 1, 2.</p> <p>7) Розточити радіус в розміри 1, 8.</p> <p>8) Розточити фаску в розміри 9, 10.</p> <p>9) Розточити фаску в</p>		Токарний з ЧПК 16K20Ф3

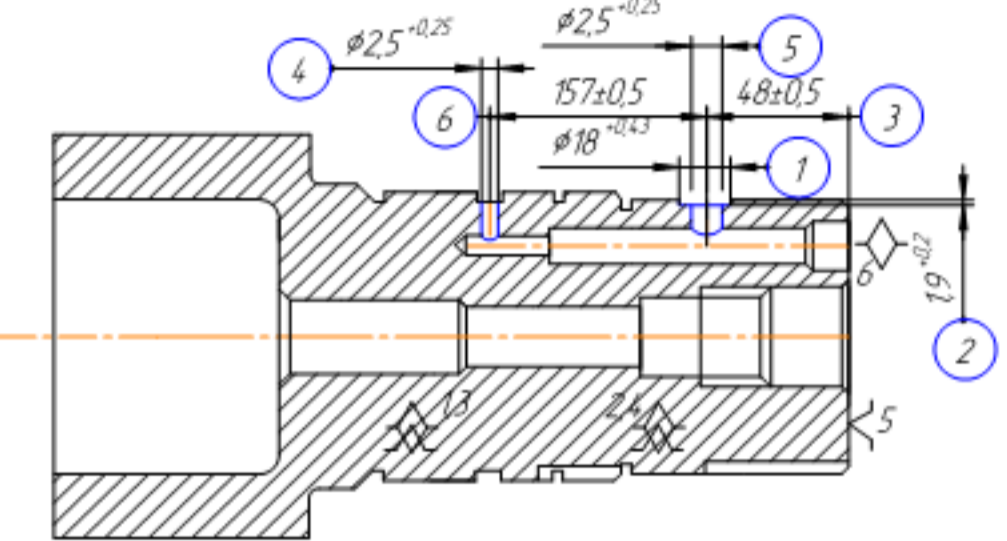
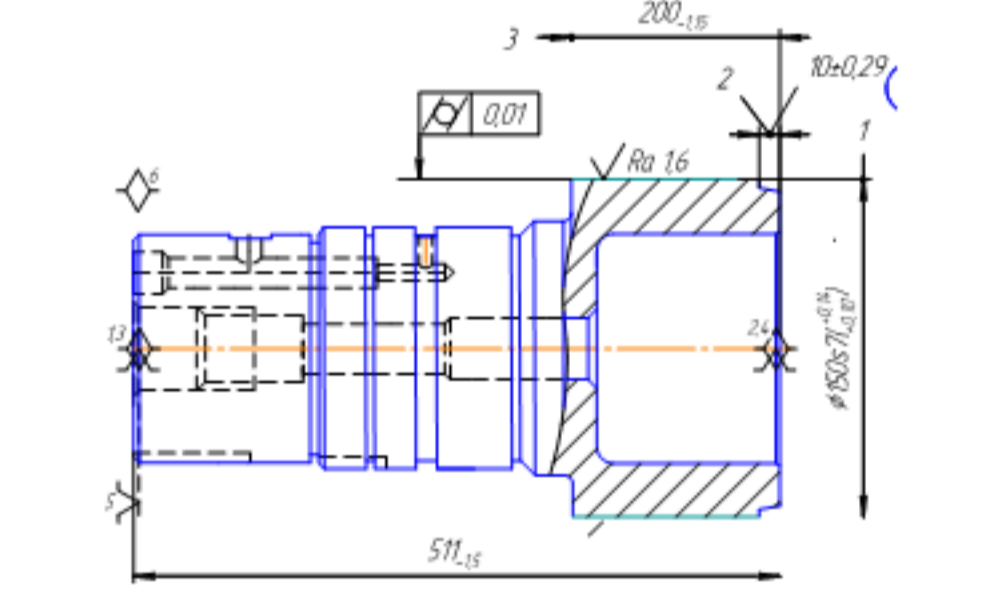
Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4
010	розміри 6, 7 однократно. 10) Зняти заготовку.		
015	<p><u>Токарна з ЧПК</u></p> <p>1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Точити по контуру поверхні в розміри 1, 2 однократно 3, 4 попередньо, 5, 6 однократно. 3) Точити поверхні в розміри 3, 4 попередньо. 4) Точити канавку 7 однократно. 5) Точити канавку 8 однократно. 6) Точити канавки 9, 10 однократно. 7) Точити поверхню в розміри 3, 4 остаточно. 8) Підрізати торець в розмір 11 однократно. 9) Зняти заготовку.</p>		Токарний з ЧПК 16К20Ф3
020	<p><u>Токарна з ЧПК</u></p> <p>1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Розточити по контуру фаску в розмір 1, поверхню в розміри 2, 3 попередньо, фаску і поверхню в розміри 4, 5 однократно. 3) Розточити поверхню в розміри 2, 3 попередньо. 4) Розточити поверхню в розміри 2, 3 остаточно.</p>		Токарний з ЧПК 16К20Ф3

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4
020	5) Нарізати різьбу в розміри 4, 6. 6) Калібрувати різьбу в розміри 4, 6. 7) Зняти заготовку.		
025	<u>Вертикально-свердлильна з ЧПК</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Свердлити отвір в розміри 7, 8. 3) Розсвердлити отвір в розміри 5, 6. 4) Розсвердлити отвір в розміри 1, 2. 5) Нарізати різьбу в розміри 3, 4. 6) Зняти заготовку.		Вертикально-свердлильний з ЧПК 2P135Ф2
030	<u>Вертикально-фрезерна з ЧПК</u> Установ 1 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Фрезерувати шпонковий паз в розміри 1, 2, 3. 3) Фрезерувати шпонковий паз в розміри 4, 5, 6. 3) Зняти заготовку. Установ 2 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Фрезерувати отвір в розміри 1, 2, 3. 3) Свердлити отвір в розміри 3, 5 на прохід в отвір $\varnothing 8,5^{+0,15}$.		Вертикально-фрезерний з ЧПК 6P13PФ3

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4
030	4) Свердлити отвір в розміри 4, 6 на вихід в отвір $\text{Ø}6,7^{+0,36}$. 5) Зняти заготовку.	Установ 2 	
035	Термічна обробка		
040	Токарна з ЧПК 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Точити поверхню 1 попередньо. 3) Точити поверхню 1 остаточно. 4) Зняти деталь.		Токарний з ЧПК МК6801Ф3

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

Для того, щоб визначити який із двох варіантів є кращим необхідно розрахувати технологічну собівартість операцій механічної обробки. Її визначають за формулою:

$$C_0 = \frac{C_{n-3} \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot K_e} \text{ [грн.]}, \quad (2.22)$$

де $C_{п-з}$ – приведені витрати часу [9];

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

K_v – коефіцієнт виконання норм, за звичай приймається 1,3.

Для розрахунку технологічної собівартості штучно-калькуляційний час наближено визначається за формулою:

$$T_{шт-к} = T_0 \cdot \varphi_k \text{ [хв.]}, \quad (2.23)$$

де $T_0 \cdot 10^{-3}$, хв. – основний технологічний час, визначається за формулами:

φ_k – коефіцієнт для визначення штучно-калькуляційного часу.

Всі розрахунки зводимо до таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Розрахунок штучно-калькуляційного часу

№ оп-ї	Назва і зміст операції	$T_0 \cdot 10^{-3}$, хв	φ_k	$T_{шт.к.} \cdot 10^{-3}$, хв
1	2	3	4	5
Перший варіант маршруту механічної обробки				
005	Точити по контуру торець в розмір 11 однократно, конус в розміри 15, 17, 18 однократно, канавку в розміри 16, 19 попередньо, поверхню в розміри 11 12 попередньо.	$0,037(D_1^2 - d_1^2) + 0,1d_2l_2 + 0,1d_3l_3 + 0,1d_4l_4 = 0,037 \times (150^2 - 0^2) \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 142 \times 10 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 149,9 \times 10 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 150 \times 200 \cdot 10^{-3} = 0,8325 + 0,142 + 0,149 + 3 = 4,12$	1,98	8,16
	Точити по контуру поверхні в розміри 16, 19 і 11, 12 остаточно.	$0,17d_1l_1 + 0,17d_2l_2 = (0,17 \cdot 149,9 \times 10 + 0,17 \cdot 150 \times 200) \cdot 10^{-3} = 5,35$	1,98	10,59
	Свердлити отвір в розміри 20, 14.	$0,52dl \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 511 \times 28 \cdot 10^{-3} = 7,44$	1,98	14,73
	Розточити отвір в розміри 3, 4	$0,18dl \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 35 \times 280 \cdot 10^{-3} = 1,76$	1,98	3,48
	Розточити отвір витримуючи розмір $\varnothing 60^{+0,7}$.	$0,18dl \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 60 \times 160 \cdot 10^{-3} = 1,728$	1,98	3,42
	Розточити отвір в розмір $\varnothing 90^{+0,9}$.	$0,18dl \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 90 \times 160 \cdot 10^{-3} = 2,59$	1,98	5,13
	Розточити отвір в розміри 1, 2	$0,18dl \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 110 \times 160 \cdot 10^{-3} = 3,168$	1,98	6,27
	Розточити радіус в розміри 1, 8	$0,18dl \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 10 \times 160 \cdot 10^{-3} = 0,288$	1,98	0,57
	Розточити фаску в розміри 9, 10	$0,037 (D^2 - d^2) \cdot 10^{-3} = 0,037 \cdot (55^2 - 35^2) \cdot 10^{-3} = 0,067$	1,98	0,13
	Розточити фаску в розміри 6, 7 однократно.	$0,037 (D^2 - d^2) \cdot 10^{-3} = 0,037 \cdot (112^2 - 110^2) \cdot 10^{-3} = 0,016$	1,98	0,032

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5
010	Точити по контуру поверхні в розміри 1 , 2 однократно 3, 4 попередньо, 5 , 6 однократно.	$0,17d_1l_1 + 0,17d_2l_2 + 0,1d_3l_3 = (0,17 \cdot 65,8 \times 168 + 0,17 \cdot 80,8 \cdot 110 + 0,1 \times 100 \cdot 311) \times 10^{-3} = 6,5$	1,98	12,87
	Точити поверхню в розміри 3 , 4 попередньо.	$0,1dl \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 80,8 \cdot 110 \times 10^{-3} = 0,89$	1,98	1,76
	Точити поверхню в розміри 3 , 4 остаточно.	$0,17 dl \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 80,8 \times 110 \cdot 10^{-3} = 1,51$	1,98	2,99
	Точити канавку 7 однократно	$0,52 dl \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 79,4 \times 4 \cdot 10^{-3} = 0,17$	1,98	0,34
	Точити канавку 8 однократно.	$0,52dl \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 75,85 \times 6,4 \cdot 10^{-3} = 0,25$	1,98	0,495
	Точити канавки 9, 10 однократно.	$0,52 d_1 l_1 \cdot 10^{-3} + 0,52 d_2 l_2 \cdot 10^{-3} = (0,52 \cdot 72,1 \cdot 5 + 0,52 \times 64,4 \cdot 5) \cdot 10^{-3} = 0,355$	1,98	0,703
	Підрізати торець в розмір 11 однократно.	$0,052 (D^2 - d^2) \cdot 10^{-3} = 0,052 \cdot (65,8^2 - 0^2) \cdot 10^{-3} = 0,225$	1,98	0,446
	Розточити по контуру фаску в розмір 12 , поверхню в розміри 14 15 попередньо, фаску і поверхню в розміри 13 , 18 однократно.	$0,037(D_1^2 - d_1^2) + 0,1d_2l_2 + 0,037(D_3^2 - d_3^2) + 0,18d_4l_4 = 0,037 \times (35,8^2 - 33,5^2) \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 33,5 \times 12 \cdot 10^{-3} + 0,037(33,5^2 - 30^2) \cdot 10^{-3} + 0,18 \cdot 28,5 \times 80 \cdot 10^{-3} = 0,465$	1,98	0,921
	Розточити поверхню в розміри 14, 15 попередньо.	$0,1dl \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 33,5 \times 12 \cdot 10^{-3} = 0,0402$	1,98	0,079
	Розточити поверхню в розміри 14, 15 остаточно.	$0,18dl \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 33,5 \times 12 \cdot 10^{-3} = 0,072$	1,98	0,143
Нарізати різьбу в розміри 16 , 13.	$0,4dl \cdot 10^{-3} = 0,4 \cdot 28,5 \times (65 - 12) \cdot 10^{-3} = 0,6$	1,98	1,188	
Калібрувати різьбу в розміри 16, 13	$T_{осн6} = 0,5dl \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 28,5 \times (65 - 12) \cdot 10^{-3} = 0,755$	1,98	1,495	
015	Свердлити отвір в розміри 7 , 8	$0,52dl \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 6,7 \times 220 \cdot 10^{-3} = 0,766$	1,72	1,32
	Розсвердлити отвір в розміри 5 , 6	$0,31dl \cdot 10^{-3} = 0,31 \cdot 8,5 \times 135 \cdot 10^{-3} = 0,356$	1,72	0,612
	Розсвердлити отвір в розмір 1, 2	$0,31dl \cdot 10^{-3} = 0,31 \cdot 11 \times 10 \cdot 10^{-3} = 0,0341$	1,72	0,059
	Нарізати різьбу в розміри 3 , 4.	$0,4dl \cdot 10^{-3} = 0,4 \cdot 11 \times (33 - 10) \cdot 10^{-3} = 0,101$	1,72	0,174
020	Установ 1 Фрезерувати шпонковий паз в розміри 1, 2 , 3 .	$6l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 0,144$	1,84	0,265
	Фрезерувати шпонковий паз в розміри 4, 5 , 6 .	$6l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 105 \cdot 10^{-3} = 0,63$	1,84	1,16
	Установ 2 Фрезерувати отвір в розміри 1, 2, 3	$6l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 48 \cdot 10^{-3} = 0,28$	1,84	0,53
	Свердлити отвір в розміри 3 , 5 на прохід в отвір $\varnothing 8,5^{+0,15}$.	$0,52dl \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 2,5 \times 48 \cdot 10^{-3} = 0,0624$	1,84	0,115
	Свердлити отвір в розміри 4 , 6 на вихід в отвір $\varnothing 6,7^{+0,36}$.	$0,52dl \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 2,5 \times 157 \cdot 10^{-3} = 0,204$	1,84	0,375

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5
025	Термічна обробка			
030	Точити поверхню 1 попередньо.	$0,17dl \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 150 \cdot 190 \cdot 10^{-3} = 4,85$	1,3	6,31
	Точити поверхню 1 в розміри 1, 2, 3 остаточно.	$0,1dl \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 150 \cdot 190 \cdot 10^{-3} = 2,85$	1,3	3,71
Другий варіант маршруту механічної обробки (для операцій, що відмінні від першого варіанту)				
005	Точити по контуру торець в розмір 11 однократно, конус в розміри 15, 17, 18 однократно, канавку в розміри 16, 19 попередньо, поверхню в розміри 11, 12 попередньо.	$0,037(D_1^2 - d_1^2) + 0,1d_2l_2 + 0,1d_3l_3 + 0,1d_4l_4 = 0,037 \times (150^2 - 0^2) \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 142 \times 10 \cdot 10^{-3} + 0,1 \times 149,9 \times 10 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 150 \times 200 \cdot 10^{-3} = 0,8325 + 0,142 + 0,149 + 3 = 4,12$	2,14	8,82
	Точити по контуру поверхні в розміри 16, 19 і 11, 12 остаточно.	$0,17d_1l_1 + 0,17d_2l_2 = (0,17 \times 149,9 \times 10 + 0,17 \cdot 150 \times 200) \cdot 10^{-3} = 5,35$	2,14	11,45
010	Свердлити отвір в розміри 20, 14.	$0,52dl \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 511 \times 28 \cdot 10^{-3} = 7,44$	2,14	15,92
	Розточити отвір в розміри 3, 4	$0,18dl \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 35 \times 280 \cdot 10^{-3} = 1,76$	2,14	3,77
	Розточити отвір витримуючи розмір $\varnothing 60^{+0,7}$.	$0,18dl \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 60 \times 160 \cdot 10^{-3} = 1,728$	2,14	3,698
	Розточити отвір в розмір $\varnothing 90^{+0,9}$.	$0,18dl \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 90 \times 160 \cdot 10^{-3} = 2,59$	2,14	5,54
	Розточити отвір в розміри 1, 2	$0,18dl \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 110 \times 160 \cdot 10^{-3} = 3,168$	2,14	6,78
	Розточити радіус в розміри 1, 8	$0,18dl \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 10 \times 160 \cdot 10^{-3} = 0,288$	2,14	0,616
	Розточити фаску в розміри 9, 10	$0,037(D^2 - d^2) \cdot 10^{-3} = 0,037 \cdot (55^2 - 35^2) \cdot 10^{-3} = 0,067$	2,14	0,143
015	Точити по контуру поверхні в розміри 1, 2 однократно 3, 4 попередньо, 5, 6 однократно.	$0,17d_1l_1 + 0,17d_2l_2 + 0,1d_3l_3 = (0,17 \cdot 65,8 \times 168 + 0,17 \cdot 80,8 \cdot 110 + 0,1 \times 100 \cdot 311) \cdot 10^{-3} = 6,5$	2,14	13,91
	Точити поверхню в розміри 3, 4 попередньо.	$0,1dl \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 80,8 \cdot 110 \times 10^{-3} = 0,89$	2,14	1,905
	Точити поверхню в розміри 3, 4 остаточно.	$0,17dl \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 80,8 \times 110 \cdot 10^{-3} = 1,51$	2,14	3,23
	Точити канавку 7 однократно	$0,52dl \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 79,4 \times 4 \cdot 10^{-3} = 0,17$	2,14	0,36
	Точити канавку 8 однократно.	$0,52dl \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 75,85 \times 6,4 \cdot 10^{-3} = 0,25$	2,14	0,54
	Точити канавки 9, 10 однократно.	$0,52d_1l_1 \cdot 10^{-3} + 0,52d_2l_2 \cdot 10^{-3} = (0,52 \cdot 72,1 \cdot 5 + 0,52 \times 64,4 \cdot 5) \cdot 10^{-3} = 0,355$	2,14	0,76
	Підрізати торець в розмір 11 однократно.	$0,052(D^2 - d^2) \cdot 10^{-3} = 0,052 \cdot (65,8^2 - 0^2) \cdot 10^{-3} = 0,225$	2,14	0,4815

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5
020	Розточити по контуру фаску в розмір 1, поверхню в розміри 2, 3 попередньо, фаску і поверхню в розміри 4, 5 однократно.	$0,037(D_1^2 - d_1^2) + 0,1d_2l_2 + 0,037(D_3^2 - d_3^2) + 0,18d_4l_4 = 0,037 \times (35,8^2 - 33,5^2) \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 33,5 \times 12 \cdot 10^{-3} + 0,037(33,5^2 - 30^2) \cdot 10^{-3} + 0,18 \cdot 28,5 \times 80 \cdot 10^{-3} = 0,465$	2,14	0,995
	Розточити поверхню в розміри 2, 3 попередньо.	$0,1dl \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 33,5 \times 12 \cdot 10^{-3} = 0,0402$	2,14	0,086
	Розточити поверхню в розміри 2, 3 остаточно.	$0,18dl \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 33,5 \times 12 \cdot 10^{-3} = 0,072$	2,14	0,154
	Нарізати різьбу в розміри 4, 6.	$0,4dl \cdot 10^{-3} = 0,4 \cdot 28,5 \times (65-12) \cdot 10^{-3} = 0,6$	2,14	1,284
	Калібрувати різьбу в розміри 4, 6	$T_{осн6} = 0,5dl \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 28,5 \times (65-12) \cdot 10^{-3} = 0,755$	2,14	1,62

Тоді технологічна собівартість для першого маршруту (для операцій, що відрізняються):

$$\text{операція 005} \quad C_0 = \frac{61,2 \cdot 52,51}{60 \cdot 1,3} = 41,2 \text{ (грн.);}$$

$$\text{операція 010} \quad C_0 = \frac{61,2 \cdot 23,43}{60 \cdot 1,3} = 18,38 \text{ (грн.)}$$

Загальна собівартість даних операцій маршруту механічної обробки становить:

$$C = 41,2 + 18,38 = 59,58 \text{ (грн.)}$$

Технологічна собівартість операцій другого маршруту (для операцій, що відрізняються):

$$\text{операція 005} \quad C_0 = \frac{63,6 \cdot 20,27}{60 \cdot 1,3} = 16,53 \text{ (грн.);}$$

$$\text{операція 010} \quad C_0 = \frac{63,6 \cdot 36,501}{60 \cdot 1,3} = 29,76 \text{ (грн.);}$$

$$\text{операція 015} \quad C_0 = \frac{63,6 \cdot 21,19}{60 \cdot 1,3} = 17,278 \text{ (грн.);}$$

$$\text{операція 020} \quad C_0 = \frac{63,6 \cdot 4,139}{60 \cdot 1,3} = 3,37 \text{ (грн.)}$$

Загальна собівартість другого маршруту механічної обробки становить:

$$C = 16,53 + 29,76 + 17,278 + 3,37 = 66,94 \text{ (грн.)}$$

Отже, більш економічно вигідним є перший варіант маршруту механічної обробки 59,58 грн. < 66,94 грн. (для операцій, що відрізняються).

2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу

2.8.1 Вибір розташування технологічних розмірів

Розташування технологічних розмірів зображене на рисунку 2.8 [9].

2.8.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів

Конструкторські розміри [10, 11]

$$K_1 = 10 \pm 0,29 \text{ мм;}$$

$$K_2 = 160_{-1} \text{ мм;}$$

$$K_3 = 200_{-1,15} \text{ мм;}$$

$$K_4 = 280 \pm 0,3 \text{ мм;}$$

$$K_5 = 135 \pm 2 \text{ мм;}$$

$$K_6 = 10 \pm 1 \text{ мм;}$$

$$K_7 = 12 \pm 0,18 \text{ мм;}$$

$$K_8 = 80 \pm 0,6 \text{ мм;}$$

$$K_9 = 105 \pm 0,7 \text{ мм;}$$

$$K_{10} = 168 \pm 0,5 \text{ мм;}$$

$$K_{11} = 24 \pm 1,5 \text{ мм;}$$

$$K_{12} = 284 \pm 0,65 \text{ мм;}$$

$$K_{13} = 511_{-1,5} \text{ мм;}$$

$$K_{14} = 4 \pm 0,24 \text{ мм.}$$

Допуски заготовки

Допуски технологічних розмірів

$$IT(3_1) = 4,4 \text{ мм};$$

$$IT(B_1) = 1,75 \text{ мм};$$

$$IT(3_2) = 2,9 \text{ мм};$$

$$IT(B_6) = 1 \text{ мм}.$$

$$IT(3_3) = 3,2 \text{ мм};$$

2.8.3 Розмірна схема технологічного процесу

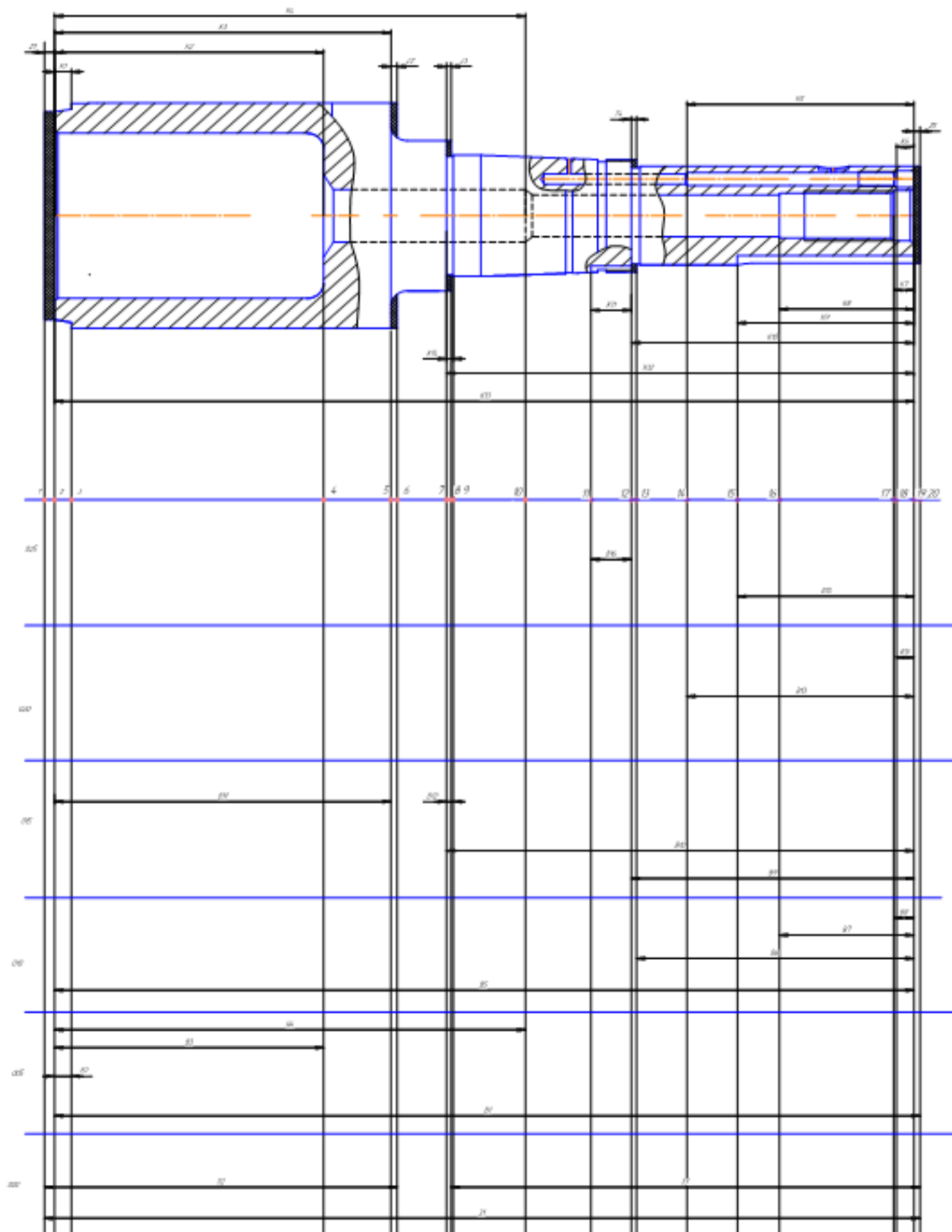


Рисунок 2.8 – Розмірна схема технологічного процесу

2.8.4 Похідний, вихідний граф-дерева, суміщений граф

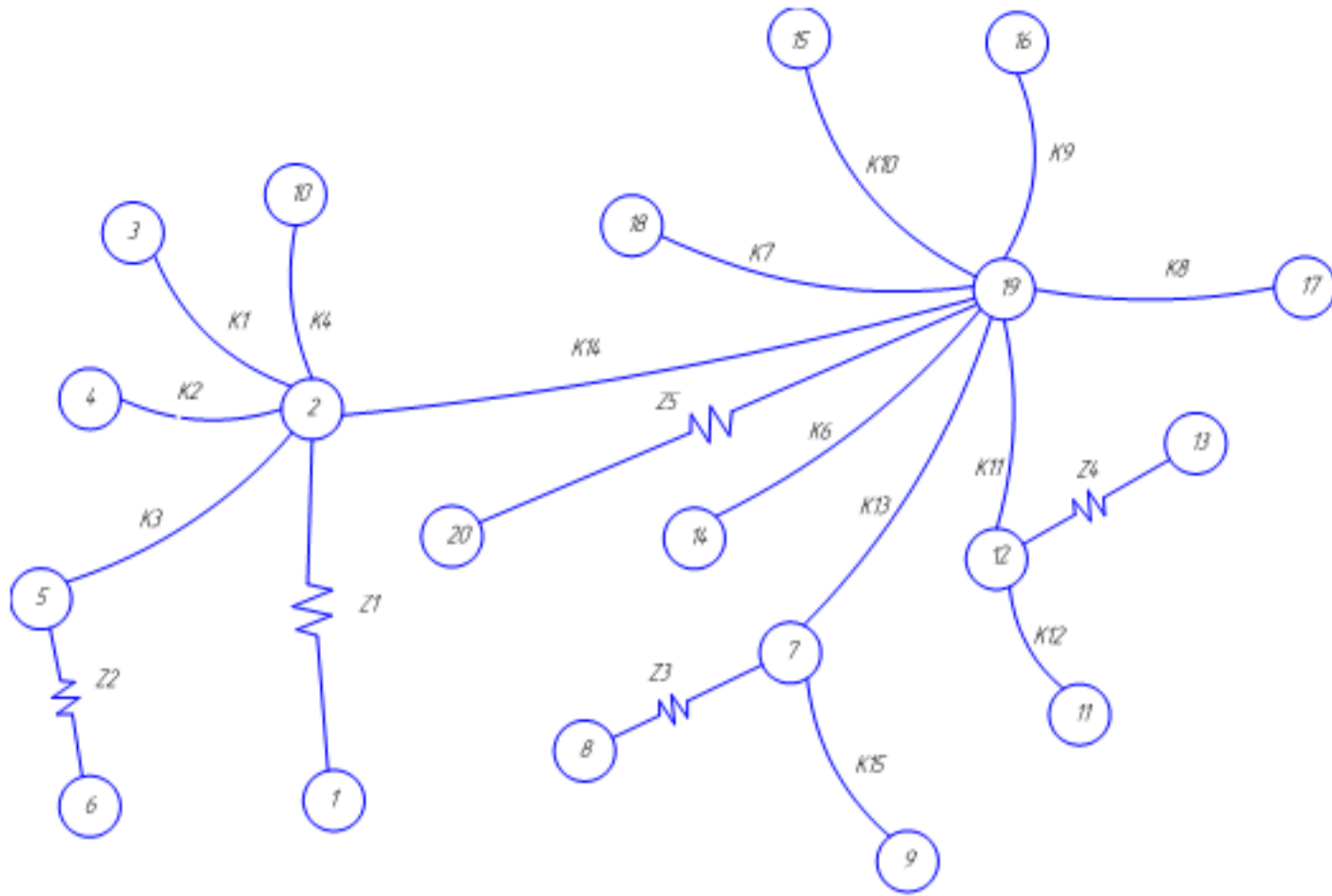


Рисунок 2.9 – Похідний граф-дерево

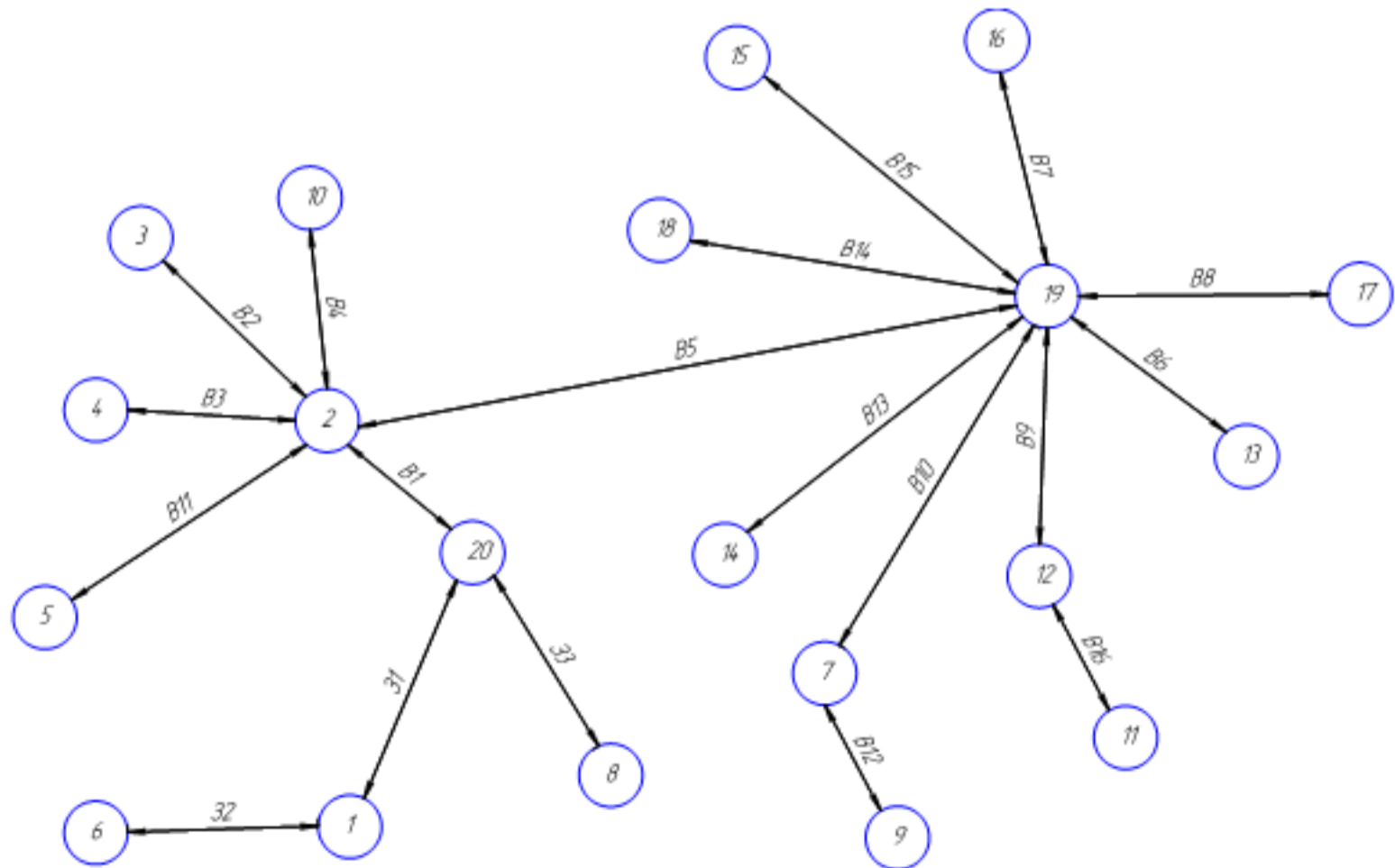


Рисунок 2.10 – Вихідний граф-дерево

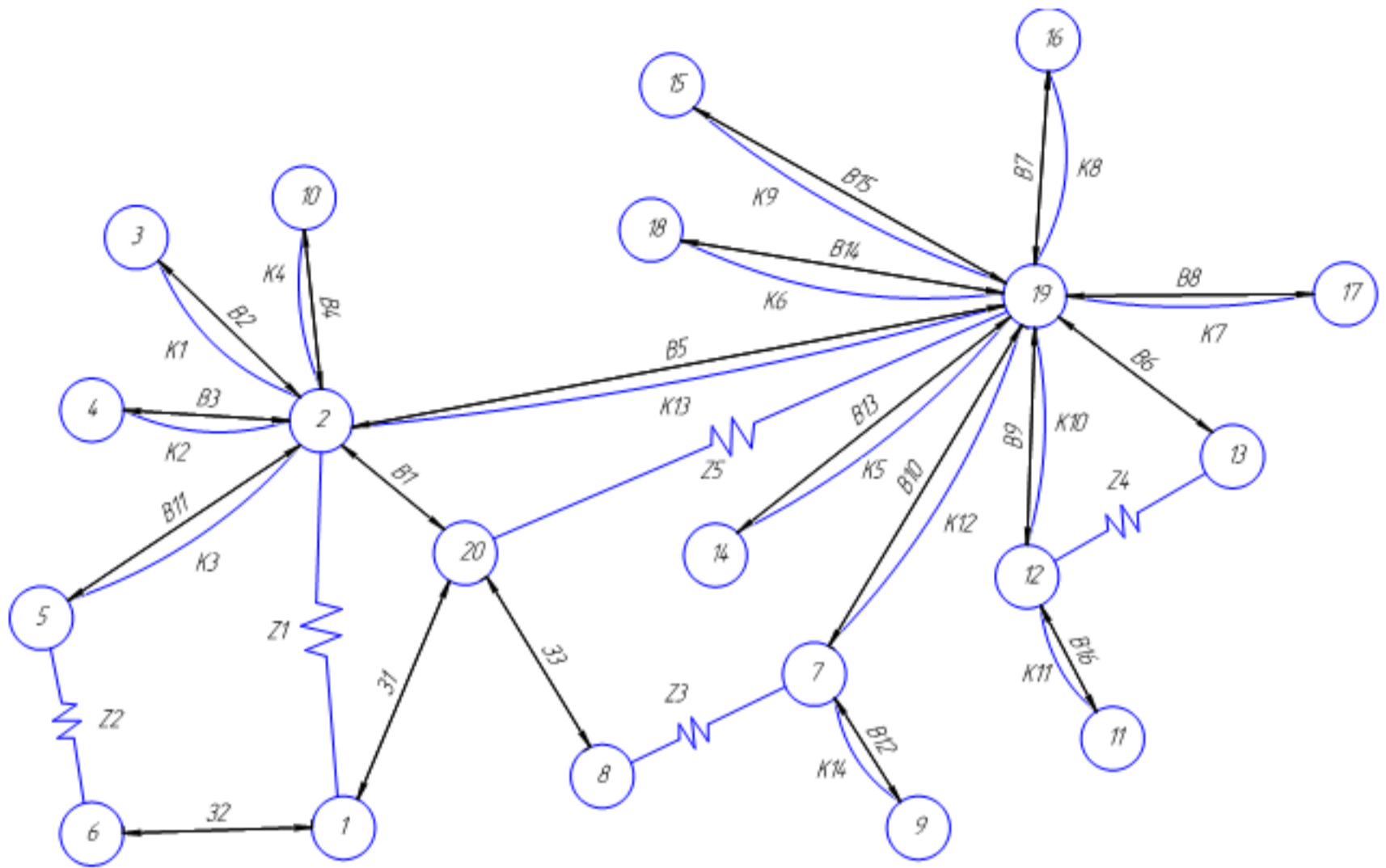


Рисунок 2.11 – Суміщений граф

2.8.5 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

Користуючись довідниковими даними, вибираємо необхідні параметри мінімальних припусків:

$$Z_{1\min} = 1,0 \text{ мм};$$

$$Z_{2\min} = 1,0 \text{ мм};$$

$$Z_{3\min} = 0,8 \text{ мм};$$

$$Z_{4\min} = 0,8 \text{ мм};$$

$$Z_{5\min} = 1,0 \text{ мм}.$$

2.8.6 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Використовуючи граф-дерева, записано розрахункові рівняння для розрахунку значень всіх розмірів, які занесені до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Рівняння технологічних розмірних ланцюгів

№	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що розраховується
1	$B_{11} - K_3 = 0$	$B_{11} = K_3$	B_{11}
2	$B_3 - K_2 = 0$	$B_3 = K_2$	B_3
3	$B_2 - K_1 = 0$	$B_2 = K_1$	B_2
4	$B_4 - K_4 = 0$	$B_4 = K_4$	B_4
5	$B_5 - K_{13} = 0$	$B_5 = K_{13}$	B_5
6	$B_{14} - K_6 = 0$	$B_{14} = K_6$	B_{14}
7	$B_1 + Z_5 - B_5 = 0$	$Z_5 = B_5 - B_1$	B_1
8	$B_6 + Z_4 - B_9 = 0$	$Z_4 = B_9 - B_6$	B_6
9	$B_{15} - K_9 = 0$	$B_{15} = K_9$	B_{15}
10	$B_7 - K_8 = 0$	$B_7 = K_8$	B_7
11	$B_8 - K_7 = 0$	$B_8 = K_7$	B_8
12	$B_9 - K_{10} = 0$	$B_9 = K_{10}$	B_9
13	$B_{16} - K_{11} = 0$	$B_{16} = K_{11}$	B_{16}
14	$B_{10} - K_{12} = 0$	$B_{10} = K_{12}$	B_{10}
15	$B_{13} - K_5 = 0$	$B_{13} = K_5$	B_{13}
16	$B_{12} - K_{14} = 0$	$B_{12} = K_{14}$	B_{12}
17	$3_1 - B_1 - Z_1 = 0$	$Z_1 = 3_1 - B_1$	3_1
18	$3_2 - B_{11} - Z_2 + B_1 - 3_1 = 0$	$Z_2 = 3_2 - B_{11} + B_1 - 3_1$	3_2
19	$3_3 - B_1 + B_5 - B_{10} + Z_3 = 0$	$Z_3 = B_1 - 3_3 - B_5 + B_{10}$	3_3

2.8.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків

$$B_4 = K_4 = 280 \pm 0,3 \text{ (мм);}$$

$$B_2 = K_1 = 10 \pm 0,29 \text{ (мм);}$$

$$B_5 = K_{13} = 511_{-1,5} \text{ (мм);}$$

$$B_{13} = K_5 = 135 \pm 2 \text{ (мм);}$$

$$B_{14} = K_6 = 10 \pm 1 \text{ (мм);}$$

$$B_{15} = K_9 = 105 \pm 0,7 \text{ (мм);}$$

$$B_7 = K_8 = 80 \pm 0,6 \text{ (мм);}$$

$$Z_{5\min} = B_{5\min} - B_{1\max};$$

$$B_{1\max} = B_{5\min} - Z_{5\min} = 509,5 - 1,0 = 508,5 \text{ (мм);}$$

$$B_{1\min} = B_{1\max} - IT(B_1) = 508,5 - 1,75 = 506,75 \text{ (мм);}$$

$$B_1 = 507,625 \pm 0,875 \text{ (мм);}$$

$$B_3 = K_2 = 160_{-1} \text{ (мм);}$$

$$B_{11} = K_3 = 200_{-1,15} \text{ (мм);}$$

$$B_8 = K_7 = 12 \pm 0,18 \text{ (мм);}$$

$$B_9 = K_{10} = 168 \pm 0,5 \text{ (мм);}$$

$$B_{10} = K_{12} = 284 \pm 0,65 \text{ (мм);}$$

$$B_{16} = K_{11} = 24 \pm 1,5 \text{ (мм);}$$

$$B_{12} = K_{14} = 4 \pm 0,24 \text{ (мм);}$$

$$Z_{5\max} = K_{13\max} - B_{1\min} = 511 - 506,75 = 4,25 \text{ (MM)};$$

$$Z_{4\min} = K_{10\min} - B_{6\max};$$

$$B_{6\max} = K_{10\min} - Z_{4\min} = 167,5 - 0,8 = 166,7 \text{ (MM)};$$

$$B_{6\min} = B_{6\max} - IT(B_6) = 166,7 - 1 = 165,7 \text{ (MM)};$$

$$B_8 = 166,2 \pm 0,5 \text{ (MM)};$$

$$Z_{4\max} = K_{10\max} - B_{6\min} = 168,5 - 165,7 = 2,8 \text{ (MM)};$$

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

$$Z_{1\min} = Z_{1\min} + B_{1\max} = 1,0 + 508,5 = 509,5 \text{ (MM)};$$

$$Z_{1\max} = Z_{1\min} + IT(Z_1) = 509,5 + 4,4 = 513,9 \text{ (MM)};$$

$$Z_1 = 511,7 \pm 2,2 \text{ (MM)};$$

$$Z_{1\max} = Z_{1\max} - B_{1\min} = 513,9 - 506,75 = 7,15 \text{ (MM)};$$

$$Z_{2\min} = Z_{2\min} - B_{11\max} + B_{1\min} - Z_{1\max};$$

$$Z_{2\min} = Z_{2\min} + B_{11\max} - B_{1\min} + Z_{1\max} = 1,0 + 200 - 506,75 + 513,9 = 208,15 \text{ (MM)};$$

$$Z_{2\max} = Z_{2\min} + IT(Z_2) = 208,15 + 2,9 = 211,05 \text{ (MM)};$$

$$Z_2 = 209,6 \pm 1,45 \text{ (MM)};$$

$$Z_{2\max} = Z_{2\max} - B_{11\min} + B_{1\max} - Z_{1\min} = 211,05 - 198,85 + 508,5 - 509,5 = 11,2 \text{ (MM)};$$

$$Z_{3\min} = B_{1\min} - Z_{3\max} - K_{13\max} + K_{12\min};$$

$$Z_{3\max} = Z_{3\min} + B_{1\min} - K_{13\max} + K_{12\min} = 0,8 + 506,75 - 511 + 283,35 = 279,9 \text{ (MM)};$$

$$Z_{3\max} = Z_{3\min} + IT(Z_3) = 279,9 + 3,2 = 283,1 \text{ (MM)};$$

$$Z_3 = 281,5 \pm 1,6 \text{ (MM)};$$

$$Z_{3\max} = B_{1\max} - Z_{3\min} - K_{13\min} + K_{12\max} = 508,5 - 279,9 - 509,5 + 284,65 = 3,75 \text{ (MM)}.$$

Величини отриманих технологічних розмірів вказані в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Величини отриманих технологічних розмірів

Технологічний розмір	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
Квалітет точності	14	14	14	14	14
max, мм	376,7	10,29	160	280,3	511
min, мм	375,3	9,71	159	279,7	509,5
Значення	376±0,7	10±0,29	160 ₋₁	280±0,3	511 _{-1,5}

Продовження таблиці 2.12

Технологічний розмір	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀
Квалітет точності	14	14	14	14	14
max, мм	94,435	80,6	12,18	168,5	284,65
min, мм	93,565	79,4	11,82	167,5	283,35
Значення, мм	94±0,435	80±0,6	12±0,18	168±0,5	284±0,65

Продовження таблиці 2.12

Технологічний розмір	B ₁₁	B ₁₂	B ₁₃	B ₁₄	B ₁₅
Квалітет точності	14	14	14	14	14
max, мм	200	4,24	137	11	105,7
min, мм	198,85	3,76	133	9	104,3
Значення	200 _{-1,15}	4±0,24	135±2	10±1	105±0,7

Продовження таблиці 2.12

Технологічний розмір	B ₁₆	З ₁	З ₂	З ₃
Квалітет точності	14	16	16	16
max, мм	25,5	513,9	211,05	283,1
min, мм	23	509,5	208,15	279,9
Значення	24±1,5	511,7±2,2	209,6±1,45	281,5±1,6

2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

2.9.1 Визначення розрахунково-аналітичним методом припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні $\varnothing 150s7^{(+0,14)}_{(+0,10)}$

Технологічний маршрут обробки поверхні $\varnothing 150s7^{(+0,14)}_{(+0,10)}$ складається із точіння попереднього, точіння попереднього, точіння попереднього та точіння остаточного. Точіння здійснюється на двох операціях на верстатах з ЧПК, при остаточному точінні заготовка базується в центрах.

Визначаємо похибку установки за формулою

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_\delta^2 + \varepsilon_z^2} \text{ [мкм]}. \quad (2.24)$$

Оскільки в даному випадку обробка здійснюється на токарному верстаті в центрах, похибка базування буде рівна нулю $\varepsilon_\delta = 0$ (оброблюється діаметральний розмір), що має значення для даного розміру. В такому разі ця величина виключається із основної формули для розрахунку мінімального припуску і відповідну графу можна не враховувати в розрахункову таблицю. Похибка закріплення заготовок при установці в радіальному напрямку для обробки на токарних верстатах приймаємо відповідно до величини, що має значення при закріпленні заготовок в самоцентруючий патрон, а отже величина становитиме $\varepsilon_z = 140$ мкм [3].

Отже,

$$\varepsilon_y = \sqrt{0 + 140^2} = 140 \text{ (мкм)}.$$

Сумарне значення просторових відхилень:

$$\rho = \sqrt{\rho_{zm}^2 + \rho_{жол}^2} \text{ [мм]}, \quad (2.25)$$

де $\rho_{жол}$ – короблення отвору, яке треба враховувати в діаметральному і в осьовому перерізі.

$$\rho_{жол} = \Delta_k \cdot l = 0,5 \cdot 256,5 \approx 0,128 \text{ (мм)},$$

де ρ – просторове відхилення на зовнішній діаметр, Δ_k – часткова кривизна заготовок на один міліметр довжини.

$$\rho_{zm} = 0,3 \text{ мм};$$

$$\rho = \sqrt{0,3^2 + 0,128^2} = 0,326(\text{мм}).$$

Враховуючи значення коефіцієнта уточнення даного виду заготовки і методу обробки, остаточне значення просторового відхилення можна прийняти наступним:

- після попереднього точіння $\rho_1 = 0,06 \cdot 326 = 19,56$ (мкм);
- після попереднього точіння $\rho_2 = 0,04 \cdot 19,56 = 0,78$ (мкм);
- після попереднього точіння $\rho_3 = 0,02 \cdot 0,78 = 0,0156$ (мкм).

Розрахунок мінімальних значень припусків здійснюємо, використовуючи основну формулу:

$$2Z_{\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) [\text{мкм}], \quad (2.26)$$

при обробці зовнішньої поверхні обертання.

Тоді матимемо наступні значення мінімальних припусків:

- під попереднє точіння

$$2Z_{\min 1} = 2(150 + 250 + \sqrt{326^2 + 140^2}) = 2 \cdot 755(\text{мкм});$$

- під попереднє точіння

$$2Z_{\min 1} = 2(100 + 100 + \sqrt{19,56^2 + 140^2}) = 2 \cdot 341(\text{мкм});$$

- під попереднє точіння

$$2Z_{\min 1} = 2(30 + 30 + \sqrt{0,78^2 + 140^2}) = 2 \cdot 200(\text{мкм});$$

- під остаточне точіння

$$2Z_{\min 1} = 2(10 + 20 + \sqrt{0,0156^2 + 140^2}) = 2 \cdot 170 (\text{мкм}).$$

При розв'язанні поставленої задачі отриманий результат та технологічний маршрут обробки заносимо в розрахункову таблицю 2.13 [3, 9].

Таблиця 2.13 – Припуски на механічну обробку циліндричної поверхні

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 150s7^{(+0,14)}_{(+0,10)}$	Елементи припуска, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{\min}$	Розрах розмір мм d_p	Допуск, мм δ	Граничний розмір		Граничні значення	
	Rz	T	ρ	ϵ_y				dmin	dmax	$2Z_{\min}^{np}$	$2Z_{\max}^{np}$
Заготовка	150	250	326			152,89	4	152,89	156,89		
Точіння попереднє	100	100	19,56	140	2·755	151,38	0,63	151,38	152,01	1,51	4,88
Точіння попереднє	50	50	0,78	0	2·341	150,7	0,16	150,7	150,86	0,68	1,15
Точіння попереднє	30	30	0,0156	0	2·200	150,3	0,063	150,3	150,36	0,4	0,5
Точіння остаточне	10	20		0	2·170	149,96	0,04	149,96	150	0,34	0,36
Сума										2,93	6,89

Аналогічно попередньому прикладу здійснюємо розрахунки і всіх інших колонок таблиці.

Знаходимо значення розрахункового діаметра:

$$d_4 = 149,96 \text{ мм};$$

$$d_3 = 149,96 + 0,34 = 150,3 \text{ (мм)};$$

$$d_2 = 150,3 + 0,4 = 150,7 \text{ (мм)};$$

$$d_1 = 150,7 + 0,682 = 151,382 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{заг}} = 151,38 + 1,51 = 152,89 \text{ (мм)}.$$

Найбільші граничні розміри:

$$d_{\max 4} = 149,96 + 0,04 = 150 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 3} = 150,3 + 0,063 = 150,363 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 2} = 150,7 + 0,16 = 150,86 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 1} = 151,38 + 0,63 = 152,01 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max \text{ заз}} = 152,89 + 4,0 = 156,89 \text{ (мм)}.$$

Граничні значення припусків Z_{\max}^{ep} та Z_{\min}^{ep} :

$$2Z_{\max 4}^{ep} = 150,36 - 150 = 0,36 \text{ мм} = 360 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 3}^{ep} = 150,86 - 150,36 = 0,5 \text{ мм} = 500 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 2}^{ep} = 152,01 - 150,86 = 1,15 \text{ мм} = 1150 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 1}^{ep} = 156,89 - 152,01 = 4,88 \text{ мм} = 4880 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\min 4}^{ep} = 150,3 - 149,96 = 0,34 \text{ мм} = 340 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\min 3}^{ep} = 150,7 - 150,3 = 0,4 \text{ мм} = 400 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\min 2}^{ep} = 151,38 - 150,7 = 0,68 \text{ мм} = 680 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\min 1}^{ep} = 152,89 - 151,38 = 1,51 \text{ мм} = 1510 \text{ (мкм)}.$$

Загальні припуски розраховуємо, сумуючи проміжні припуски і записуємо отримані значення у нижній частині таблиці.

Виконуємо перевірку правильності виконуваних розрахунків:

$$Z_{\max 1}^{np} - Z_{\min 1}^{np} = 4,88 - 1,51 = 3,37 \text{ (мм)}; \quad \delta_{\text{заз}} - \delta_1 = 4 - 0,63 = 3,37 \text{ (мм)};$$

$$Z_{\max 2}^{np} - Z_{\min 2}^{np} = 1,15 - 0,68 = 0,47 \text{ (мм)}; \quad \delta_1 - \delta_2 = 0,63 - 0,16 = 0,47 \text{ (мм)};$$

$$Z_{\max 3}^{np} - Z_{\min 3}^{np} = 0,5 - 0,4 = 0,1 \text{ (мм)}; \quad \delta_2 - \delta_3 = 0,16 - 0,063 = 0,01 \text{ (мм)};$$

$$Z_{\max 3}^{np} - Z_{\min 3}^{np} = 0,36 - 0,34 = 0,02 \text{ (мм)}; \quad \delta_3 - \delta_4 = 0,063 - 0,04 = 0,02 \text{ (мм)}.$$

Номінальний припуск в даному випадку знаходимо з урахуванням несиметричного розташування поля допуску заготовки:

$$Z_{\text{ном}} = Z_{\text{min}} - H_3 - H_\phi = 2,93 + 4 - 0,04 = 6,89 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{ном}} = 150 + 6,89 = 156,89 \text{ (мм)}.$$

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

За нормативами [9-12] призначаємо проміжні припуски на обробку всіх циліндричних поверхонь і розраховуємо технологічні розміри і максимальні припуски. Дані заносимо в таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Визначення технологічних розмірів і максимальних припусків

Розмір	Технологічний перехід	Z_{min} , мм	d_p , мм	Δ , мкм	d_{min} , мм	d_{max} , мм	$2Z_{\text{max}}^{\text{пр}}$, мкм
1	2	3	4	5	6	7	8
$\text{Ø}149,9h8_{-0,063}$	Заготовка	-	153,777	2500	153,78	156,28	-
	Точити попередньо	2·0,91	151,957	630	151,96	152,59	3690
	Точити остаточно	2·0,15	149,837	63	149,84	149,9	400
$\text{Ø}150^{+0,17}_{+0,14}$	Заготовка	-	152,09	2500	152,09	154,59	-
	Точити попередньо	2·0,91	150,27	1600	150,27	151,87	2720
	Точити остаточно	2·0,15	149,97	630	149,97	150	1870
	Точити попередньо	2·0,91	82,72	540	82,72	83,26	3480
$\text{Ø}80,8_{-0,2}$	Заготовка	-	84,54	2200	84,54	86,74	-
	Точити попередньо	2·0,91	82,72	540	82,72	83,26	3480
	Точити попередньо	2·0,91	80,9	220	80,9	81,12	2140
	Точити остаточно	2·0,15	80,6	87	80,6	80,8	320

Продовження таблиці 2.14

1	2	3	4	5	6	7	8
Ø33,5H8 ^{+0,039}	Заготовка	-	37,479	1600	35,879	37,479	-
	Розточити попередньо	2·0,91	35,659	620	35,039	35,659	910
	Розточити попередньо	2·0,91	33,839	160	33,679	33,839	360
	Розточити остаточно	2·0,15	33,539	39	33,5	33,539	179

2.10 Призначення режимів різання

Приведемо приклад аналітичного розрахунку режимів різання для точіння поверхні $\varnothing 150s7^{(+0,14}_{+0,10})$.

Для операції точіння поверхні $\varnothing 150s7^{(+0,14}_{+0,10})$ вибираємо марку сплаву для ріжучої частини різця Т15К6. Різець прохідний: $\alpha=12^\circ$; $r=2.4$; $\varphi=45^\circ$; $\varphi_1=45^\circ$; $\lambda=0$; $Ra=2,5$ мкм.

При чорновому точінні $t = 4,88$ мм; $T = 60$ хв.

За довідковою таблицею [10] вибираємо подачу $S=0,7-1,2$. Приймаємо $S=0,8$ м/хв.

Знаходимо швидкість різання за формулою [11]:

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v \text{ [м/хв.],} \quad (2.27)$$

де $C_v=340$; $x=0,15$; $y=0,45$; $m=0,20$ [11].

Поправковий коефіцієнт K_v складається з:

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{пв} \cdot K_{ИВ} \cdot K_{\varphi} \cdot K_{\varphi 1},$$

де K_{MV} – коефіцієнт, враховуючий якість обробки матеріалів

$$K_{MV} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{nv}, \quad (2.28)$$

$K_r=1$ – коефіцієнт, що характеризує групу сталі, $n_v=1$, $\sigma_B= 500-610$ МПа [11].

$$K_{MV} = 1 \left(\frac{750}{550} \right)^1 = 1,36,$$

де $K_{nv}=1$ – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні.

$K_{IB}=1$ – коефіцієнт, що враховує якість матеріалу інструменту.

$K_\varphi=1$, $K_{\varphi 1}=0,87$ – коефіцієнти, що враховують кути в плані.

$$K_v = 1,36 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,87 = 1,18.$$

Отже:

$$V = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 4,88^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 1,18 = 154,63 \left(\frac{M}{xv} \right).$$

Частоти обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \text{ [об/хв.]}, \quad (2.29)$$

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot 154,63}{\pi \cdot 30} = 1641,5 \left(\frac{\text{об}}{\text{хв}} \right),$$

де $D = 30$ мм – мінімальний діаметр при точінні на операції.

Приймаємо $n_{\max} = 1650$ об/хв.

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 154,63}{\pi \cdot 150} = 328,3 \left(\frac{\text{об}}{\text{хв}} \right),$$

де $D = 150$ мм – максимальний діаметр при точінні на операції.

Приймаємо $n_{\min} = 360$ об/хв.

Розраховуємо дійсну швидкість різання за формулою:

$$V_d = \frac{\pi d n}{1000} \text{ [м/хв.],} \quad (2.30)$$

$$V_{d \max} = \frac{3,14 \cdot 30 \cdot 1650}{1000} = 155,43 \text{ (м/хв.);}$$

$$V_{d \min} = \frac{3,14 \cdot 150 \cdot 360}{1000} = 169,56 \text{ (м/хв.).}$$

Сила різання

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \text{ [Н],} \quad (2.31)$$

де $C_p=300$, $x=1$, $y=0,75$, $n=-0,15$ [11].

$K_p = K_{MP} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{\tau p} = 0,51 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,51$ – поправковий коефіцієнт [11].

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^n = \left(\frac{550}{750} \right)^{2,14} = 0,51.$$

Отже:

$$P_{z \max} = 10 \cdot 300 \cdot 0,5^1 \cdot 0,8^{0,75} \cdot 155,43^{-0,15} \cdot 0,51 = 303,5 \text{ (Н).}$$

$$P_{z \min} = 10 \cdot 300 \cdot 0,5^1 \cdot 0,8^{0,75} \cdot 169,56^{-0,15} \cdot 0,51 = 299,6 \text{ (Н).}$$

Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \text{ [кВт];} \quad (2.32)$$

$$N_{\max} = \frac{303,5 \cdot 155,43}{1020 \cdot 60} = 0,77 \text{ (кВт);}$$

$$N_{\min} = \frac{299,6 \cdot 169,56}{1020 \cdot 60} = 0,83 \text{ (кВт).}$$

Висновок. Потужність різання складає $N_{\max} = 0,83$ кВт, а потужність попередньо вибраного верстата 1В340Ф30 – $N = 6$ кВт. Оскільки потужність різання менша, ніж вибраного попередньо верстата $N_{\max} = 0,83$ кВт $<$ $N = 6$ кВт, то верстат може бути використаний для обробки.

Аналогічно розраховуються всі режими різання на інші переходи [12]. Отримані результати розрахунків заносимо в таблицю 2.15. Верстати мають необхідну потужність для виконання всіх переходів механічної обробки по виготовленню даної деталі.

Таблиця 2.15 – Розрахунок режимів різання для операцій механічної обробки

Операції	№ переходу	Глибина різання, мм	Подача, мм/об	Швидкість різання, м/хв.	Частота обертання, об/хв.
1	2	3	4	5	6
005	2	2,5	0,4	41,8	88,75
	2.1	2,5	0,4	41,8	93,75
	2.2	3,69	0,8	166,85	354,48
	2.3	2,72	1,1	159,12	337,83
	3	0,4	0,2	378,56	804,27
	3.1	1,87	0,144	339,41	720,62
	4	14	0,41	18,77	213,49
	5	3,0	0,2	418,66	3809,47
	6	1,5	0,25	293,52	1557,96
	7	0,5	0,15	387,47	1371,08
	8	0,4	0,1	412,88	1195,37
	9	1,5	0,12	625,48	9959,87
	10	2,0	0,08	718,26	4159,0
010	11	1,0	0,05	783,56	2268,56
	2	0,7	0,29	320,01	1548,85
	2.1	3,48	1,1	152,54	601,23
	2.2	1,2	0,2	305,75	973,73
	3	2,14	0,7	212,71	838,39
	4	2,5	0,4	41,8	167,66
	5	2,5	0,4	41,8	175,51
	6	2,5	0,4	41,8	184,63
	6.1	2,5	0,4	41,8	206,71
7	0,32	0,246	344,25	1356,85	

Продовження таблиці 2.15

1	2	3	4	5	6
	8	2,5	0,4	41,8	202,31
	9	1,15	0,08	718,26	6828,22
	9.1	0,91	1,2	171,08	1626,39
	9.2	0,5	0,13	378,11	4225,16
	10	0,36	0,6	274,85	2612,89
	11	0,179	0,21	420,71	3999,53
	12	1,5	0,4	7,0	78,22
015	2	3,35	0,2	22,27	1058,56
	3	0,9	0,4	7,54	282,5
	4	1,25	0,4	7,0	202,71
	5	1,25	1,1	14,71	425,98
020	2	-	0,04	117,26	1867,19
	3	-	0,04	114,97	3661,34
020	4	-	0,02	212,21	4223,84
	5	1,25	0,1	24,08	3067,5
	6	1,25	0,1	24,08	3067,5
030	2	0,6	0,1	165,75	1000
	3	0,4	0,1	182,71	1500

2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання

Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання виконане за допомогою комп'ютерного моделювання [9].

В даному випадку виконана оптимізація режимів різання для чорнового точіння поверхні Ø150 мм. Отримані графіки для точіння показані на рис. 2.12. Оптимальні значення подачі 0,6 мм/об та числа обертів інструменту 212,5 об/хв.

Аналогічно проведені розрахунки і побудовані залежності для режимів різання при напівчистовому точінні поверхні Ø150 мм і визначено, що оптимальними будуть подача 1,07 мм/об і частота обертання деталі 300 об/хв (рис. 2.13).

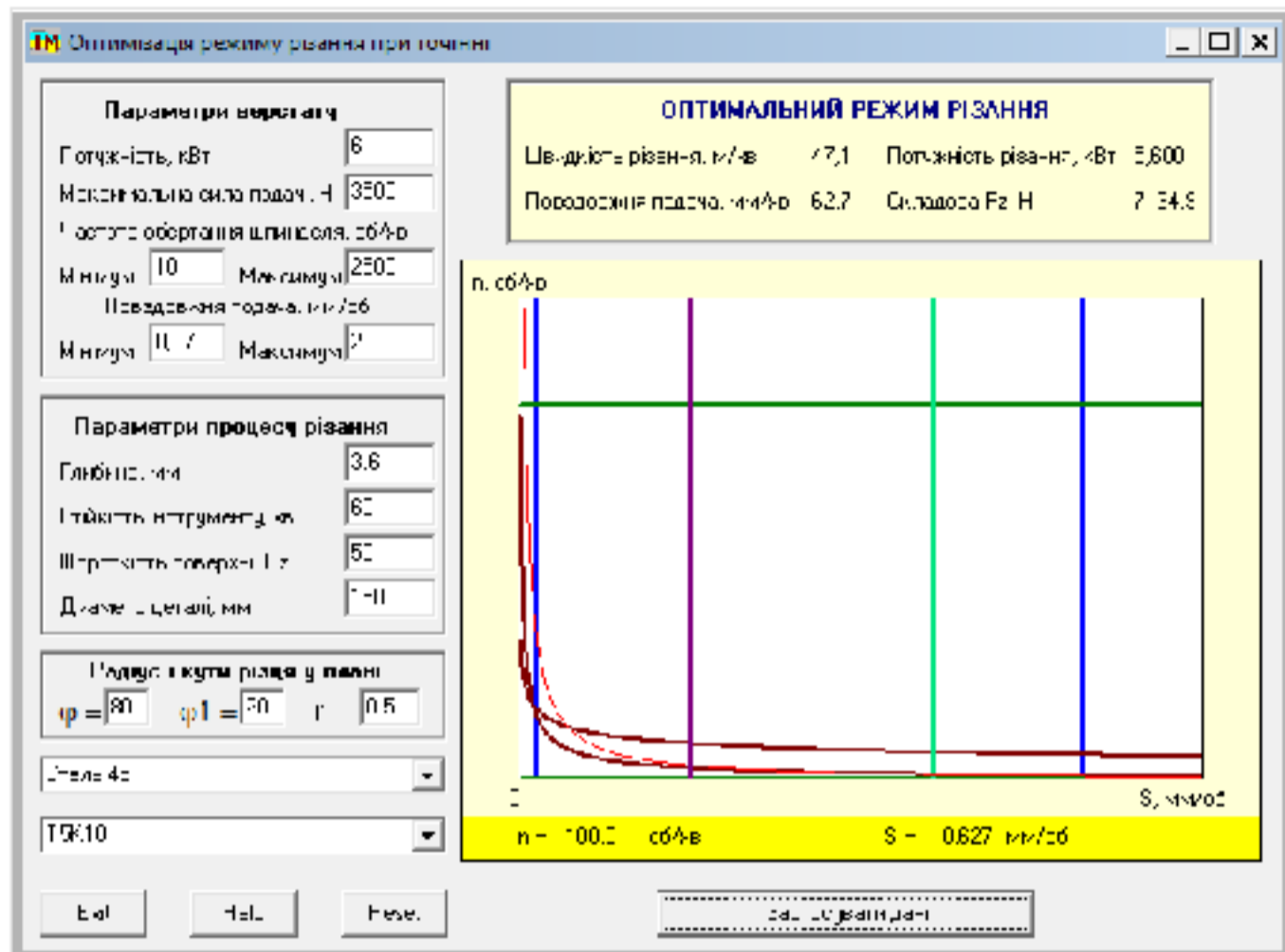


Рисунок 2.12 – Оптимізація режимів різання при чорновому точінні поверхні $\varnothing 150$ мм

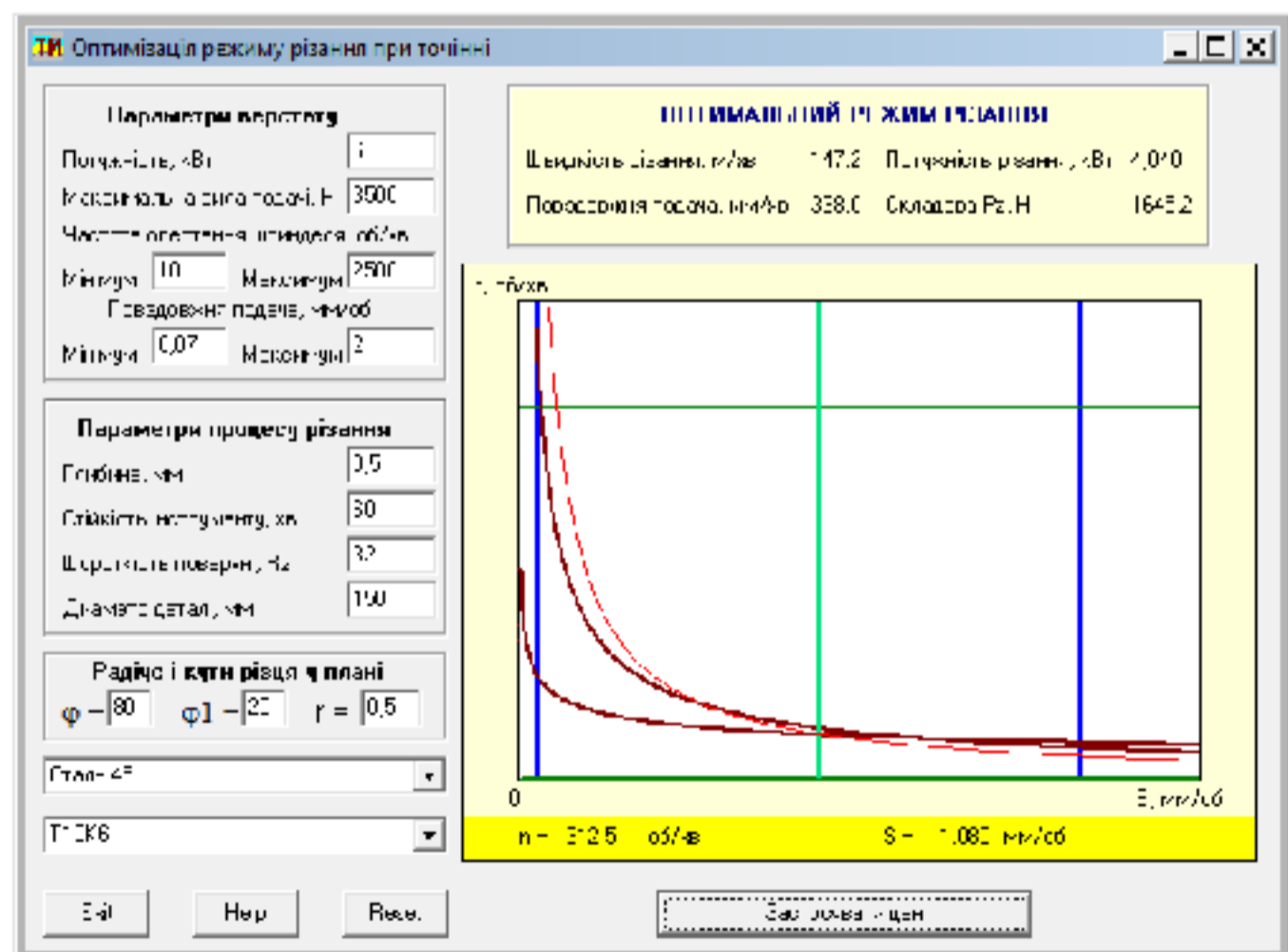


Рисунок 2.13 – Оптимізація режимів різання при напівчистовому точінні поверхні $\varnothing 150$ мм

2.12 Визначення технічних норм часу

В середньосерійному виробництві визначається норма штучно-калькуляційного часу $T_{шт-к}$ [3, 4, 9]:

$$T_{шт-к} = T_{п.з}/n + T_o + T_d \cdot k + T_{об.від} \text{ [хв.]}, \quad (2.33)$$

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

n – кількість деталей в партії настройки, $n = 15$ шт.;

T_o – основний час, хв. визначається на основі прийнятих режимів різання.

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} \text{ [хв.]}, \quad (2.34)$$

де L – довжина робочого ходу суппорта;

i – число проходів інструменту;

s – подача;

n – частота обертання.

$$L = l + l_1 + l_2 \text{ [мм]}, \quad (2.35)$$

де l – довжина оброблюваної поверхні, мм;

l_1 – величина врізання інструменту, мм;

l_2 – величина перебігу інструменту, мм;

T_d – допоміжний час, який складається із затрат часу на окремі прийоми;

$k = 1,85$ – поправочний коефіцієнт на допоміжний час при середньосерійному виробництві;

$T_{об.від}$ – час на обслуговування робочого місця і відпочинок.

Приведемо приклад розрахунку норм часу для операцій 005 та 010.

Операція 005.

Визначаємо підготовчо-заключний час $T_{п.з}$, що складається з:

- налагодження верстата, інструмента і пристосувань – 10 хв.;
- отримання інструменту і пристосувань до початку роботи і їх здача по завершенні обробки – 8 хв.

$$T_{п.з} = 10+8 = 18 \text{ (хв.)}$$

Допоміжний час

$$T_{д} = T_{уз} + T_{зв} + T_{вм.вим} + T_{підв.відв} + T_{зам.інст.} + T_{конт} \text{ [хв.]}, \quad (2.36)$$

де $T_{уз} = 0,22$ хв. – час на установку деталей у самоцентруючому патроні з пневматичним зажимом;

$T_{зв} = 0,024$ хв. – час на закріплення і відкріплення деталі рукояткою пневмозажима;

$T_{вм.вим} = 2 \cdot 0,01 = 0,02$ хв. – час на вмикання і вимикання верстата кнопкою;

$$T_{підв.відв} = 0,025 \cdot 4 + 0,015 + 0,01 \cdot 2 + 0,015 + 0,025 \cdot 10 + 0,01 \cdot 2 = 0,42 \text{ (хв.)},$$

де $0,025 \cdot 4$ хв. – підведення або відведення різця до деталі;

$0,015$ хв. – поворот револьверної головки;

$0,01 \cdot 2$ хв. – підведення або відведення свердла до деталі;

$0,015$ хв. – поворот револьверної головки;

$0,025 \cdot 10$ хв. – підведення або відведення різця до деталі;

$0,01 \cdot 2$ хв. – підведення інструмента до деталі при знятті двох фасок;

$T_{зам.інст.} = 0,015 \cdot 2 = 0,03$ (хв.) – час на зміну інструменту (на даній операції інструмент змінюється 2 рази);

$T_{конт} = 0,21/4 = 0,0525$ (хв.) – час на контрольні проміри штангенциркулем з установкою його на розмір в процесі вимірювання (вимірюємо 4 розміри на даній операції).

Приймаємо, що контролюємо кожну 5 деталь, тобто

$$T_{конт} = 0,0525/5 = 0,0105 \text{ (хв.)};$$

$$T_d = 0,22 + 0,024 + 0,02 + 0,42 + 0,03 + 0,0105 = 0,7245 \text{ (хв.)}$$

Основний час:

$$T_o = T_{o1} + T_{o2} + T_{o3} + T_{o4} + T_{o5} + T_{o6} + T_{o7} + T_{o8} + T_{o9} + T_{o10} = 20,129 \text{ (хв.)},$$

$$T_{o1} = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} = \frac{75 + 4 + 2}{88,75 \cdot 0,4} + \frac{10 + 4 + 1}{93,75 \cdot 0,4} + \frac{10 + 5 + 2}{354,48 \cdot 0,8} + \frac{200 + 4 + 2}{337,83 \cdot 1,1} = 3,29 \text{ (хв.)};$$

$$T_{o2} = \frac{10 + 2 + 1}{804,27 \cdot 0,2} + \frac{200 + 3 + 1}{720,62 \cdot 0,144} = 2,051 \text{ (хв.)};$$

$$T_{o3} = \frac{(511 + 10) \cdot 1}{213,49 \cdot 0,41} = 5,95 \text{ (хв.)}; \quad T_{o4} = \frac{280 + 4 + 2}{3809,47 \cdot 0,2} = 0,375 \text{ (хв.)};$$

$$T_{o5} = \frac{(160 + 3 + 1) \cdot 3}{1557,96 \cdot 0,25} = 1,26 \text{ (хв.)}; \quad T_{o6} = \frac{(160 + 2 + 1) \cdot 3}{1371,08 \cdot 0,15} = 2,38 \text{ (хв.)};$$

$$T_{o7} = \frac{(160 + 2 + 1) \cdot 3}{1195,37 \cdot 0,1} = 4,09 \text{ (хв.)}; \quad T_{o8} = \frac{160 + 3 + 1}{9959,87 \cdot 0,12} = 0,137 \text{ (хв.)};$$

$$T_{o9} = \frac{165 + 5 + 2}{4159 \cdot 0,08} = 0,517 \text{ (хв.)}; \quad T_{o10} = \frac{2 + 5 + 2}{2268,56 \cdot 0,05} = 0,079 \text{ (хв.)};$$

Час на обслуговування робочого місця і відпочинок складає 6,5% від оперативного часу:

$$T_{об.від} = 6,5\%(T_{оп}) = 6,5\%(T_o + T_d) = 6,5\%(20,129 + 0,7245)/100\% = 1,36 \text{ (хв.)}$$

Отже,

$$T_{шт-к} = 18/15 + 20,129 + 0,7245 \cdot 1,85 + 1,36 = 24,029 \text{ (хв.)}$$

Операція 010.

Визначаємо підготовчо-заклучний час $T_{п.з}$, що складається з:

- налагодження верстата, інструмента і пристосувань – 10 хв;
- установка подачі по ходовому гвинту для нарізання різьби ричагом коробки передач – 1 хв.;

- отримання інструменту і пристосувань до початку роботи і їх здача по завершенні обробки – 8 хв.

$$T_{п.з} = 10+1+8 = 19 \text{ (хв.)}$$

Допоміжний час

$$T_{д} = T_{уз} + T_{зв} + T_{вм.вим} + T_{підв.відв} + T_{зам.інст.} + T_{конт} \text{ [хв.]},$$

де $T_{уз} = 0,22$ хв. – час на установку деталей у самоцентруючому патроні з пневматичним зажимом;

$T_{зв} = 0,024$ хв. – час на закріплення і відкріплення деталі рукояткою пневмозажима;

$T_{вм.вим} = 2 \cdot 0,01 = 0,02$ (хв.) – час на вмикання і вимикання верстата кнопкою;

$$T_{підв.відв} = 0,025 \cdot 4 + 0,015 + 0,025 \cdot 2 + 0,015 + 0,025 \cdot 2 + 0,015 + 0,025 \cdot 4 + 0,015 + 0,025 \cdot 2 + 0,015 + 0,025 \cdot 2 + 0,015 + 0,025 \cdot 8 + 0,025 \cdot 4 + 0,01 \cdot 1 = 0,8 \text{ (хв.)},$$

де $0,025 \cdot 4$ хв. – підведення або відведення різця до деталі;

$0,015$ хв. – поворот револьверної головки;

$0,025 \cdot 2$ хв. – підведення або відведення різця до деталі;

$0,015$ хв. – поворот револьверної головки;

$0,025 \cdot 2$ хв. – підведення або відведення різця до деталі;

$0,015$ хв. – поворот револьверної головки;

$0,025 \cdot 4$ хв. – підведення або відведення різця до деталі;

$0,015$ хв. – поворот револьверної головки;

$0,025 \cdot 2$ хв. – підведення або відведення різця до деталі;

$0,015$ хв. – поворот револьверної головки;

$0,025 \cdot 2$ хв. – підведення або відведення різця до деталі;

$0,015$ хв. – поворот револьверної головки;

$0,025 \cdot 8$ хв. – підведення або відведення різця до деталі;

$0,025 \cdot 4$ хв. – підведення або відведення різця до деталі;

0,01·1 хв. – підведення або відведення мітчика до деталі до однієї поверхні;

$T_{\text{зам.інст.}} = 0,015 \cdot 6 = 0,09$ (хв.) – час на зміну інструменту (на даній операції інструмент змінюється 6 разів);

$T_{\text{конт}} = 0,21/2 = 0,105$ (хв.) – час на контрольні проміри штангенциркулем з установкою його на розмір в процесі вимірювання (вимірюємо 2 розміри на даній операції);

0,59 хв. – час на контрольні проміри різьбовою пробкою з установкою її на розмір в процесі вимірювання (вимірюємо 1 розмір на даній операції);

0,11 хв. – час на контрольні проміри калібр-пробкою гладенькою двохсторонньою з установкою її на розмір в процесі вимірювання.

Приймаємо, що контролюємо кожну 5 деталь, тобто $T_{\text{конт}} = 0,805/5 = 0,161$ (хв.)

$$T_{\text{д}} = 0,22 + 0,024 + 0,02 + 0,8 + 0,09 + 0,161 = 1,315 \text{ (хв.)}$$

Основний час:

$$T_{\text{o}} = T_{\text{o1}} + T_{\text{o2}} + T_{\text{o3}} + T_{\text{o4}} + T_{\text{o5}} + T_{\text{o6}} + T_{\text{o7}} + T_{\text{o8}} + T_{\text{o9}} + T_{\text{o10}} + T_{\text{o11}} = 14,25 \text{ (хв.)},$$

$$T_{\text{o1}} = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} = \frac{168 + 2 + 1}{1548,85 \cdot 0,29} + \frac{(110 + 5 + 2) \cdot 3}{601,23 \cdot 1,1} + \frac{(311 + 2 + 1) \cdot 6}{973,73 \cdot 0,2} = 10,58 \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{o2}} = \frac{(110 + 3 + 2) \cdot 3}{838,39 \cdot 0,7} = 0,59 \text{ (хв.)}; \quad T_{\text{o3}} = \frac{4 + 3 + 2}{167,66 \cdot 0,4} = 0,13 \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{o4}} = \frac{6,4 + 3 + 2}{175,51 \cdot 0,4} = 0,162 \text{ (хв.)}; \quad T_{\text{o5}} = \frac{5 + 3 + 2}{184,63 \cdot 0,4} + \frac{5 + 3 + 2}{206,71 \cdot 0,4} = 0,256 \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{o6}} = \frac{(110 + 2 + 1) \cdot 2}{1356,85 \cdot 0,246} = 0,68 \text{ (хв.)}; \quad T_{\text{o7}} = \frac{32,9 + 3 + 2}{202,31 \cdot 0,4} = 0,47 \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{o8}} = \frac{2 + 2 + 1}{6828,22 \cdot 0,08} + \frac{12 + 2 + 1}{1626,39 \cdot 1,2} + \frac{80 + 2 + 1}{4225,16 \cdot 0,13} = 0,168 \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{o9}} = \frac{12 + 2 + 1}{2612,89 \cdot 0,6} = 0,0096 \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{o10}} = \frac{12 + 2 + 1}{3999,53 \cdot 0,21} = 0,018 \text{ (хв.)}; \quad T_{\text{o11}} = \frac{33 + 4,5}{78,22 \cdot 0,4} = 1,19 \text{ (хв.)}.$$

Час на обслуговування робочого місця і відпочинок складає 6,5% від оперативного часу:

$$T_{\text{об.від}} = 6,5\%(T_{\text{оп}}) = 6,5\%(T_{\text{о}}+T_{\text{д}}) = 6,5\%(14,25+1,315)/100\% = 1,01 \text{ (хв.)}$$

Отже,

$$T_{\text{шт-к}} = 19/15+14,25+1,315 \cdot 1,85+1,01 = 18,96 \text{ (хв.)}$$

Для інших операцій розрахунок проводимо аналогічним чином. Дані заносимо до таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Норми часу

№ операції	Основний час, хв.	Штучно-калькуляційний час, хв.
005	20,129	24,029
010	14,25	18,96
015	0,73	1,262
020	0,77	1,426
030	4,24	8,898

3 АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ І ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ УТОЧНЕННЯ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ЧИСТОВИМ І ТОНКИМ ТОЧІННЯМ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

3.1 Постановка задачі дослідження

На сьогодні одним з найпростіших і найефективніших способів обробки є точіння, яке дозволяє виготовляти деталі типу «тіло обертання» з різноманітних матеріалів з досягненням необхідної форми і точності розмірів з високою якістю оброблених поверхонь.

Ефективність механічної обробки в кожному конкретному випадку визначається сукупністю властивостей оброблюваного матеріалу і матеріалу різального інструмента, застосовуваними режимами різання, геометричними параметрами інструмента, станом обладнання, на якому виконується обробка, і низкою інших технологічних факторів.

Наразі є очевидною тенденція застосування чистової і фінішної лезової обробки циліндричних поверхонь і площин (точіння, розточування, фрезерування) замість малопродуктивних круглого і плоского шліфування. Це пояснюється появою на ринку металообробного обладнання великої кількості типорозмірів і моделей високоточних і високопродуктивних багатоінструментальних і багатоцільових верстатів з ЧПК, а також різальних інструментів, оснащених пластинами чи різцевими вставками з надтвердих матеріалів і мінералокераміки [13].

Важливою перевагою лезової обробки на верстатах з ЧПК є можливість здійснювати як чистову, так і викінчувальну обробку декількох як циліндричних поверхонь, так і площин на одній операції з одного установа. Це суттєво підвищує якість деталей завдяки усуненню впливу похибки установа на точність відносного розташування цих поверхонь. Тому певний практичний інтерес складає встановлення показників точності, що забезпечуються фінішною лезовою обробкою на сучасних верстатах з ЧПК високої точності.

Дослідження виконувались на прикладі деталі «Цапфа Р25.03.018».

Поле розсіювання діаметральних розмірів (сумарну похибку обробки) у т. ч. діаметральних розмірів зовнішніх циліндричних поверхонь, що отримуються в результаті обробки на токарних верстатах з ЧПК згідно з [14] складатиме

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \varepsilon_{\text{пд}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{поз.}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_5 \varepsilon_{\text{i}})^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_7 \varepsilon_{\text{т}})^2}, \quad (3.1)$$

де $\varepsilon_{\text{пд}}$ — похибка від пружних деформацій технологічної системи;

$\varepsilon_{\text{поз.}}$ — похибка позиціювання робочого органу верстата по осі X ;

$\varepsilon_{\text{н}}$ — похибка настроювання інструмента (різця) на розмір обробки;

ε_{i} — похибка, зумовлена розмірним зносом різального інструмента;

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

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

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

$K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7$ — коефіцієнти, значення яких залежать від характеру законів розподілу відповідних елементарних похибок.

У цьому дослідженні прийнято, що $\frac{1}{K} = 1$. Згідно з [10] бажана гарантована імовірність роботи без браку при цьому складає 0,9973; тобто тільки у трьох деталях з тисячі дійсний розмір вийде за межі поля допуску.

Відповідно до [10] 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 $\varepsilon_{\text{i}}, \varepsilon_{\text{в}}, \varepsilon_{\text{т}}$ — систематичні і тому $K_6 = K_7 = K_7 = 1,73$.

Визначивши похибку обробки для певного переходу (наприклад, під час тонкого точіння) і знаючи похибку обробки, що виникає на чистовому точінні,

можна для заданих конкретних технологічних умов визначити коефіцієнт уточнення за формулою [14]

$$K_{y_i} = \frac{\varepsilon_{\Sigma_{i-1}}}{\varepsilon_{\Sigma_i}}, \quad (3.2)$$

де ε_{Σ_i} – сумарна похибка, яка виникає під час обробки на i -у переході;

$\varepsilon_{\Sigma_{i-1}}$ – сумарна похибка, яка виникає під час обробки на попередньому переході.

Метою роботи є виявлення впливу елементарних похибок на сумарну похибку обробки крупногабаритних заготовок чистовим і тонким точінням на токарних верстатах з ЧПК високої точності і визначення коефіцієнтів уточнення, які досягається в процесах такої обробки.

3.2 Результати дослідження

Дослідження виконувались на прикладі операції 030. На цій операції виконується попередня і остаточна обробка точінням зовнішньої циліндричної поверхні з такими розмірами: діаметр 150 мм; довжина 190 мм.

Для визначення коефіцієнтів уточнення, які забезпечуються чистовим і тонким точінням, спочатку визначимо елементарні похибки, а потім і сумарну похибку обробки поверхні $\varnothing 150$ мм (рис. 3.1), що виникають в результаті попередньої і остаточної обробки.

Прийняті такі технологічні умови:

- 1) обробка виконується на токарному верстаті з ЧПК моделі МК6801Ф3. Клас точності – В;
- 2) чистове точіння виконується на операції 030 після напівчистового точіння (операція 005); напівчистове точіння забезпечує діаметральний розмір поверхні за IT10 (для прийнятого номінального розміру величина допуску складає 160 мкм;

3) тонке точіння виконується на операції 030 після чистового точіння з одного установка; згідно з кресленням деталі тонке точіння має забезпечити точність поверхні $\varnothing 150s7^{(+0,140)}_{(+0,100)}$ мм;

4) партія заготовок (14 шт.) обробляється з автоматичним отриманням розмірів на настроєному верстаті;

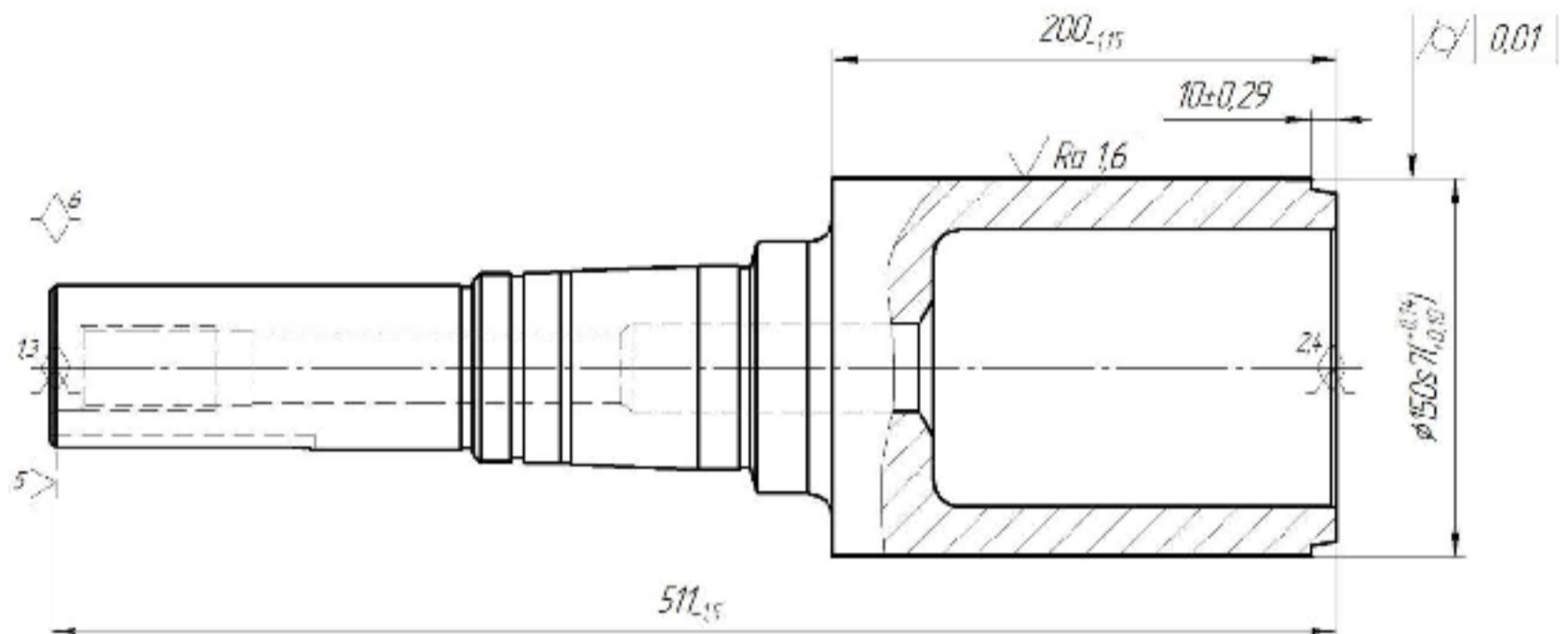


Рисунок 3.1 — Ескіз обробки

5) настроювання інструмента (прохідного різця) на розмір обробки відбувається за використання способу пробних заготовок;

6) матеріали різальної частини різців:

- чистове точіння – твердий сплав Т60К6.

- тонке точіння – оксидно-карбідна мінералокераміка ВОК-60.

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

Визначимо величини елементарних похибок, що впливатимуть на точність обробки в процесі чистового точіння.

Похибку обробки від пружних деформаціями елементів технологічної системи визначалась за формулою [15]

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

де ω_{Σ} — сумарна податливість технологічної системи, яка враховує податливості верстата, верстатного пристрою, інструмента і заготовки;

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

Заготовка на операції 030 встановлена на центри передньої і задньої бабки. Оскільки оброблювана частина заготовки знаходиться безпосередньо біля задньої бабки, то податливостями передньої бабки і заготовки можна знехтувати і вважати, що на сумарну податливість технологічної системи впливатимуть податливості супорта і задньої бабки. Таким чином, величина ω_{Σ} становить

$$\omega_{\Sigma} = \omega_{з.б} + \omega_{суп}, [\text{мкм/Н}] \quad (3.4)$$

де $\omega_{з.б}$, $\omega_{суп}$ — податливості задньої бабки і супорта;

Вузли верстатів з ЧПК відповідно до [16] мають в 2...4 рази більшу жорсткість, ніж вузли верстатів з ручним керуванням. З урахуванням цього для токарного верстата МК6801Ф3 приймаємо $\omega_{з.б} = 0,024 \cdot \text{мкм/Н}$, $\omega_{суп} = 0,018 \cdot \text{мкм/Н}$.

На зміну величини P_y впливатиме коливання припуску на чистове точіння. Вважалось, що на переході, що розглядається, $t_{\min} = 0,50$ мм, $t_{\max} = 0,625$ мм.

Силу P_y визначено за формулою

$$P_y = 10C_{P_y} t^{x_{P_y}} s^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}} k_{P_y} \cdot [\text{мкм}] \quad (3.5)$$

де C_{P_y} , k_{P_y} , x , y , n — коефіцієнти і показники степеня (знаходяться за таблицями [11]);

v — швидкість різання, м/хв;

s — подача, мм/об;

t – глибина різання, мм.

Для прийнятих технологічних умов з використанням формули (3.5) отримано: $P_{y \max} = 175$ Н; $P_{y \min} = 140$ Н.

Визначена за формулою (3.3) величина $\varepsilon_{\text{пл}}$ склала 5 мкм.

Похибка позиціонування $\varepsilon_{\text{поз}}$ робочого органу (поперечного супорта) по осі X згідно з паспортними даними верстата МК6801Ф3 становить 0,005 мм.

Похибку настроєння $\varepsilon_{\text{н}}$ можна визначити за формулою [15]

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{\varepsilon_{\text{р}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{\text{зм}}^2}, \quad [\text{мкм}] \quad (3.6)$$

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 відхилення законів розподілу похибок $\varepsilon_{\text{р}}$, $\varepsilon_{\text{вм}}$ і $\varepsilon_{\text{зм}}$ від нормального закону розподілу.

Прийнято, що $\varepsilon_{\text{р}}$ дорівнює похибці позиціонування, тобто $\varepsilon_{\text{р}} = \varepsilon_{\text{поз}} = 5$ мкм.

Похибка вимірювання $\varepsilon_{\text{вм}} = 10$ мкм (вимірювання пробних заготовок здійснюється за допомогою мікрометра з ціною поділки 0,010 мм).

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

Тоді похибка настроєння складе

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{5^2 + \left(\frac{10}{2}\right)^2 + 2^2} = 9 \text{ (мкм).}$$

Розрахуємо похибку ε_{i_N} , що виникає через розмірний знос різця в процесі обробки без піднастроювання всіх 14 заготовок партії.

Згідно з [16]

$$\varepsilon_{i_N} = \frac{L_N + L_{\text{поч}}}{1000} u_0, \quad (3.7)$$

де L_N — довжина шляху, який проходить вершина різця під час обробки всіх 14 заготовок партії;

$L_{\text{поч}} = 1000$ м — умовне збільшення довжини шляху різання для урахування початкового зносу різця;

$u_0 = 2$ мкм/км — відносний знос різця, оснащеного пластиною з твердого сплаву Т60К6 [17].

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

$$L_N = \frac{\pi D L N}{1000 s} = \frac{3,14 \cdot 150 \cdot 200 \cdot 14}{1000 \cdot 0,15} = 8729 \text{ (м)}.$$

Таким чином,

$$\varepsilon_{i_N} = \frac{8729 + 1000}{1000} \cdot 2 = 20 \text{ (мкм)}.$$

Похибка, що виникає через розмірний знос різця в процесі обробки однієї заготовки складатиме

$$\varepsilon_{i_1} = \frac{\varepsilon_{i_N}}{N} = \frac{20}{14} = 2 \text{ (мкм)}.$$

Визначимо похибку, що спричиняється геометричною неточністю верстата (ε_B).

Згідно з [10],

$$\varepsilon_B = \frac{CL}{L_0}, \quad [\text{мкм}] \quad (3.8)$$

де C — допустиме відхилення від паралельності між напрямом руху поздовжнього супорта і віссю обертання заготовки на базовій довжині L_0 ;

L — довжина оброблюваної поверхні.

Відповідно до ГОСТ 18097—93 для токарних верстатів класу точності В на базовій довжині 250 мм величина C складає 3 мкм.

Таким чином,

$$\varepsilon_B = \frac{3 \cdot 200}{250} = 3 \quad (\text{мкм}).$$

Згідно з [10], похибка, що зумовлена температурними деформаціями технологічної системи ε_T , складає близько 10 — 15% від суми інших похибок.

Прийmemo, що

$$\varepsilon_T = 0,15(\varepsilon_{\text{пд}} + \varepsilon_{\text{н}} + \varepsilon_{\text{поз}} + \varepsilon_i + \varepsilon_B). \quad (3.9)$$

Вважалось, обробка партії заготовок відбувається у стаціонарному тепловому режимі. Тому під час визначення похибки ε_T прийнято, що $\varepsilon_i = \varepsilon_{i1}$.

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

$$\varepsilon_T = 0,15(5 + 5 + 9 + 2 + 3) = 4 \quad (\text{мкм}).$$

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

$$\varepsilon_{\Sigma} = 2\sqrt{(1 \cdot 5)^2 + (1 \cdot 5)^2 + (1 \cdot 9)^2 + (1,73 \cdot 20)^2 + (1,73 \cdot 3)^2 + (1,73 \cdot 4)^2} = 60 \quad [\text{мкм}].$$

Коефіцієнт уточнення, що забезпечується чистовим точінням становитиме

$$K_{у.т.} = \frac{160}{60} = 2,66.$$

За результатами розрахунків побудовані діаграми величин елементарних і сумарної похибки, що виникають в процесі чистового точіння на верстаті з ЧПК моделі МК6801Ф3 (рис. 3.2).

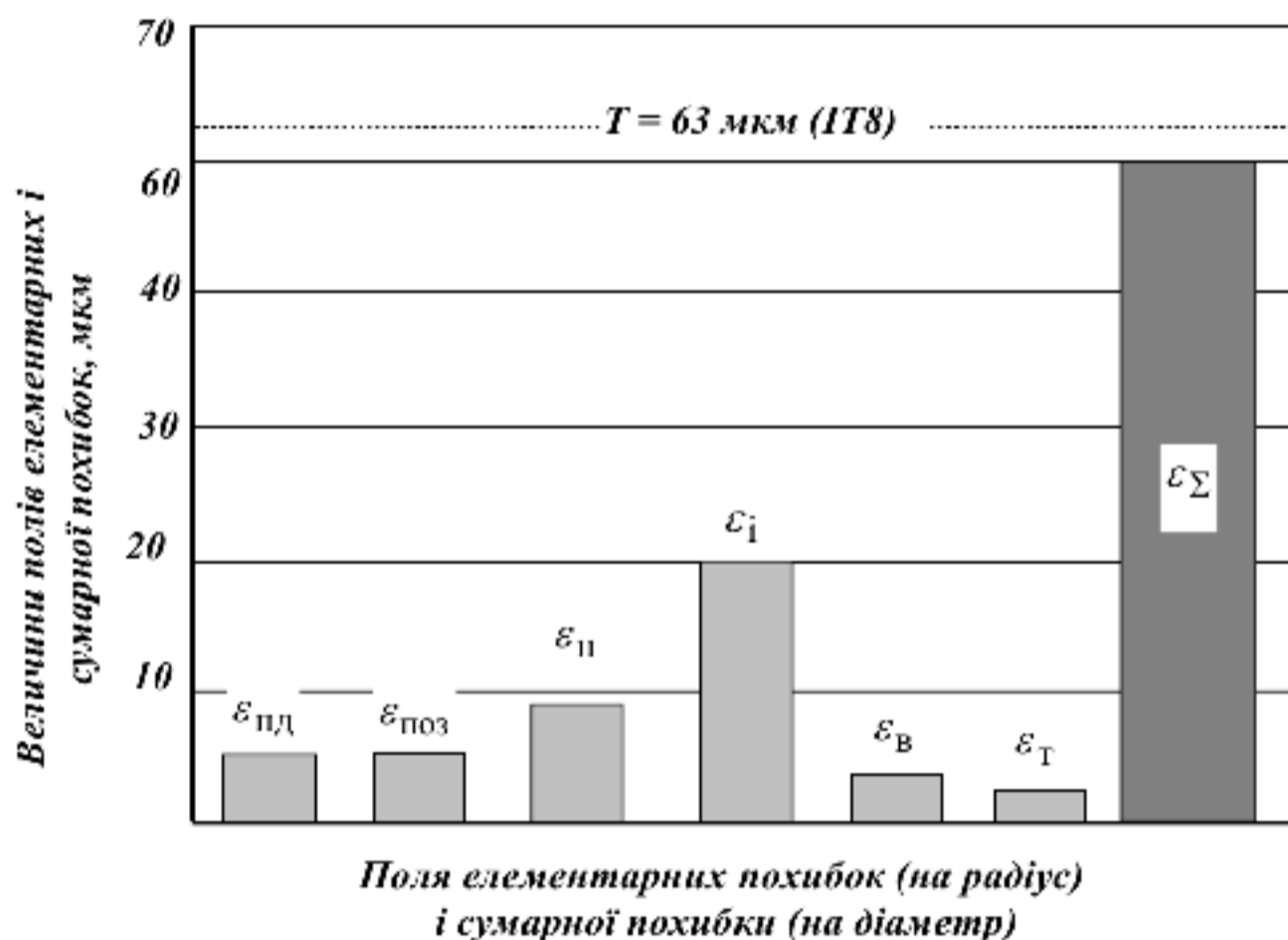


Рисунок 3.2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають в процесі чистового точіння поверхні $\varnothing 150$ мм

Порівняння величин елементарних похибок показує, що найсуттєвіший на точність обробки чинить похибка, що спричиняється розмірним зносом різця. Разом з тим, сумарна похибка (60 мкм) не перевищує допуск на розмір поверхні після чистового точіння (63 мкм). Якщо виходячи з виробничої необхідності потрібно збільшити кількість заготовок у партії, то для зменшення впливу розмірного зносу на точність обробки необхідно буде через певну кількість

оброблених заготовок виконувати автоматичну корекцію положення вершини різця.

Визначимо величини елементарних похибок, що впливатимуть на точність обробки в процесі тонкого точіння поверхні $\varnothing 150$ мм.

Похибку обробки від пружних деформацій елементів технологічної системи визначено за формулою (3.3).

На зміну величини P_y впливатиме коливання припуску на тонке точіння. Вважалось, що $t_{\min} = 0,16$ мм, $t_{\max} = 0,21$ мм.

Для прийнятих технологічних умов з використанням формули (3.6) отримано: $P_{y \min} = 56$ Н; $P_{y \max} = 74$ Н.

Визначена за формулою (3.2) величина $\varepsilon_{\text{пд}}$ склала 2 мкм.

Похибка настроєння $\varepsilon_{\text{н}}$ визначалась за формулою (3.6).

Як і для чистового точіння прийнято, що похибка регулювання дорівнює трьом дискретам, тобто $\varepsilon_{\text{р}} = 3$ мкм.

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

$$\text{Похибка } \varepsilon_{\text{зм}} = \frac{\varepsilon_{\text{пд}}}{\sqrt{m}} = \frac{2}{\sqrt{5}} = 1 \text{ мкм.}$$

Тоді похибка настроєння складе

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

Як і для попереднього переходу вважалось, що похибка позиціювання $\varepsilon_{\text{поз}}$ складає 0,005 мм.

Похибку, що виникає через розмірний знос різця в процесі тонкого точіння без піднастроювання усіх 14 заготовок партії визначено за формулою (3.7).

Прийнято, що як і для чистового точіння $L_N = 8729$ м, але величина $L_{\text{поч}}$ дещо менша і складає 500 м.

Згідно з [17] прийнято, що відносний знос різця, оснащеного змінною пластинкою з мінералокераміки ВОК-60 складе з $u_0 = 0,8$ мкм/км.

Отже,

$$\varepsilon_{i_N} = \frac{8729 + 500}{1000} \cdot 0,8 = 7 \text{ (мкм)}.$$

Похибка, що виникає через розмірний знос різця в процесі обробки однієї заготовки складатиме

$$\varepsilon_{i_1} = \frac{\varepsilon_{i_N}}{N} = \frac{7}{14} = 0,5 \text{ (мкм)}.$$

Прийнято, що $\varepsilon_{i_1} \approx 1$ мкм.

Визначимо похибку, що спричиняється геометричною неточністю верстата буде такою ж, як і для чистового точіння, тобто $\varepsilon_B = 3$ мкм.

Вважалось, що під час тонкого точіння похибка, що зумовлена температурними деформаціями технологічної системи ε_T має дещо менший вплив на точність обробки і складає близько 10 % від суми інших похибок, тобто прийнято, що

$$\varepsilon_T = 0,10(\varepsilon_{\text{цд}} + \varepsilon_H + \varepsilon_{\text{юз}} + \varepsilon_i + \varepsilon_B). \quad (3.10)$$

Підставивши знайдені раніше величини елементарних похибок у формулу (3.10), отримаємо

$$\varepsilon_T = 0,1(2 + 4 + 5 + 1 + 3) = 1 \text{ (мкм)}.$$

Сумарна похибка обробки, що впливатиме на точність обробки в процесі тонкого точіння, визначена за формулою (3.1), становитиме

$$\varepsilon_{\Sigma} = 2\sqrt{(1 \cdot 2)^2 + (1 \cdot 4)^2 + (1 \cdot 5)^2 + (1,73 \cdot 7)^2 + (1,73 \cdot 3)^2 + (1,73 \cdot 1)^2} = 36 \text{ (мкм)}.$$

Коефіцієнт уточнення, що забезпечується тонким точінням складе

$$K_{y_{т.т.}} = \frac{65}{36} = 1,80.$$

Діаграма величин елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають під час тонкого точіння, показана на рис. 3.3.

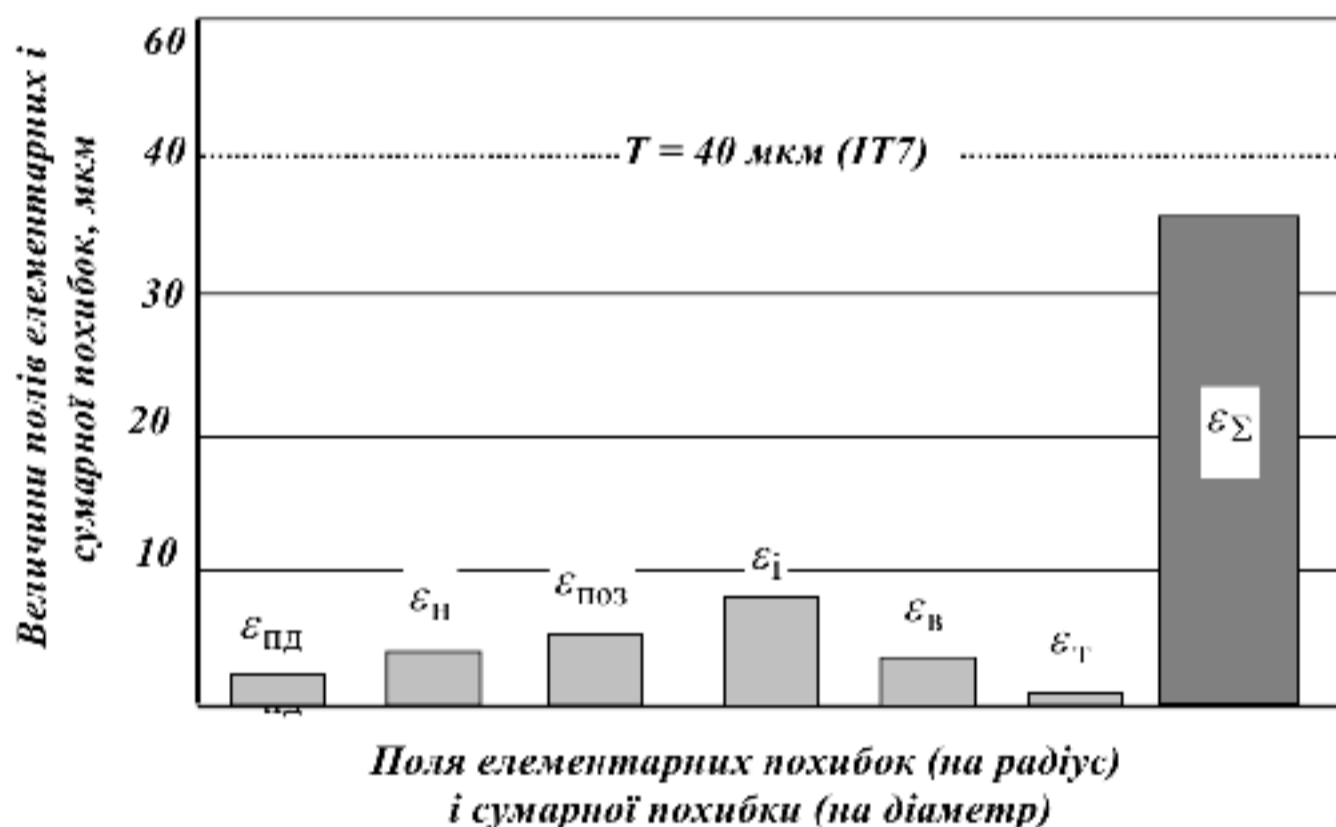


Рисунок 3.3 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають в процесі тонкого точіння поверхні $\varnothing 150$ мм

З порівняння величин елементарних похибок випливає, що як і під час чистового точіння найбільший вплив на точність обробки має похибка, що зумовлена розмірним зносом різця. Але сумарна похибка (36 мкм) не перевищує допуск на розмір поверхні після чистового точіння (40 мкм). Разом з тим, для зменшення впливу розмірного зносу на точність обробки можна через певну

кількість оброблених заготовок виконувати автоматичну корекцію положення вершини різця.

Проаналізуємо вплив технологічних факторів на похибку форми поверхні, яка утворилася в результаті тонкого точіння.

Згідно з кресленням деталі вимоги до точності форми поверхні регламентуються допустимими відхиленнями від циліндричності за 6-м (0,01 мм) ступенем точності (0,01 мм) [18].

Відповідно до ГОСТ 10356-63 відхилення від циліндричності визначається як найбільша відстань від точок реальної поверхні до поверхні ідеального циліндра, що прилягає до реальної поверхні.

Прийнято, що за даних технологічних умов на сумарну похибку форми поверхні впливатимуть такі елементарні похибки: похибка, зумовлена розмірним зносом різця в процесі обробки однієї заготовки ε_i ; похибка, спричинена геометричною неточністю верстата (ε_B); похибка, що зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи ε_T . Таким чином, сумарну похибку форми поверхні можна визначити за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{(K_5 \varepsilon_{i_1})^2 + (K_6 \varepsilon_B)^2 + (K_7 \varepsilon_T)^2} \quad [\text{мкм}] \quad (3.11)$$

Підставивши розраховані вище значення елементарних похибок у формулу (3.11), отримаємо

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

Отже, поле розсіювання можливого відхилення від циліндричності менше за допуск на цю вимогу точності, і, таким чином, можна вважати, що за даних технологічних умов задані показники точності забезпечуються.

3.3 Висновки

1. На прикладі чистового і тонкого точіння точної зовнішньої циліндричної поверхні заготовки крупногабаритної деталі, що має форму тіла обертання, виконано аналіз з виявленням елементарних похибок, сумарних похибок і коефіцієнтів уточнення.

2. Показано, що під час точіння зовнішніх циліндричних поверхонь 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, за необхідністю, ця похибка може компенсуватися використанням автоматичної корекції положення вершини різця.

3. Отримані величини коефіцієнтів уточнення для чистового точіння ($K_{у.ч.т.} = 2,66$) і тонкого точіння ($K_{у.т.т.} = 1,80$) узгоджуються із загальноприйнятими [14].

4. Аналіз показників точності, що забезпечуються тонким точінням на токарному верстаті з ЧПК високої точності, показує, що за розглянутих технологічних умов на переході тонкого точіння може забезпечуватись 7 квалітет точності і 6 ступінь точності форми поверхні.

4 РОЗРАХУНОК ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ЦАПФА Р25.03.018»

4.1 Розрахунок приведеної програми

Приведена програма може бути розрахована за залежністю [4, 19]:

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

Таблиця 4.1 – Дані для розрахунку приведеної програми

Деталі	Маса, кг	Про- грама, шт.	Квалітет IT / Шорсткість Ra									
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Цапфа Р25.03.018 (розрахун- ковий пред- ставник)	23,5	1000	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	1	2	-	-	3	1	-	65	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	-	4	-	-	1	67	-	-	
Втулка	15	2500	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	3	2	-	1	-	6	-	32	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	4	2	-	1	2	35	-	-	
			-	1	2	-	-	3	1	-	65	
Вал 1	20	8500	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			3	2	-	1	-	2	1	-	22	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			3	2	-	1	3	2	20	-	-	

Розрахуємо коефіцієнт K_1 :

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

де m_i – маса деталі розглядуваного виробу; $m_{p,np}$ – маса розрахункового представника.

Таким чином:

$$\text{- для втулки: } K_{1в} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_a}{m_{p.np}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{15}{23,5}\right)^2} = 0,74;$$

$$\text{- для вала 1: } K_{1в1} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{в1}}{m_{p.np}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{20}{23,5}\right)^2} = 0,89.$$

Для визначення коефіцієнта K_2 скористаємося залежністю:

$$K_2 = \left(\frac{N_{pn}}{N_i}\right)^\alpha, \quad (4.3)$$

Таким чином коефіцієнт K_2 :

$$\text{- для втулки: } K_{2в} = \left(\frac{N_{p.np}}{N_i}\right)^\alpha = \left(\frac{1000}{2500}\right)^{0,15} = 0,87;$$

$$\text{- для вала 1: } K_{2в1} = \left(\frac{N_{p.np}}{N_i}\right)^\alpha = \left(\frac{1000}{8500}\right)^{0,15} = 0,73.$$

K_3 враховує точність, шорсткість, складність конструкції деталі та конструктивні показники

$$K_3 = K_{31} \cdot K_{32}, \quad (4.4)$$

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

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

$$K_{32} = \left(\frac{\overline{R_{ai}}}{R_{a.pn}}\right)^{\alpha_2}, \quad (4.5)$$

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

Знайдемо значення коефіцієнта $K_{3.1}$ для кожної деталі:

- для втулки:

$$\overline{K_{T,np}^a} = \frac{\sum K_v \cdot n_{кс}}{\sum n_{кс}} = \frac{7 \cdot 3 + 8 \cdot 2 + 10 \cdot 1 + 12 \cdot 6 + 14 \cdot 32}{3 + 2 + 1 + 6 + 32} = 12,9 \approx 13;$$

$$K_{3.1} = \left(\frac{\overline{K_T^B}}{K_{T,np}} \right)^{\alpha_1} = \frac{(13)^{\alpha_1}}{(14)^{\alpha_1}} = \frac{0,8}{0,75} = 1,07;$$

- для вала 1:

$$\overline{K_{T,np}^{B2}} = \frac{\sum K_v \cdot n_{кс}}{\sum n_{кс}} = \frac{7 \cdot 2 + 9 \cdot 3 + 10 \cdot 1 + 11 \cdot 4 + 14 \cdot 6}{2 + 3 + 1 + 4 + 6} = 11,2 \approx 11;$$

$$K_{3.1} = \left(\frac{\overline{K_T^{B2}}}{K_{T,np}} \right)^{\alpha_1} = \frac{(11)^{\alpha_1}}{(14)^{\alpha_1}} = \frac{0,94}{0,75} = 1,25.$$

Знайдемо значення коефіцієнта $K_{3.2}$ для кожної деталі:

- для втулки:

$$\overline{R_a^B} = \frac{\sum R_a \cdot n_{нов}}{\sum n_{нов}} = \frac{1,25 \cdot 4 + 1,6 \cdot 4 + 3,2 \cdot 1 + 6,3 \cdot 2 + 12,5 \cdot 35}{4 + 4 + 1 + 2 + 35} = 10,1;$$

$$K_{32}^B = \left(\frac{\overline{R_a^B}}{R_{a,pm}} \right)^{\alpha_2} = \frac{(10)^{\alpha_2}}{(12)^{\alpha_2}} = \frac{0,95}{1,0} = 0,95;$$

- для вала 1:

$$\overline{R_a^{B1}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{нов}}{\sum n_{нов}} = \frac{0,8 \cdot 3 + 1,25 \cdot 2 + 2,5 \cdot 1 + 3,2 \cdot 3 + 6,3 \cdot 2 + 12,5 \cdot 20}{3 + 2 + 1 + 3 + 2 + 20} = 9,02;$$

$$K_{32}^{B1} = \left(\frac{\overline{R_a^{B1}}}{R_{a,pm}} \right)^{\alpha_2} = \frac{(9)^{\alpha_2}}{(12)^{\alpha_2}} = \frac{0,955}{1,0} = 0,955;$$

Знайдемо значення коефіцієнта K_3 для кожної деталі:

- для втулки: $K_{3B} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 1,07 \cdot 0,95 = 1,02$;

- для вала 1: $K_{3A1} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 1,2 \cdot 0,955 = 1,15$.

Знайдемо значення коефіцієнта K_{np} для кожного виробу

- для втулки: $K_{npB} = 0,74 \cdot 0,87 \cdot 1,02 = 0,66$;

- для вала 1: $K_{npA1} = 0,89 \cdot 0,73 \cdot 1,15 = 0,75$.

На основі приведених вище розрахунків приведена програма становитиме:

$$N_{np} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{npi} = 1000 \cdot 1,0 + 2500 \cdot 0,66 + 8500 \cdot 0,75 = 9025 \text{ (шт.)}$$

Таблиця 4.2 – Розрахунок приведеної програми

Найменування виробу	Річний випуск, шт.	Маса одного виробу, кг	Коефіцієнт приведення				Приведена програма на річний випуск
			по масі	по серійності	по складності	загальний	
Цапфа P25.03.018	1000	23,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1000
Втулка	2500	15	0,74	0,87	1,02	0,66	1650
Вал 1	8500	20	0,89	0,73	1,15	0,75	6375
Всього		-	-	-	-	-	9025

Отже, при подальших розрахунках кількості обладнання, працівників та інших складових дільниці буде використовуватися приведена програма, тобто проектується дільниця, на якій вироблятиметься 3 подібних деталі.

4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

Визначаємо кількість верстатів при непотоковій формі організації роботи за формулою [4, 19]:

$$C_p = \frac{T_{\Sigma}}{F}, \quad (4.7)$$

де F – фонд часу роботи верстату.

$$T_{\Sigma} = \frac{\sum_1^n \sum_1^m T_{um-ij} \cdot N_i}{60} \text{ [хв.]}, \quad (4.8)$$

$$\text{операція 005: } C_{p005} = \frac{24,029 \cdot 9025}{3810 \cdot 60} = 0,95;$$

$$\text{операція 010: } C_{p010} = \frac{18,96 \cdot 9025}{3810 \cdot 60} = 0,75;$$

$$\text{операція 015: } C_{p015} = \frac{1,262 \cdot 9025}{3810 \cdot 60} = 0,049;$$

$$\text{операція 020: } C_{p020} = \frac{1,426 \cdot 9025}{3810 \cdot 60} = 0,056;$$

$$\text{операція 030: } C_{p030} = \frac{8,898 \cdot 9025}{3810 \cdot 60} = 0,35.$$

Приведені розрахунки зведемо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок кількості верстатів

№ операції	C_p	$C_{пр}$
005	0,95	1
010	0,75	1
015	0,049	1
020	0,056	1
030	0,35	1

Визначаємо коефіцієнт завантаження верстатів за формулою

$$\eta_z = \frac{C_p}{C_{np}}, \quad (4.9)$$

де C_p – розрахована кількість верстатів,

C_{np} – прийнята кількість верстатів.

$$\text{операція 005: } \eta_{z005} = \frac{0,95}{1} = 0,95; \quad \text{операція 010: } \eta_{z010} = \frac{0,75}{1} = 0,75;$$

$$\text{операція 015: } \eta_{z015} = \frac{0,049}{1} = 0,049; \quad \text{операція 020: } \eta_{z020} = \frac{0,056}{1} = 0,056;$$

$$\text{операція 030: } \eta_{z030} = \frac{0,35}{1} = 0,35;$$

Приведені розрахунки зводимо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Коефіцієнт завантаження верстатів

№ операції	η_z
005	0,95
010	0,75
015	0,049
020	0,056
030	0,35

Приймаємо на всіх операціях по одному верстату. Але на операціях 015, 020, 030 верстати не завантажені, тому потрібно буде їх довантажити обробкою деталей з інших дільниць.

Визначаємо коефіцієнт використання за основним часом за формулою

$$\eta_{осн} = \frac{T_{осн}}{T_{шт-к}}, \quad (4.10)$$

$$\text{операція 005: } \eta_{осн005} = \frac{20,129}{24,029} = 0,84; \text{ операція 010: } \eta_{осн010} = \frac{14,25}{18,96} = 0,75;$$

$$\text{операція 015: } \eta_{осн015} = \frac{0,73}{1,262} = 0,58; \text{ операція 020: } \eta_{осн020} = \frac{0,77}{1,426} = 0,54;$$

$$\text{операція 030: } \eta_{осн030} = \frac{4,24}{8,898} = 0,48.$$

Приведені розрахунки зводимо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Коефіцієнт використання за основним часом

№ операції	$\eta_{осн}$
005	0,84
010	0,75
015	0,58
020	0,54
030	0,48

Приймаємо по одному верстату кожної моделі. Отримані результати занесено до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Розрахунок кількості обладнання

$N_{оп}$	Назва операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Коефіцієнт завантаження	Середній коефіцієнт завантаження	Коефіцієнт завантаження за основним часом
005	Токарно-револьверна з ЧПК	0,95	1	0,95	0,431	0,84
010	Токарно-револьверна з ЧПК	0,75	1	0,75		0,75
015	Вертикально-свердлильна з ЧПК	0,049	1	0,049		0,58
020	Вертикально-фрезерна з ЧПК	0,056	1	0,056		0,54
030	Токарна з ЧПК	0,35	1	0,35		0,48

4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

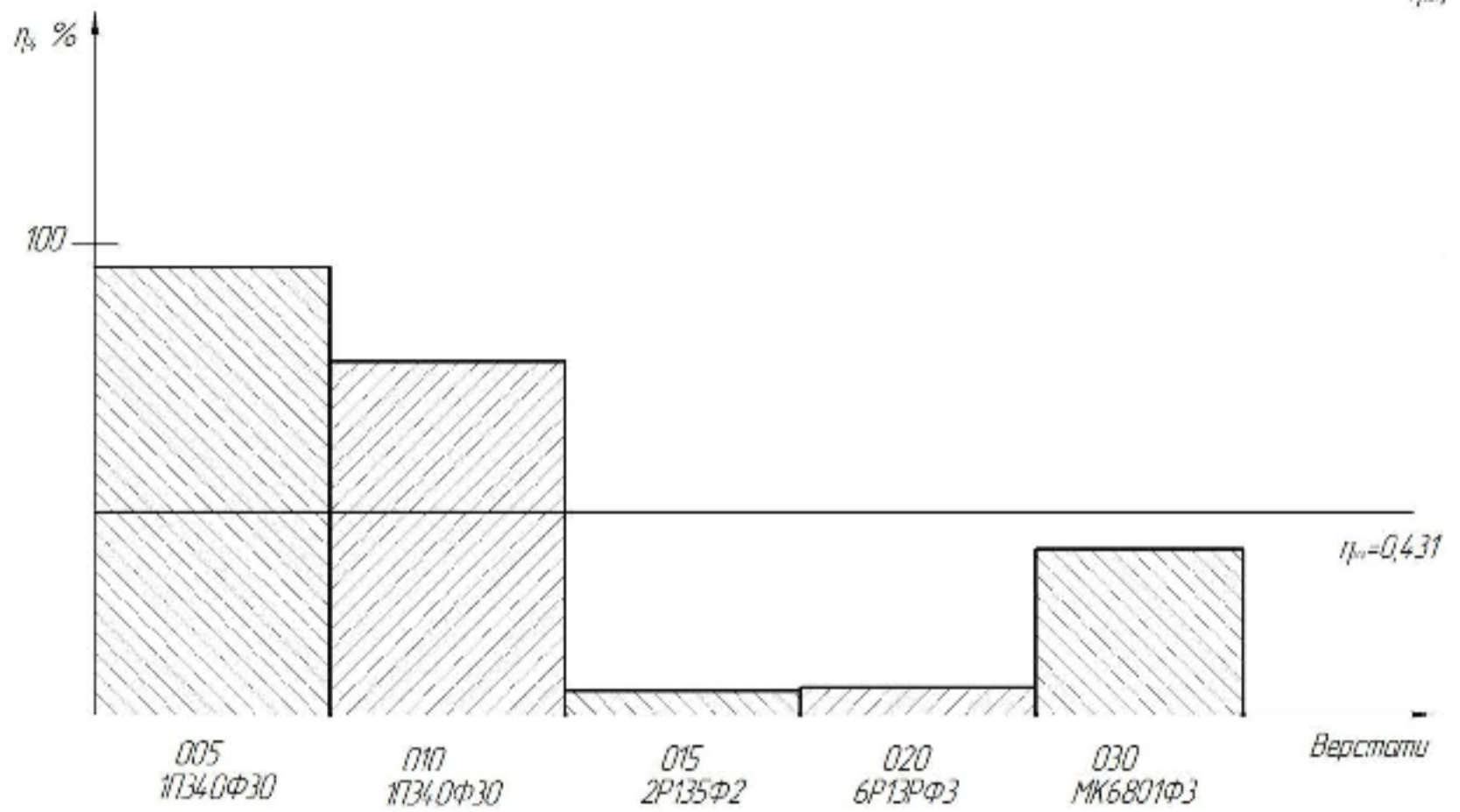


Рисунок 4.1 – Коефіцієнт завантаження верстатів

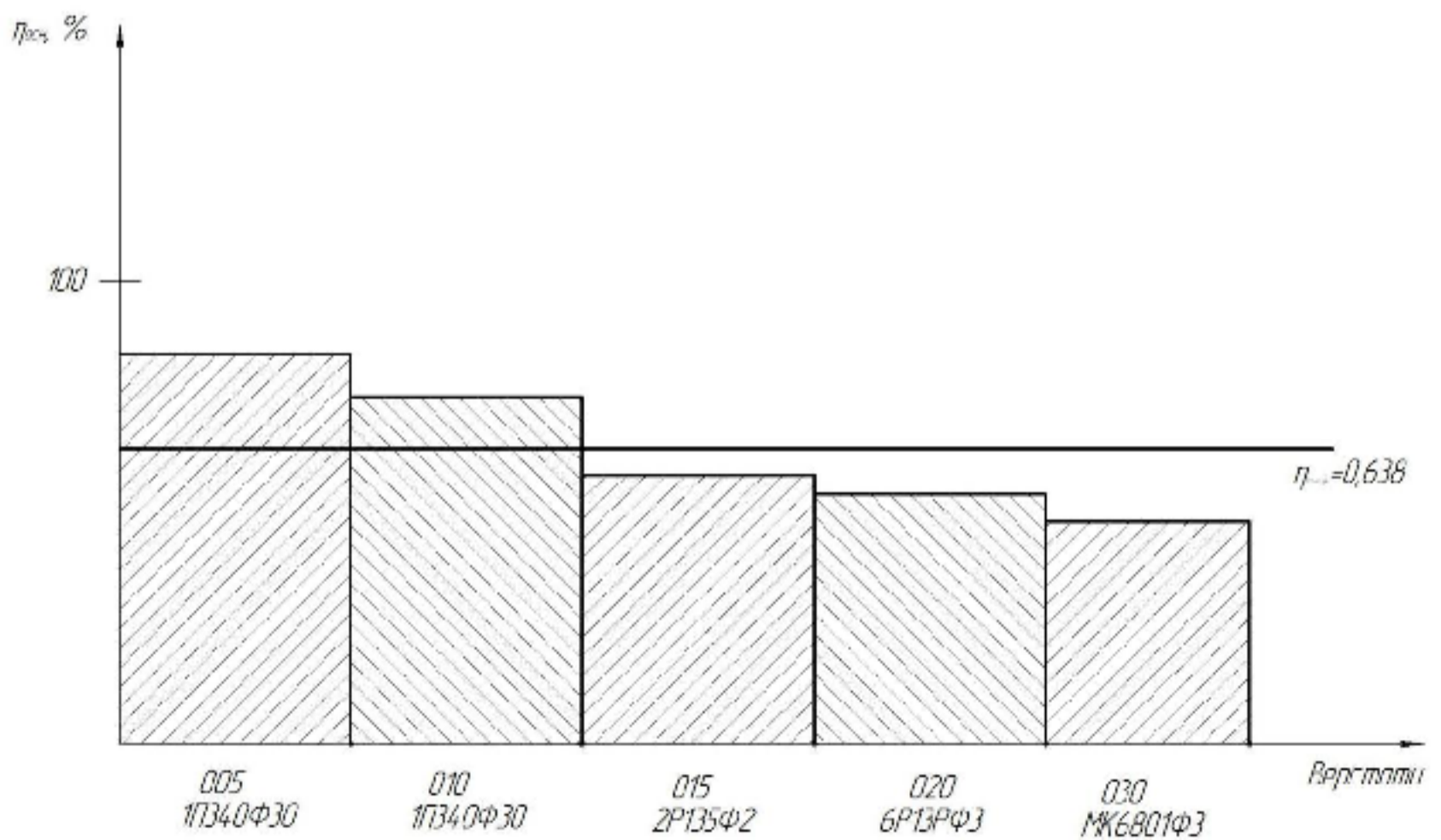


Рисунок 4.2 – Коефіцієнт використання за основним часом

Коефіцієнт завантаження верстатів на операціях 015, 020, 030 є досить низьким, тому їх потрібно довантажити обробкою інших деталей. Коефіцієнт використання за основним часом відповідає рекомендаціям.

4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці

Кількість робітників-верстатників дільниці механічного цеху може бути підрахована в залежності від прийнятої кількості верстатів за формулою [4, 19]:

$$P = C_{\text{пр}} \cdot \Phi_{\text{д}} \cdot K_{\text{з}} / \Phi_{\text{в}} \cdot K_{\text{м}}, \quad (4.11)$$

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

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

$K_{\text{м}}$ – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування.

Наприклад для роботи на токарно-револьверному верстаті з ЧПК 1В340Ф30 необхідно:

$$P = 1 \cdot 3810 \cdot 0,95 / 2 \cdot 1840 = 0,98.$$

При розрахунку ефективний фонд роботи верстатника прийнятий рівним 1840 год. (тривалість робочої неділі – 41 год., основної відпустки – 18 днів).

Отже, для виконання заданого обсягу роботи потрібен 1 робітник.

Аналогічно поводимо розрахунки для інших операцій, а результати записуємо до таблиці 4.7.

На операції 005 та 010 приймаємо одного робітника в першу зміну, який буде обслуговувати 2 верстати, так як $T_{\text{шт-к}}$ великий, а одного в другу, який буде обслуговувати також 2 верстати. Так як, на операціях 015, 020, 030 робітники повністю не завантажені, то приймаємо по 1 робітнику на кожну операцію, який буде працювати в одну зміну і потрібно довантажити дані верстати іншими деталями з інших дільниць цеху.

Згідно таблиці 4.7 сума всіх основних робочих – 5 чол.

Таблиця 4.7 – Кількість робітників-верстатників

Назви верстатів	Прийнята кількість верстатів, $C_{пр}$	$\Phi_{дв}$ год	K_3	K_m	P , чол.	$P_{пр}$, чол.
Токарно-револьверний з ЧПК	1	3810	0,95	2	0,98	1
Токарно-револьверний з ЧПК	1		0,75	2	0,78	1
Вертикально-свердлильний з ЧПК	1		0,049	1	0,101	1
Вертикально-фрезерний з ЧПК	1		0,056	1	0,116	1
Токарний з ЧПК	1		0,35	1	0,72	1

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

$$P_{др} = (0,2 \dots 0,25) \cdot 5 = 1,0 \dots 1,25.$$

Приймаємо 1 допоміжного робітника.

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

$$P_{ІТР} = (0,22 \dots 0,16) \cdot 5 = 1,1 \dots 0,8.$$

Приймаємо 1 чол. ІТР.

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

$$P_{склп} = 0,015 \cdot 5 = 0,075.$$

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

Кількість молодшого обслуговуючого персоналу складає 2% від кількості усіх працівників, тобто:

$$P_{\text{МОП}} = 0,02 \cdot (5+1+1+1) = 0,16.$$

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 4.8 [4, 19].

Таблиця 4.8 – Відомість складу працюючих дільниці

Категорії працюючих	Спосіб визначення	Розрахункова кількість	Прийнята кількість, чол.
Основні робітники-верстатники	розрах.	-	5
Допоміжні робітники	20...25%	1,0...1,25	1
ІТР	22...16%	1,1...0,8	1
СКП	1,2-2%	0,075	1
МОП	2%	0,16	1

**5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ
ДЕТАЛІ ТИПУ «ЦАПФА Р25.03.018»**

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, 21].

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	2	2	1
2	1	2	1
3	2	2	3
4	1	1	2
5	2	3	3
6	2	1	2
7	4	3	3
8	2	1	2
9	3	4	3
10	2	3	2
11	2	4	2
12	3	4	4
Сума балів	СБ ₁ = 26	СБ ₂ = 30	СБ ₃ = 28
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{26 + 30 + 28}{3} = 28$		

Згідно таблиці 5.2 розробка має рівень комерційного потенціалу середній.

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

Ринками збуту продукції можуть бути промислові регіони України.

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

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

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

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

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

Таблиця 5.3 – Основні параметри інноваційного рішення

Параметри	Абсолютне значення параметра			Коефіцієнт вагомості параметра
	краще	середнє	гірше	
Кількість верстатів	10			40%
Кількість основних робітників	10			20%
Середній розряд робітників	8			10%
Середній коефіцієнт завантаження обладнання		7		15%
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом		7		15%

Визначимо абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

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

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

$$K_{я.а.} = 10 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,2 + 8 \cdot 0,1 + 7 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,15 = 8,9.$$

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

Таблиця 5.4 – Основні параметри інноваційного рішення та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий	Новий (інноваційне рішення)		
Кількість верстатів, шт.	9	5	1,8	0,4
Кількість основних робітників, чол.	7	5	1,4	0,2
Середній розряд робітників	4	3	1,33	0,1
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,42	0,431	1,03	0,15
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом	0,48	0,638	1,33	0,15
Собівартість заготовки, грн.	1051,03	729,88	-	-

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

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

або

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

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

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

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

$$K_{я.в.} = 1,8 \cdot 0,4 + 1,4 \cdot 0,2 + 1,33 \cdot 0,1 + 1,03 \cdot 0,15 + 1,33 \cdot 0,15 = 1,49.$$

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:

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

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

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

Оскільки індекс технічних параметрів дорівнює відносному рівню якості нашого інноваційного продукту, то він буде рівним 1,49. За формулою (5.6) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I_{e.n.} = \frac{729,88}{1051,03} = 1,44.$$

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

$$K = \frac{1,49}{1,44} = 1,04.$$

Оскільки $K > 1$, то запропонована нова технологія виготовлення деталі «Цапфа Р25.03.018» є більш доцільнішою і конкурентноспроможною, ніж базова.

5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018»

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, 21]:

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

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.; $Z_{дод}$ – додаткова заробітна плата розробників, грн.; Z_n – нарахування на заробітну плату розробників, грн.; $B_{буд}$ – вартість будівлі, що її займає дільниця, грн.; $B_{обл}$ – початкова вартість технологічного обладнання, грн.; $B_{тр}$ – початкова вартість транспортних засобів, грн.; $B_{осн}$ – початкова вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів, грн.; $B_{инв}$ – вартість виробничого та господарчого інвентарю, грн.; $B_{пу}$ – вартість програм управління, грн.; $B_{нев}$ – передвиробничі витрати, грн.; $B_{оз}$ – вартість оборотних засобів, грн.

5.2.2 Основна заробітна плата розробників

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

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

де k – кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

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

t_i – число днів роботи конкретного розробника, грн.;

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

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату розробників

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

5.2.3 Додаткова заробітна плата розробників

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

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

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

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

5.2.4 Єдиний страховий внесок розробників (ЄСВ)

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

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

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату розробників.

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

5.2.5 Вартість будівлі, що її займає ділянка

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

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

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

$S_{\text{заг.}}$ – загальна площа виробничої ділянки, м².

$$B_{\text{буд.}} = 600 \cdot 125 = 75000 \text{ (грн.)}$$

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 ділянці, шт.;

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

k – кількість найменувань обладнання встановленого на ділянці.

Таблиця 5.6 – Вартість обладнання

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	K_i	Вартість, грн.
1	Токарно-револьверний верстат з ЧПК мод. 1В340Ф30	350000	2	1,1	770000
2	Вертикально-свердлильний з ЧПК мод. 2Р135Ф2	250000	1	1,1	275000
3	Вертикально-фрезерний з ЧПК мод. 6Р13РФ3	280000	1	1,1	308000
4	Токарний верстат з ЧПК мод. МК6801Ф3	380000	1	1,1	418000
Всього					1771000

Придбані верстати були у використанні.

Реалізуємо верстати, що були на базовій дільниці:

- 1 верстат 8В66 – 50000 грн.;
- 4 верстати 1М63Ф101 – $4 \cdot 80000 = 320000$ (грн.);
- 1 верстат 1П365 – 60000 грн.;
- 1 верстат 3А164 – 60000 грн.;
- 1 верстат 6Р11 – 60000 грн.;
- 1 верстат 2М57 – 70000 грн.

Всього реалізовано верстатів на 620000 грн.

Отже, витрати на обладнання

$$V_{обл} = 1771000 - 620000 = 1151000 \text{ (грн.)}$$

5.2.7 Початкова вартість транспортних засобів

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

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

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

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

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

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

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

K_n – нормативний відсоток витрат в залежності від типу виробництва;

$$B_{то} = 1151000 \cdot 0,10 = 115100 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{осв} = 115100 \cdot 0,25 = 28775 \text{ (грн.)}$$

Вартість контрольно-вимірювальних і регулювальних приладів ($B_{кнт}$), 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:

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

$$B_{кнт} = 0,1 \cdot 115100 = 11510 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{осн} = 115100 + 28775 + 11510 = 155385 \text{ (грн.)}$$

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_{ny}) становить 5...10% вартості додатково придбаного технологічного обладнання з ЧПУ і розраховується за формулою:

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

$$B_{ny} = 0,1 \cdot 1151000 = 115100 \text{ (грн.)}$$

5.2.11 Величина передвиробничих витрат

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

5.2.12 Величина оборотних засобів

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

Отже, величина капітальних вкладень на удосконалення технологічного процесу складе:

$$K = 11681,64 + 1168,164 + 2826,96 + 75000 + 1151000 + 155385 + 115100 = \\ = 1512161,76 \text{ (грн.)}$$

5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції

5.3.1 Сировина та матеріали

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

Вартість витрат на матеріал заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018» складає 540,76 грн. (див. розділ 2).

5.3.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховують за формулою:

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

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

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

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

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

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 Токарно-револьверна з ЧПК, 1В340Ф30	6	0,34	10,4
010 Токарно-револьверна з ЧПК, 1В340Ф30	6	0,24	7,34
015 Вертикально-свердлильна з ЧПК, 2Р135Ф2	3,7	0,01	0,19
020 Вертикально-фрезерна з ЧПК, 6Р13РФ3	7,5	0,01	0,38
030 Токарна з ЧПК, МК6801Ф3	11	0,07	3,93
Всього			Σ 22,24

5.3.3 Основна заробітна плата робітників

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

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

Таблиця 5.8 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування операцій, верстат	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
005 Токарно-револьверна з ЧПК	0,34	3	1,35	69,03	23,47
010 Токарно-револьверна з ЧПК	0,24	3	1,35	69,03	16,57
015 Вертикально-свердлильна з ЧПК	0,01	3	1,35	69,03	0,69
020 Вертикально-фрезерна з ЧПК	0,01	3	1,35	69,03	0,69
030 Круглошліфувальна з ЧПК	0,07	3	1,35	69,03	4,83
Всього					Σ 46,25

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.

$$Z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 46,25 = 4,63 \text{ (грн.)}$$

5.3.5 Єдиний страховий внесок робітників (ЄСВ)

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

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

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату робітників.

$$Z_n = (46,25 + 4,63) \cdot 0,22 = 11,19 \text{ (грн.)}$$

5.3.6 Розрахунок загальновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

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

$$B_{\text{заг}} = 2,5 \cdot 46,25 = 115,63 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Таблиця 5.9 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.	Примітка
1	2	3	4
Витрати на матеріали на одиницю продукції, грн.	M	540,76	
Витрати на силову електроенергію, грн.	B_e	22,24	
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	Z_p	46,25	

Продовження таблиці 5.9

1	2	3	4
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	$Z_{\text{дод}}$	4,63	
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	$Z_{\text{н}}$	11,19	
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{\text{заг}}$	115,63	
Всього	$S_{\text{в}}$	740,7	

5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу

5.4.1 Нижня межа ціни

Ціна реалізації виробу розраховується за формулою:

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

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

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

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

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

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

$$C_{\text{нмр}} = 740,7 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 1066,61 \text{ (грн.)}$$

5.4.2 Верхня межа ціни

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

Параметри якості продукції закладено в конструкторській документації, тому, при удосконаленні технологічного процесу, якість кінцевого продукту не змінюється $C_{\text{впр}} = 1051,03$ грн.

5.5 Розрахунок величини чистого прибутку

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \Pi &= \left\{ \left[1066,61 - \frac{(1066,61 - 540,76) \cdot 16,67}{100} - 740,7 - \frac{10 \cdot 740,7}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 9025 = \\ &= 1215020,05 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення

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

5.6.1 Розрахунок чистого дисконтного доходу

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

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

де 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.

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{1215020,05}{(1+0,2)^1} + \frac{1215020,05}{(1+0,2)^2} + \frac{1215020,05}{(1+0,2)^3} + \frac{1215020,05}{(1+0,2)^4} - 1512161,76 = \\ &= 1633202,64 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

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

5.6.2 Розрахунок внутрішньої норми доходності

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

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

де Π_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.

$$IRR_{MIN} = \sqrt[4]{\frac{1215020,05 + 1215020,05 + 1215020,05 + 1215020,05}{1512161,76}} - 1 = 0,34.$$

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.

$$T_o = \frac{1512161,76}{1215020,05} = 1,25 \text{ (року).}$$

5.7 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018», 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 1512161,76 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 1215020,05 грн., термін окупності 1,25 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018» доцільне для впровадження.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Періодично змінюються і нормативні документи з охорони праці. Все це вимагає створення на галузевих об'єктах спеціальної системи навчання нормам і правилам з охорони праці, навичкам безпечної праці.

Дослідження магістерської роботи проводяться на тему «Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018»». На дослідника можливий вплив таких небезпечні та шкідливі виробничі фактори (згідно [22, 23]).

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

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

6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

6.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Під час досліджень забезпечується виконання вимог Технічного регламенту безпеки машин, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 30 січня 2013 року № 62, ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.009-80 «ССБТ. Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.109-89 «ССБТ. Штампы для листовой штамповки. Общие требования безопасности», ДСТУ ГОСТ 12.2.113:2007 «Преси кривошипні. Вимоги щодо безпеки» (ГОСТ 12.2.113-2006, IDT), ГОСТ 12.2.114-86 «ССБТ. Прессы винтовые. Требования безопасности», ДСТУ ГОСТ 12.2.116:2007 «Машини листовозгинальні три- та чотиривалкові. Вимоги щодо безпеки», ДСТУ ГОСТ

12.2.118:2007 «Ножиці. Вимоги щодо безпеки» (ГОСТ 12.2.118-2006, IDT), ДСТУ 3738-98 (ГОСТ 12.2.072-98) «Роботи промислові. Роботизовані технологічні комплекси. Вимоги безпеки та методи випробувань», ГОСТ 12.2.119-88 «ССБТ. Линии автоматические роторные и роторно-конвейерные. Общие требования безопасности», ДСТУ 7234:2011 «Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки», ГОСТ 12.2.062-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Ограждения защитные», ГОСТ 12.2.064-81 «ССБТ. Органы управления производственным оборудованием. Общие требования безопасности». Пристосування, застосовувані під час холодного оброблення металів, повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.029-88 «ССБТ. Приспособления станочные. Требования безопасности». Температура зовнішніх поверхонь основного та допоміжного устаткування повинна відповідати вимогам ДСТУ EN 563-2001 «Безпечність машин. Температури поверхонь, доступних до дотику. Ергономічні дані для встановлення граничних значень температури гарячих поверхонь» (EN 563:1994, IDT). Пневматичні і гідравлічні системи устаткування повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.040-79 «ССБТ. Гидроприводы объемные и системы смазочные. Общие требования безопасности конструкции», ГОСТ 12.2.086-83 «ССБТ. Гидроприводы объемные и системы смазочные. Общие требования безопасности к монтажу, испытаниям и эксплуатации», ГОСТ 12.2.101-84 «ССБТ. Пневмоприводы. Общие требования безопасности к конструкции». Завантаження, розвантаження, транспортування вихідних матеріалів, готової продукції повинні виконуватися з дотриманням вимог ГОСТ 12.3.020-80 «ССБТ. Процессы перемещения грузов на предприятиях. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.022-80 «ССБТ. Конвейеры. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.3.009-76 «ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности», затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 18 червня 2007 року № 132, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 09 липня 2007 року за № 784/14051 (НПАОП 0.00-1.03-07), та ГОСТ 12.3.010-82

«ССБТ. Тара производственная. Требования безопасности при эксплуатации». Установлення і знімання заготовок з матеріалів, що мають виражені токсичні властивості (берилій, магнієві сплави), необхідно виконувати із застосуванням автоматичних маніпуляторів або роботів промислових. Під час оброблення дрібних деталей повинні застосовуватися механічні пристрої (бункери, механічні руки). Верхні краї бункерів автоматів під час завантаження в них заготовок вручну повинні знаходитися не вище 1300 мм від рівня підлоги. При розташуванні країв бункерів на більшій висоті повинні передбачатися стаціонарні підставки або майданчики. Зберігання і транспортування мастильно-охолоджувальних рідин повинні відповідати вимогам ДСТУ 4454:2005 «Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання». Приготування мастильно-охолоджувальних рідин необхідно виконувати централізовано в окремому приміщенні, обладнаному витяжною вентиляцією. Очищення мастильно-охолоджувальних рідин від механічних домішок необхідно виконувати із застосуванням пристроїв (фільтри, магніти) для уловлювання дрібної стружки, абразиву, пилу та іншого бруду. Для збирання мастильно-охолоджувальних рідин та запобігання розливу їх на підлогу необхідно застосовувати піддони. Видалення стружки з поверхонь верстатів вручну необхідно виконувати на зупиненому устаткуванні за допомогою щіток і гачків у захисних окулярах згідно з вимогами ГОСТ 12.4.013-85 «ССБТ. Очки защитные. Общие технические условия» [29].

6.1.2 Електробезпека приміщення

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

За ступенем небезпеки враження електричним струмом приміщення можна

класифікувати як таке, що має категорію «без підвищеної небезпеки», оскільки вся зазначена офісна техніка має захисне заземлення, передбачене її конструкцією, і повністю виключає можливість випадкового контакту із частинами, що перебувають під небезпечною для людини напругою [30].

Лінія електромережі для живлення ЕОМ, периферійних пристроїв ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ в досліджуваному приміщенні виконана як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів.

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

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

6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

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

Дослідження згідно гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [22] за енерговитратами відноситься до категорії I б. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [28] наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

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

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

6.2.2 Склад повітря робочої зони

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

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

Таблиця 6.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

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

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

6.2.3 Виробниче освітлення

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

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 [25]) при природному та сумісному освітленні для розробника зазначені у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Норми освітленості в приміщенні

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

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи.

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

6.2.4 Виробничий шум

Джерелами шуму під час роботи є різні верстати та обладнання для обробки металу. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку

відображені в ДСН 3.3.6.037-99 [27]. Для умов виконання роботи допустимі рівні звукового тиску повинні наведені в таблиці 6.4.

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

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

Для забезпечення допустимих параметрів шуму доцільно використовувати комп'ютери з пасивним охолодженням та встановити пластикові вікна, які мають достатню звукоізоляцію.

6.2.5 Виробничі випромінювання

Рівні напруженості електромагнітних полів за електричними складовими та густиною магнітних потоків (індукції) у цих піддіапазонах регламентуються чинним в Україні нормативним актом ДСанПіН 3.3.2.007-98 [26] та загальноєвропейським стандартом MPR II, відомим під назвою «шведський стандарт». Ці ж діапазони розглядаються в універсальному рекомендаційному стандарті TCO'99.

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

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

Таблиця 6.5 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

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

6.2.6 Напруженість праці

У процесі роботи з комп'ютером необхідно дотримуватися правильного режиму праці та відпочинку. Інакше у працівників спостерігається незадоволеність роботою, головний біль, роздратування, порушення сну, втома і больові відчуття в очах, попереку, у ділянці шиї та рук. Для збереження здоров'я працівників, запобігання професійним захворюванням і підтримки працездатності слід передбачати внутрішньозмінні регламентовані перерви для відпочинку для операторів комп'ютерного набору – 10 хв. після кожної години роботи. Для профілактики напруженості органів зору важливими є: дотримання режимів праці та відпочинку; характеристики та налаштування монітору ПК: яскравість екрана, зернистість, відсутність близькості тощо, наприклад, неясні кольори менше втомлюють очі, ніж яскраві. Для зниження нервово-емоційного напруження і втоми очей, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії доцільно деякі перерви

використовувати для виконання комплексу вправ, наведених у додатку 7 до ДСанПіН 3.3.2.007-98 (див. с. 70-71). Отже, за умови дотримання Правил № 65 та ДСанПіН 3.3.2.007-98 робота з ПК не належить до категорії із шкідливими умовами праці.

6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Оцінка безпеки роботи системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Цапфа Р25.03.018» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.

6.3.1 Дія електромагнітних та іонізуючих випромінювань електронні пристрої

Відомо, що внаслідок впливу іонізуючих випромінювань більшість параметрів елементів електронних систем змінюються. У загальному випадку зміна цих параметрів обумовлюється зміною як об'ємних, так і поверхневих властивостей матеріалів. Випромінювання, що втрачають основну частину своєї енергії в процесі пружного розсіювання, створюють, головним чином, радіаційні дефекти в об'ємі конструктивних матеріалів елементів схем, що приводить до зміни часу життя, концентрації і рухливості носіїв заряду в них.

Випромінювання, які при проходженні через речовину втрачають свою енергію за рахунок непружного розсіювання, іонізують газ в корпусі приладу, генерують і збуджують вільні носії заряду, що може привести до зміни поверхневих властивостей напівпровідників внаслідок захоплення генерованих носіїв заряду поверхневими рівнями або осадження заряджених іонів, на поверхню матеріалу.

Тож для того щоб, забезпечити необхідну стабільність характеристик і підвищити експлуатаційну надійність різних матеріалів або пристроїв їх потрібно розміщувати в металевих або ізоляційних корпусах ущільненої або герметичної конструкції.

Дія електромагнітного імпульсу характеризується генерацією дуже короткого (сотні наносекунд), але інтенсивного електромагнітного випромінювання, яке розповсюджується від джерела з інтенсивністю, що зменшується, у відповідності з теорією електромагнетизму. Створюване імпульсом поле може бути достатньо потужним, щоб спричинити виникнення короточасних перенапружень в електричних провідниках, таких як дроти або провідні доріжки друкованих схем.

Це може спричинити необоротні пошкодження широкого спектру електричного і електронного обладнання, особливо комп'ютерів і радіо або радарних приймачів. Залежно від електромагнітної стійкості електроніки, вона може бути необоротно пошкоджена або, іншими словами, електрично знищена. Комп'ютери, використовувані в системах обробки даних, комунікаційних системах, системах відображення інформації, системах промислового контролю, включаючи системи сигналізації автомобільних і залізних доріг, і комп'ютери, вбудовані у військове устаткування, таке, як сигнальні процесори, системи контролю польотів, цифрові системи контролю двигунів є потенційно уразливими до дії електромагнітного імпульсу.

Сучасне обладнання загального та промислового призначення містить в собі значну кількість електронного обладнання, тому необхідно приділяти достатньо уваги питанням збереження його функціональності в умовах дії іонізуючого та електромагнітного випромінювань.

6.3.2 Оцінка безпеки роботи системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Цапфа P25.03.018» в умовах дії електромагнітних випромінювань

Оцінити безпеку роботи системи ЧПК в умовах дії електромагнітних можна за допомогою коефіцієнта безпеки

$$K_B = 20 \lg \frac{U_D}{U_{B(\Gamma)}},$$

де U_D – допустиме коливання напруги живлення системи, В;

$U_{B(\Gamma)}$ – напруга створена електромагнітним випромінюванням, відповідно, у вертикальних чи горизонтальних струмопровідних частинах системи ЧПК, В.

Безпечною робота системи ЧПК в умовах дії електромагнітних випромінювань буде у випадку, коли $K_{Bmin} \geq 40$ дБ.

Допустиме коливання напруги живлення для системи ЧПК складає

$$U_D = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N = 18 + \frac{18}{100} \cdot 2 = 18,36(\text{В}),$$

де $U_{ж} = 18$ В – номінальна напруга живлення системи;

$N = 2\%$ – допустимі відхилення напруги.

Основна частина струмопровідних елементів системи ЧПК розміщена в горизонтальній площині, їх максимальна довжина між елементами становить близько 0,25 м.

Допустима величина наведеної електромагнітним полем напруги в горизонтальних струмопровідних частинах системи ЧПК

$$K_{B\Gamma} = 20 \lg \frac{U_D}{U_{\Gamma}},$$

тоді

$$40 = 20 \lg \frac{U_D}{U_{\Gamma}},$$

$$\frac{U_D}{U_{\Gamma}} = 10^{\frac{40}{20}},$$

$$U_{\Gamma} = \frac{U_D}{10^{\frac{40}{20}}} = \frac{18,36}{100} = 0,1836(\text{В}).$$

Звідки максимально допустиме значення вертикальної складової

напруженості електричного поля

$$E_B = \frac{U_r}{l_r} = \frac{0,1836}{0,25} = 0,7344 \text{ В/м}$$

Система ЧПК верстатного обладнання, що використовується в технологічному процесі розміщена в захисних корпусах товщина яких складає в середньому $t = 0,1$ см і вище.

Використання сталевих екранів такої товщини забезпечує перехідне гасіння енергії електричного поля

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f} = 5,2 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{15000} = 63,7 \text{ Дб.}$$

де $f = 15000$ – власна частота екрана.

Оскільки перехідне гасіння енергії електричного поля також можна розрахувати, як

$$A = 20 \log \frac{E_{B_{вх}}}{E_B} \text{ Дб,}$$

де $E_{B_{вх}}$ – вертикальна складова напруження електричного поля на вході в екран, то

$$E_{B_{вх}} = E_B \cdot 10^{\frac{A}{20}} = 0,7344 \cdot 10^{\frac{63,7}{20}} = 1124,4 \text{ В.}$$

Отже, безпечна робота системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Цапфа Р25.03.018» в умовах дії електромагнітних випромінювань буде забезпечена, якщо значення вертикальної складової напруженості електричного поля не перевищуватиме 1124,4 В/м.

6.3.3 Оцінка безпеки роботи системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Цапфа Р25.03.018» в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм, що дозволяє оцінити безпеку роботи системи ЧПК в умовах дії іонізуючих випромінювань, є максимальне значення потужності дози, яка може зумовити виникнення змін в елементній базі системи не порушуючи її працездатність в цілому.

Аналіз принципової схеми системи ЧПК показав, що елементами без яких неможливе її нормальне функціонування є: інтегральні схеми, транзистори, конденсатори, резистори, діоди, діелектричні матеріали, кварцові елементи, магнітні матеріали, мікросхеми індуктивності та напівпровідники.

Граничне значення потужності дози гамма-випромінювання для системи за довідниковими даними складає $p_{zp} = 10^4$ Р/с.

Таблиця 6.6 – Визначення граничної дози іонізуючих випромінювань для системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Цапфа Р25.03.018»

Елементи і матеріали системи ЧПК	Границя стійкості елементів системи ЧПК, $p_{гр.і},$ Р/с	Границя стійкості для системи ЧПК в цілому, $p_{гр},$ Р/с
Транзистори, діоди	10^5	10^4
Інтегральні схеми, напівпровідники	10^4	
Конденсатори, індуктивності	10^5	
Резистори	10^6	
Діелектричні матеріали	10^4	
Мікросхеми	10^4	
Магнітні матеріали	10^7	
Кварцові елементи	10^{10}	

Граничне значення потужності дози іонізуючого випромінювання визначається за формулою

$$P_{zp} = P_{zv} \cdot K_{noc} \cdot K_{над} = 10^4 \cdot 8 \cdot 0,95 = 7,6 \cdot 10^4 \text{ (P/c)},$$

де P_{zv} – мінімальне значення рівня радіації, що може спричинити початок зворотних змін в елементах системи ЧПК;

$K_{noc} = 8$ – середній коефіцієнт послаблення радіації промисловими будівлями;

$K_{над} = 0,9 \dots 0,95$ – коефіцієнт надійності роботи.

Висновки. Проведені розрахунки з оцінки безпеки роботи системи ЧПК верстатного обладнання дільниці механічної обробки деталі типу «Цапфа Р25.03.018» в умовах дії іонізуючих та електромагнітних випромінювань дають змогу зробити висновок, що система працюватиме безпечно в умовах дії цих чинників, якщо інтенсивності впливу іонізуючого та електромагнітного випромінювань не перевищуватимуть, відповідно, $7,6 \cdot 10^4$ P/c і 1124,4 В/м.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018». При виконанні роботи поставлено і виконано такі завдання.

1. В розділі огляду технології виготовлення деталі типу «Вал» проведено аналіз типових технологічних процесів, базового технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018», проаналізовано їх позитивні сторони, внесені пропозиції щодо удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018».

2. Для виготовлення заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018» запропоновано два способи – штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах та прокат. Встановлено, що економічно доцільніше виготовляти заготовку штампуванням на кривошипних гарячештампувальних пресах, оскільки коефіцієнт точності маси заготовки при цьому способі (0,44) більший, ніж з при виготовленні заготовки з прокату (0,29); при цьому вартість штапованої заготовки складає 540,76 грн., що менше у порівнянні з прокатом – 1077,78 грн.

3. Розроблено два варіанта удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018» з використанням верстатів з ЧПК. Проведено їх техніко-економічне порівняння, вибрано за мінімумом приведених витрат кращий варіант. Проведені розрахунки припусків, режимів різання, норм часу.

4. Виконано аналіз точності обробки і визначено коефіцієнти уточнення, що забезпечуються чистовим і тонким точінням великогабаритних заготовок на верстатах з ЧПК високої точності.

5. Для удосконаленого маршруту механічної обробки спроектовано дільницю механічної обробки; розраховано приведену програму для роботи дільниці в середньосерійному виробництві, яка складає $N_{прив} = 9025$ шт.;

дільниця механічної обробки повинна містити 5 верстатів, кількість основних робітників, що її обслуговують – 5 чол., всього працівників на дільниці – 9 чол.

6. Проведені економічні розрахунки, які підтвердили доцільність впровадження удосконаленого технологічного процесу та дільниці механічної обробки заготовки деталі «Цапфа P25.03.018», визначені капітальні вкладення – 1512161,76 грн., одержаний прибуток – 1215020,05 грн., термін окупності вкладень – 1,25 року.

7. Розроблено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях на дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа P25.03.018».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Оборудование для производства муки и крупы : справочник / Сост. Демский А. Б., Борискин М. А., Веденьев В. Ф., Тамаров Е. В., Чернолихов А. С. – СПб, Изд-во «Профессия», 2000. – 624 с.
2. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм [и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
3. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения : учебное пособие / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – М. : ООО ИД «Альянс», 2007. – 256 с.
4. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум / Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, В. В. Савуляк, О. В. Сердюк. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 148 с.
5. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Гаряче об'ємне штампування : навчальний посібник / Ж. П. Дусанюк, І. О. Сивак, С. В. Дусанюк, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 106 с.
6. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и размерные напуски : ГОСТ 7505-89. – [Чинний від 1990-07-06] М. : Изд-во стандартов, 1990. – 86 с.
7. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. / Л. І. Боженко. – Львів : Світ, 1996. – 367 с.
8. Руденко П. А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении / Руденко П. А., Харламов Ю. А., Плескач В. М. – К. : Вища школа, 1991. – 247 с.
9. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник. / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.
10. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / В. Б. Борисов, Е. И. Борисов, В. Н. Васильев [и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.

11. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / Ю. А. Абрамов, В. Н. Андреев, Б. И. Горбунов [и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

12. Барановський Ю. В. Режимы резания металлов: Справочник. Ю. В. Барановський, Л. А. Брахман, Ц. З. Бродский [и др.] ; / под ред. Ю. В. Барановського. – М. : Машиностроение, 1972. – 407 с.

13. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвёрдыми и керамическими материалами, и их применение. Справочник / [Жедь В. П., Боровский Г. В., Музыкант Я. А и др.] – М. : Машиностроение, 1987. – 320 с.

14. Комиссаров В. И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов / В. И. Комиссаров, В. И. Леонтьев. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.

15. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник / О. В. Дерібо – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 125 с.

16. Маталин А. А. Технология машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов / Маталин А. А. – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

17. Ящерицын П. И. Основы технологии механической обработки и сборки в машиностроении / П. И. Ящерицын – Минск : Высшая школа, 1974. – 607 с.

18. Допуски и посадки : справ очник : в 2-х ч. / [сост. Мягков В. Д., Палей М. А., Романов А. Б, Брагинский В. А.]; под ред. В. Д. Мягкова – Л. : Машиностроение, 1983. – Ч. 1. – 1983. – 543 с.

19. Мельников Г. Н. Проектирование механосборочных цехов. Учебник для студентов машиностроит. специальностей вузов / Г. Н. Мельников, В. П. Вороненко ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Машиностроение, 1990. – 352 с.

20. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в машинобудуванні : навчальний посібник / В. В. Кавецький, В. О. Козловський. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 100 с.

21. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько,

В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

22. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. – [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>.

23. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

24. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://vsegost.com/Catalog/31/31970.shtml>.

25. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. – Мінбуд України. – К.: 2006

26. ДСан ПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ – [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://document.ua/derznor4881.html>.

27. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

28. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

29. Наказ №749 від 16.10.2013 Про затвердження Правил охорони праці під час холодного оброблення металів – [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1871-13#Text>.

30. Правила улаштування електроустановок – [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>.

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа Р25.03.018»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (зазначити))

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

Науковий керівник Дерібо Олександр Володимирович, к.т.н., професор
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Plagiat.pl (StrikePlagiarism)		Unicheck	
КП1		Оригінальність	84,2
КП2			
Тривога/Білі знаки	/	Схожість	15,8

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор _____ Сікач О.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота може бути допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку _____ Сердюк О.В.
(прізвище, ініціали)

Експерт _____ д.т.н., проф. зав.кафедри Козлов Л.Г.
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

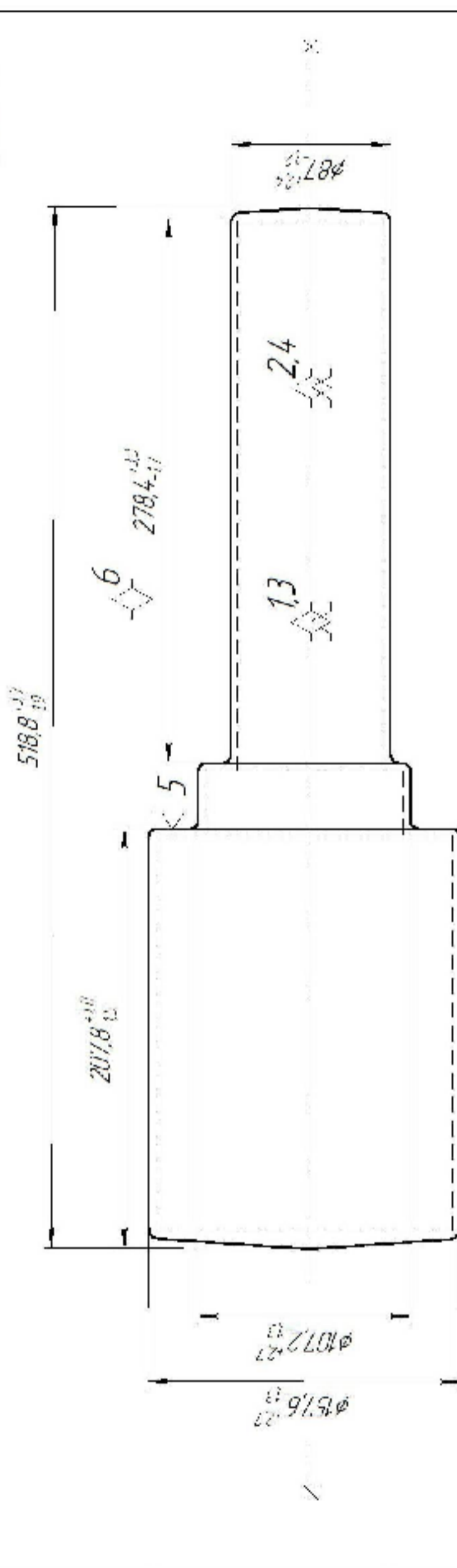
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ
ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ “ЦАПФА Р25.03.018”

3D-модель детали

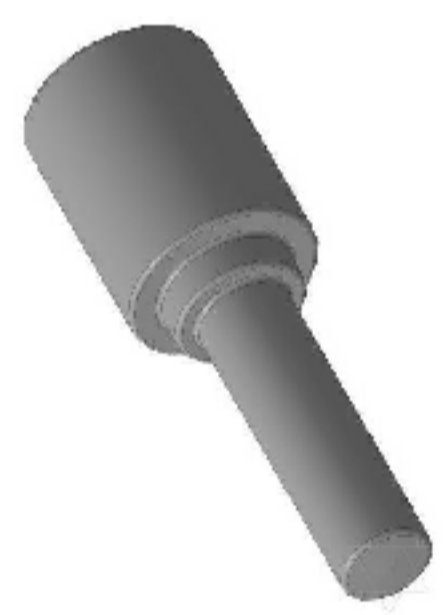


08-26.MKP.009.00.002

Ra 12.5



3D-модель заготовки

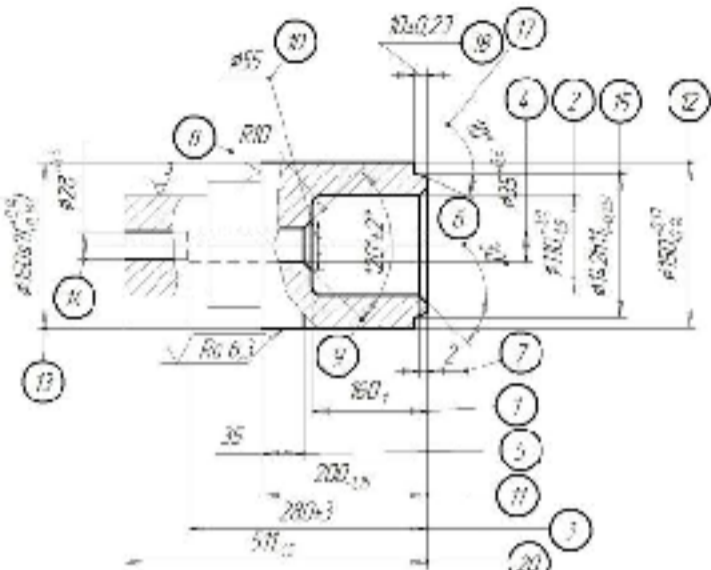
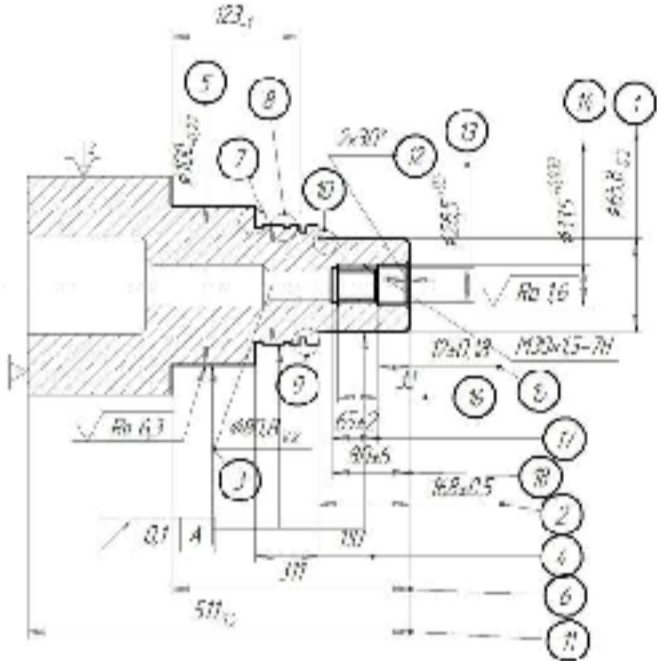
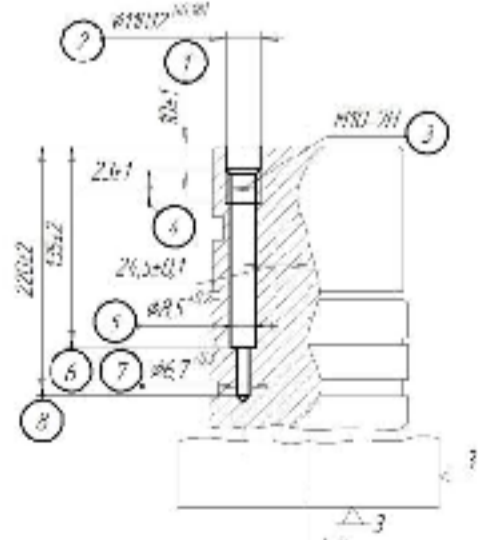


1. Клас точності штановки – 14, група сталі – М2, ступінь кваліфікації – С2.
2. Допустиме зміщення по площині розсічення штанга 0,3мм.
3. Нр інкапні голітки радіусі інкругулярні 2 і 1 мм.
4. Допустиме відхилення від площинності 0,8мм.
5. Допустима величина залишкового облою 14.
6. Допуск площинності 12мм.
7. Допуск прямолінійності 12 мм.
8. Допустимі відхилення штангубальних нахилів 4°.

№ кр. № кр.	Ім'я і прізвище	Пром. ім'я №	Ім'я № кр.	Ім'я № кр.	Ім'я № кр.	Ім'я № кр.	Ім'я № кр.	Ім'я № кр.	Ім'я № кр.

08-26.MKP.009.00.002		Цапфа (заготовка)		53,15		2,1	
Сталь 45 ГОСТ 1050-74		ВНТУ		Лист 1		Лист 1	
Місце: Київ		Склад: 08		ГП. ЗР. 17М 20М		Формат: А3	

Маршрут механічної обробки

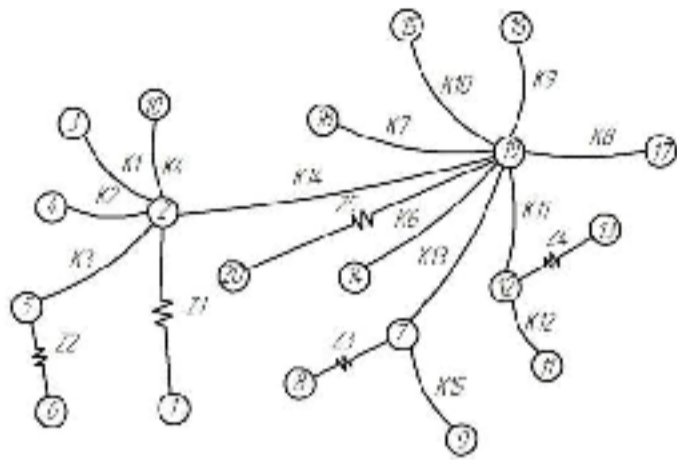
№	Операції, переходи	Ескіз обробки, схема установки	Обладнання
005	<p style="text-align: center;"><u>Токарно-револьверна з ЧПК</u></p> <p>1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Точити по контуру торець в розмір 11 однакратно, конус в розмірі 15, 17, 18 однакратно, поверхню в розмірі 11, 12 попередньо. 3) Точити по контуру поверхні в розмірі 16, 19 і 11, 12 остаточно. 4) Свердлити отвір в розмірі 20, 14. 5) Розточити отвір в розмірі 3, 4. 6) Розточити отвір відповідного розміру $\varnothing 11^{H7/g6}$. 7) Розточити отвір в розмір $\varnothing 90^{H7/g6}$. 8) Розточити отвір в розмірі 1, 2. 9) Розточити радіус в розмірі 1, 8. 10) Розточити фаску в розмірі 9, 10. 11) Розточити фаску в розмірі 6, 7 однакратно. 12) Зняти заготовку.</p>	<p style="text-align: right;">$\sqrt{Ra 12.5/1}$</p>  <p style="text-align: center;"><small>Невказані граничні відхилення розмірів отворів H7/g6, діалі h8, базис IT6/2</small></p>	Токарно-револьверний з ЧПК 1B340Ф30
010	<p style="text-align: center;"><u>Токарно-револьверна з ЧПК</u></p> <p>1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Точити по контуру поверхні в розмірі 1, 2 однакратно 3, 4 попередньо 5, 6 однакратно. 3) Точити поверхні в розмірі 3, 4 попередньо. 4) Точити канавку 7 однакратно. 5) Точити канавку 8 однакратно. 6) Точити канавки 9, 10 однакратно. 7) Точити поверхні в розмірі 3, 4 остаточно. 8) Підрізати торець в розмір 11 однакратно. 9) Розточити по контуру фаску в розмір 12, поверхню в розмірі 14, 15 попередньо, фаску і поверхню в розмірі 13, 18 однакратно. 10) Розточити поверхню в розмірі 14, 15 попередньо. 11) Розточити поверхню в розмірі 14, 15 остаточно. 12) Нарізати різьбу в розмірі 16, 13. 13) Калібрувати різьбу в розмірі 16, 13. 14) Зняти заготовку.</p>	<p style="text-align: right;">$\sqrt{Ra 12.5/1}$</p>  <p style="text-align: center;"><small>Невказані граничні відхилення розмірів отворів H7/g6, діалі h8, базис IT6/2</small></p>	Токарно-револьверний з ЧПК 1B340Ф30
015	<p style="text-align: center;"><u>Вертикально-свердильна з ЧПК</u></p> <p>1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Свердлити отвір в розмірі 7, 8. 3) Розсвердлити отвір в розмірі 5, 6. 4) Розсвердлити отвір в розмірі 1, 2. 5) Нарізати різьбу в розмірі 3, 4. 6) Зняти заготовку.</p>	<p style="text-align: right;">$\sqrt{Ra 12.5/1}$</p>  <p style="text-align: center;"><small>Невказані граничні відхилення розмірів отворів H7/g6, діалі h8, базис IT6/2</small></p>	Вертикально-свердильний з ЧПК 2P135Ф2

Маршрут механічної обробки (продовження)

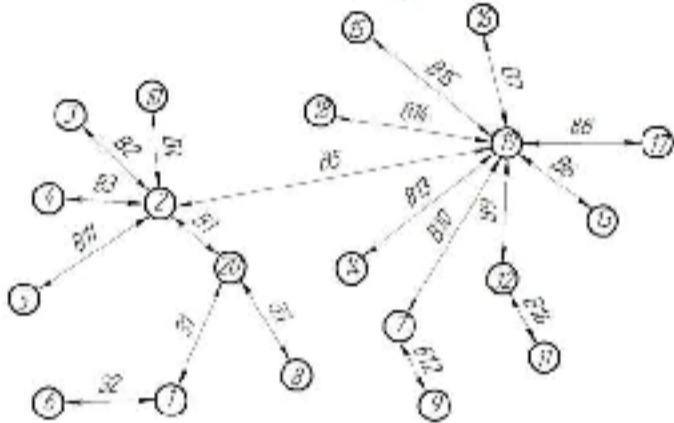
№	Операції, переходи	Ескіз обробки, схема установки	Обладнання
020	<p style="text-align: center;"><u>Вертикально-фрезерний з ЧПК</u></p> <p style="text-align: center;">І етап 1</p> <p>1) Встановити і закріпити заготовку; 2) Фрезерувати шпандівку пазів в розміри 1, 2, 3; 3) Фрезерувати шпандівку пазів в розміри 4, 5, 6; 3) Зняти заготовку.</p> <p style="text-align: center;">ІІ етап 2</p> <p>1) Встановити і закріпити заготовку; 2) Фрезерувати отвір в розміри 1, 2, 3; 3) Свердлати отвір в розміри 3, 5 на протилежній стороні $\varnothing 5,0 \pm 0,05$ 4) Свердлати отвір в розміри 4, 6 на діаметрі $\varnothing 7,0 \pm 0,05$ 5) Зняти заготовку.</p>	<p style="text-align: center;">Невідомі дані: відхилення розмірів отворів HR, діаметр HR, шліхт HR/2.</p>	<p style="text-align: right;">Обладнання</p> <p style="text-align: right;">Вертикально-фрезерний з ЧПК 6P13PФ3</p>
025	<p style="text-align: center;">Термічна обробка</p>		
030	<p style="text-align: center;"><u>Токарня з ЧПК</u></p> <p>1) Встановити і закріпити заготовку; 2) Точити поверхню 1 попередньо в розмір $\varnothing 150,3 \pm 0,05$ та розміри 2, 3; 3) Точити поверхню 1 остаточно в розміри згідно ескізу; 4) Зняти деталь.</p>	<p style="text-align: center;">Невідомі дані: відхилення розмірів отворів HR, діаметр HR, шліхт HR/2.</p>	<p style="text-align: right;">Токарний з ЧПК МК6801Ф3</p>

Розмірний аналіз технологічного процесу

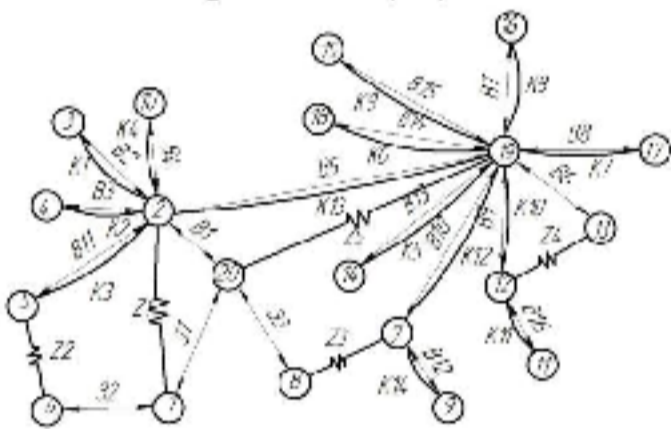
Похідний граф-дерево



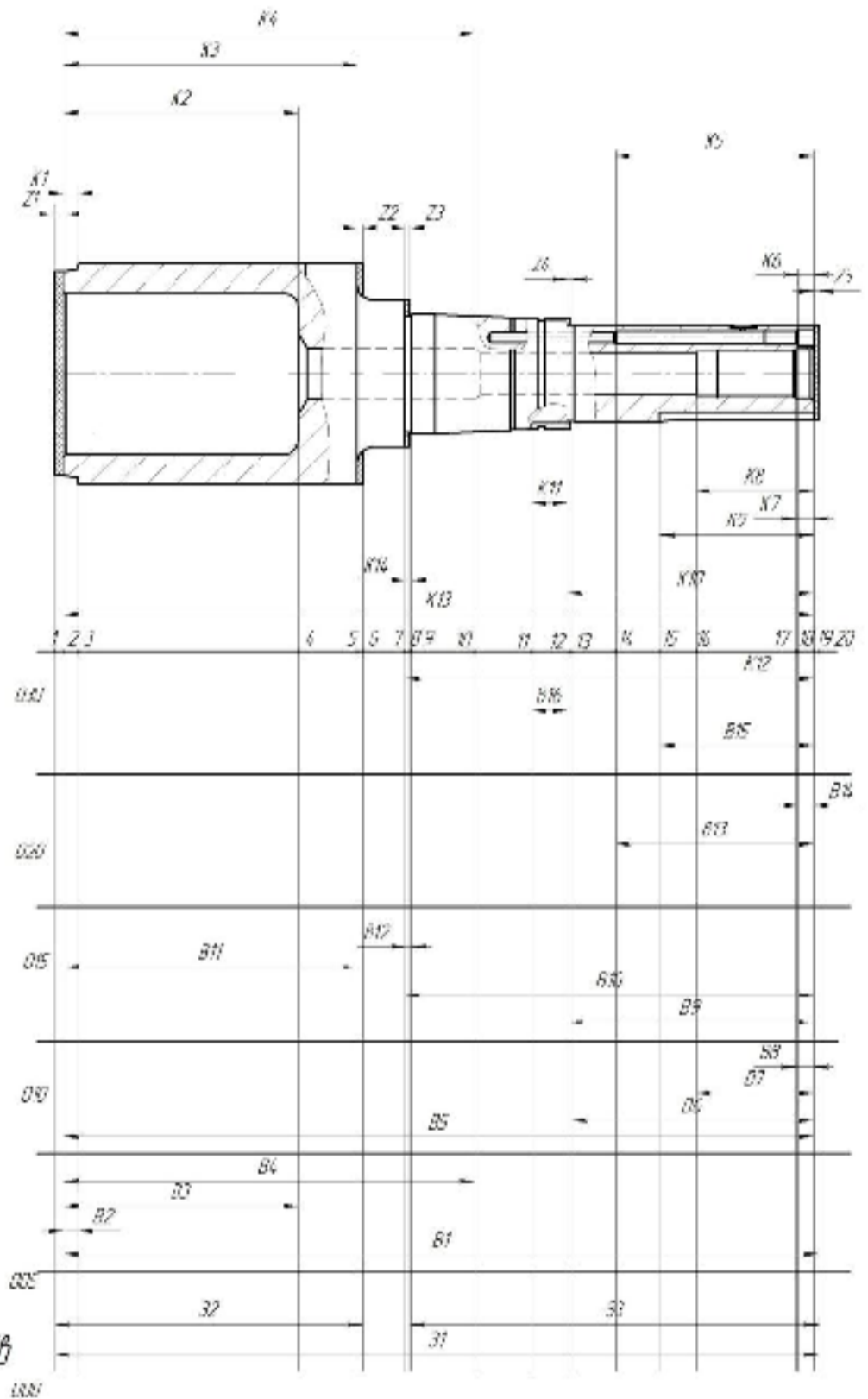
Вихідний граф-дерево



Суміщений граф



Розмірна схема технологічного процесу



Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

№	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що розраховується
1	$B_{11} - K_1 = 0$	$B_{11} = K_1$	B_{11}
2	$B_2 - K_2 = 0$	$B_2 = K_2$	B_2
3	$B_3 - K_3 = 0$	$B_3 = K_3$	B_3
4	$B_4 - K_4 = 0$	$B_4 = K_4$	B_4
5	$B_5 - K_5 = 0$	$B_5 = K_5$	B_5
6	$B_{14} - K_6 = 0$	$B_{14} = K_6$	B_{14}
7	$B_7 + Z_4 - B_5 = 0$	$Z_4 = B_5 - B_7$	B_7
8	$B_8 + Z_4 - B_5 = 0$	$Z_4 = B_5 - B_8$	B_8
9	$B_{15} - K_7 = 0$	$B_{15} = K_7$	B_{15}
10	$B_9 - K_8 = 0$	$B_9 = K_8$	B_9
11	$B_{10} - K_9 = 0$	$B_{10} = K_9$	B_{10}
12	$B_7 - K_{10} = 0$	$B_7 = K_{10}$	B_7
13	$B_{14} - K_{11} = 0$	$B_{14} = K_{11}$	B_{14}
14	$B_{15} - K_{12} = 0$	$B_{15} = K_{12}$	B_{15}
15	$B_{11} - K_{13} = 0$	$B_{11} = K_{13}$	B_{11}
16	$B_{12} - K_{14} = 0$	$B_{12} = K_{14}$	B_{12}
17	$Z_1 - B_1 - Z_2 = 0$	$Z_1 = Z_2 + B_1$	Z_1
18	$Z_2 - B_{11} - Z_3 + B_1 - Z_1 = 0$	$Z_2 = Z_3 - B_{11} + B_1 - Z_1$	Z_2
19	$Z_1 - B_1 + B_2 - B_3 + Z_4 = 0$	$Z_1 = B_1 - B_2 + B_3 - Z_4$	Z_1

Значення припусків, мм

Припуск	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
Граничні	$Z_{1г}$	10	10	0.8	0.8
номинальні	$Z_{1н}$	7.75	11.2	1.75	2.8

Значення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки та їх допуски, мм

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номинальний розмір	Значення розміру в технологічному процесі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
B_1	506.75	508.5	1.75	507.625	507.625±0.075	-
B_2	0.71	0.27	0.58	0	0±0.27	-
B_3	159	160	10	160	160±0	-
B_4	775.7	787.7	10	787	787±0.7	-
B_5	507.625	511	15	511	511±0	-
B_6	94.565	94.565	0.07	94	94±0.075	-
B_7	794	806	12	800	800±0.6	-
B_8	1162	1210	0.30	12	12±0.18	-
B_9	1623	1683	10	168	168±0.3	-
B_{10}	28335	284.65	13	284	284±0.65	-
B_{11}	198.85	200	15	200	200±0	-
B_{12}	1.70	4.25	0.60	4	4±0.24	-
B_{13}	101	117	4.0	105	105±2.0	-
B_{14}	0	11	2.0	10	10±1.0	-
B_{15}	104.3	105.7	14	105	105±0.7	-
B_{16}	23	25.5	10	24	24±1.5	-
Z_1	505.5	512.9	4.4	511.7	-	511.7±2.2
Z_2	200.0	211.0	2.9	209.6	-	209.6±1.5
Z_3	279.9	283.1	3.2	281.5	-	281.5±1.6

Сверло 2310-0376 ГОСТ 2420-7-84
Биты для сверления 191952009

Рисунок 1

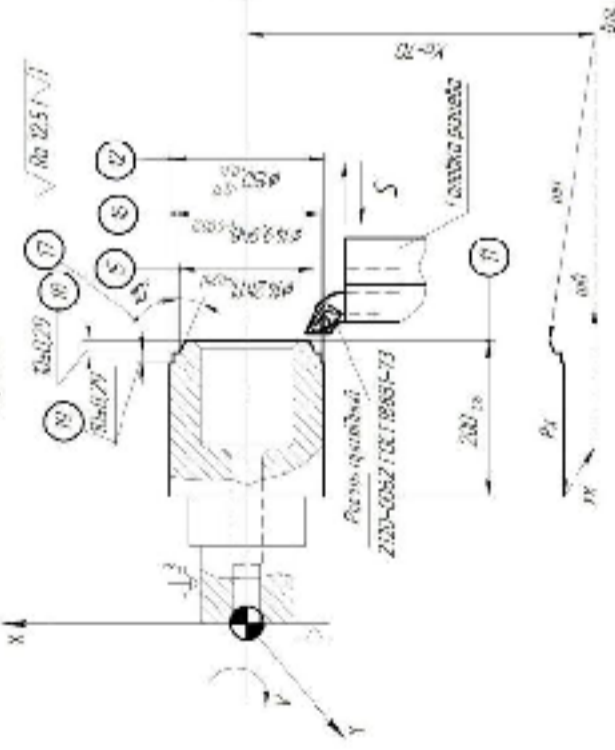


Рисунок 2

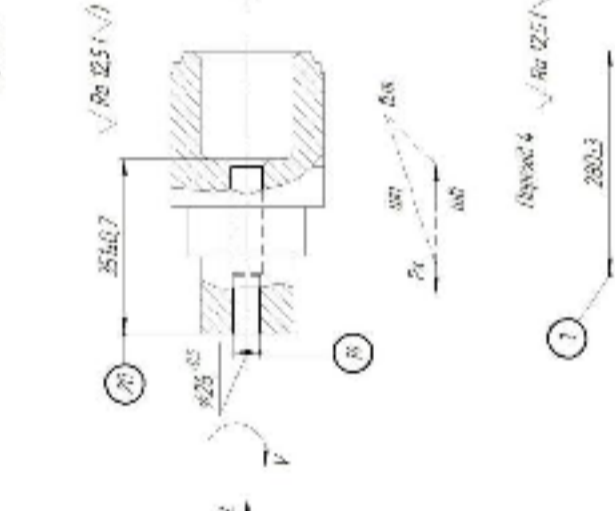


Рисунок 3

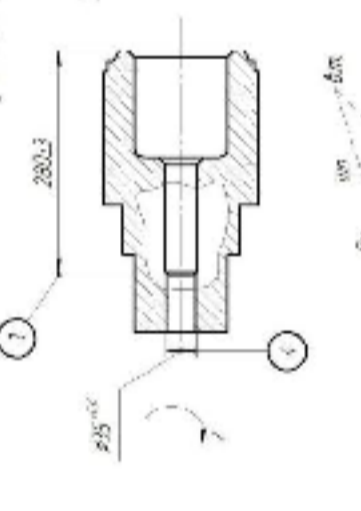


Рисунок 4

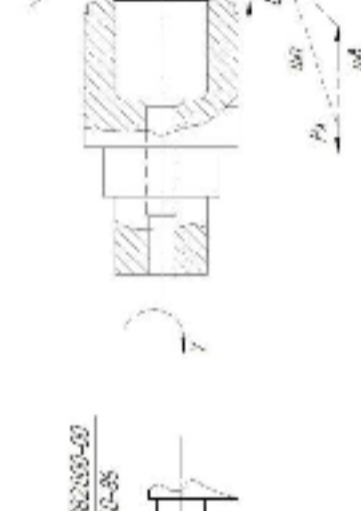


Рисунок 5

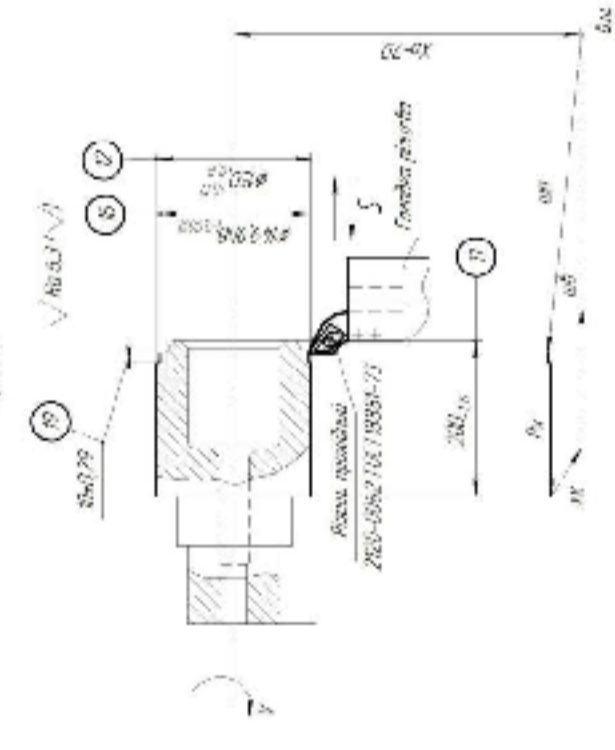


Рисунок 6

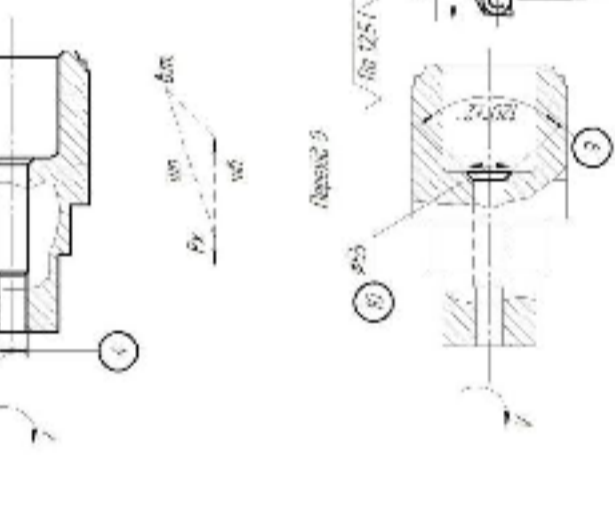


Рисунок 7

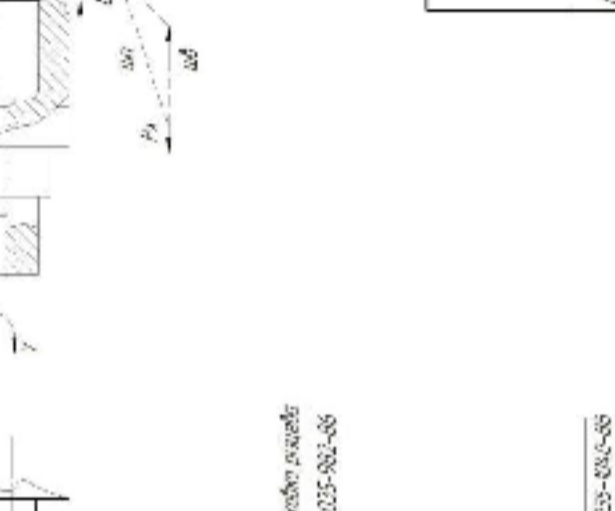
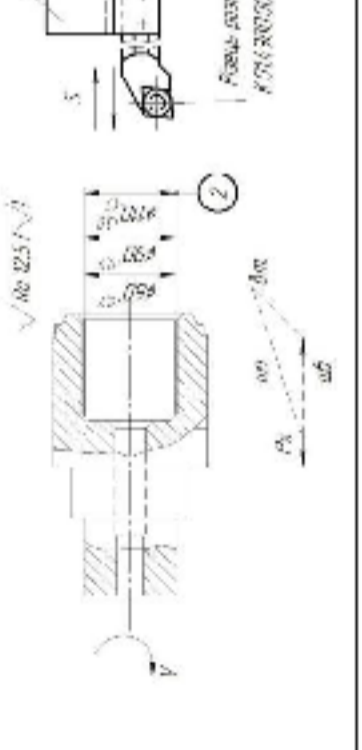


Рисунок 8-7



№	Наименование	Материал	Масса	Длина	Диаметр
1	Сверло с режущей кромкой из закаленной стали	Углеродистая сталь	0,15	282	23,1
2	Сверло с режущей кромкой из быстрорежущей стали	Быстрорежущая сталь	0,15	282	23,1
3	Сверло с режущей кромкой из легированной стали	Легированная сталь	0,15	282	23,1
4	Сверло с режущей кромкой из нержавеющей стали	Нержавеющая сталь	0,15	282	23,1
5	Сверло с режущей кромкой из инструментальной стали	Инструментальная сталь	0,15	282	23,1
6	Сверло с режущей кромкой из закаленной стали с покрытием	Закаленная сталь с покрытием	0,15	282	23,1
7	Сверло с режущей кромкой из закаленной стали с покрытием и покрытием	Закаленная сталь с покрытием и покрытием	0,15	282	23,1
8	Сверло с режущей кромкой из закаленной стали с покрытием и покрытием и покрытием	Закаленная сталь с покрытием и покрытием и покрытием	0,15	282	23,1
9	Сверло с режущей кромкой из закаленной стали с покрытием и покрытием и покрытием и покрытием	Закаленная сталь с покрытием и покрытием и покрытием и покрытием	0,15	282	23,1
10	Сверло с режущей кромкой из закаленной стали с покрытием и покрытием и покрытием и покрытием и покрытием	Закаленная сталь с покрытием и покрытием и покрытием и покрытием и покрытием	0,15	282	23,1

Исполнитель: ООО «ИЗМЕРИТЕЛЬ»		Дата: 10.05.2009	
Сверло 2310-0376 ГОСТ 2420-7-84		Биты для сверления 191952009	
Материал: Углеродистая сталь		Материал: Быстрорежущая сталь	
Материал: Легированная сталь		Материал: Нержавеющая сталь	
Материал: Инструментальная сталь		Материал: Закаленная сталь с покрытием	
Материал: Закаленная сталь с покрытием и покрытием		Материал: Закаленная сталь с покрытием и покрытием и покрытием	
Материал: Закаленная сталь с покрытием и покрытием и покрытием		Материал: Закаленная сталь с покрытием и покрытием и покрытием и покрытием	
Материал: Закаленная сталь с покрытием и покрытием и покрытием и покрытием		Материал: Закаленная сталь с покрытием и покрытием и покрытием и покрытием и покрытием	

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ І ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ УТОЧНЕННЯ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ЧИСТОВИМ І ТОНКИМ ТОЧІННЯМ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Поле розсіювання діаметральних розмірів (сумарну похибку обробки) у т. ч. діаметральних розмірів зовнішніх циліндричних поверхонь, що отримуються в результаті обробки на токарних верстатах з ЧПК

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \varepsilon_{\text{пр}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{поз.}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_5 \varepsilon_1)^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_7 \varepsilon_{\text{т}})^2} \quad [\text{мкм}]. \quad (1)$$

Визначивши похибку обробки для певного переходу (наприклад, під час тонкого точіння) і знаючи похибку обробки, що виникає на чистовому точінні, можна для заданих конкретних технологічних умов визначити коефіцієнт уточнення за формулою

$$K_{y_i} = \frac{\varepsilon_{\Sigma_{i-1}}}{\varepsilon_{\Sigma_i}}. \quad (2)$$

Дослідження виконувались на прикладі деталі «Цапфа Р25.03.018», операція 030 на токарному верстаті з ЧПК моделі МК6801Ф3. На цій операції виконується попередня і остаточна обробка точінням зовнішньої циліндричної поверхні з такими розмірами: діаметр 150 мм; довжина 190 мм.

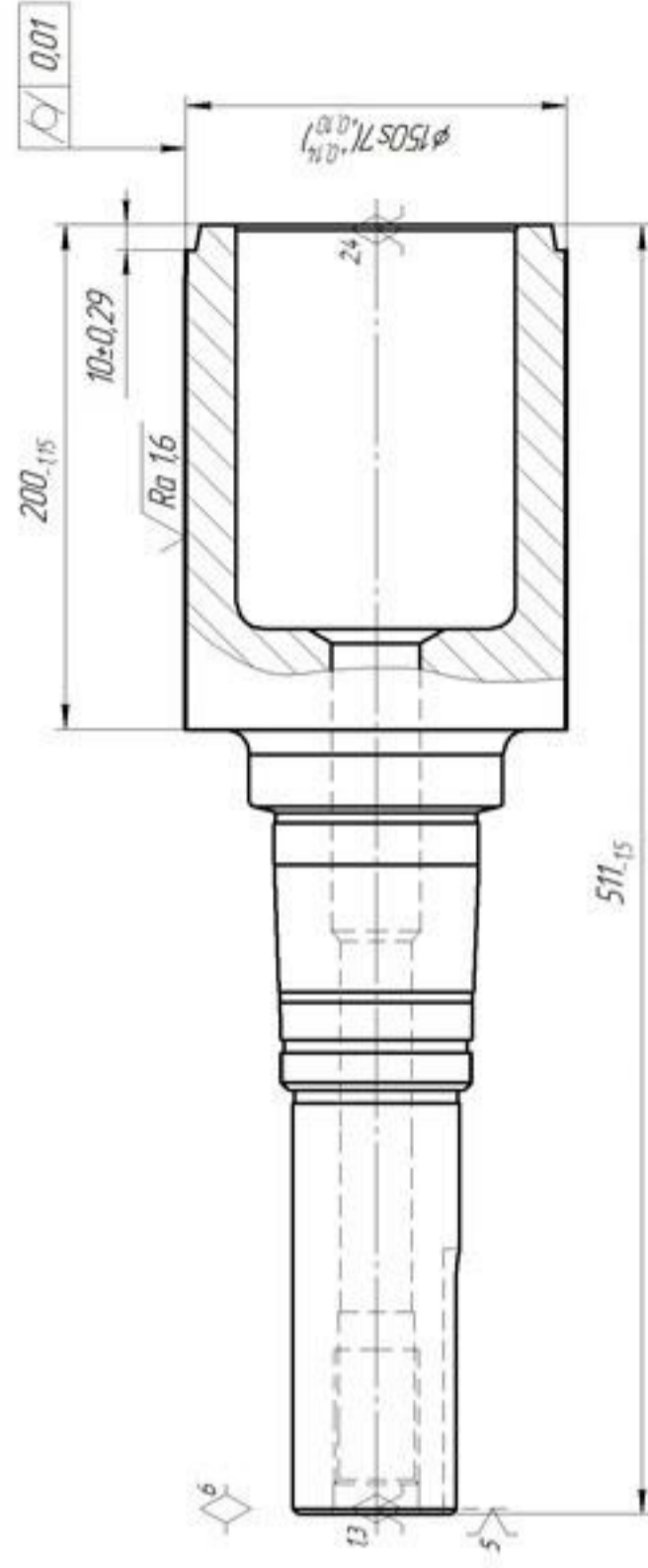


Рисунок 1 – Ескіз обробки

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ І ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ УТОЧНЕННЯ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ЧИСТОВИМ І ТОНКИМ ТОЧІННЯМ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК (продовження)

Похибка обробки від пружних деформацій елементів технологічної системи

$$\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}) \text{ [мкм]}. \quad (3)$$

Похибка настроєння

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{\varepsilon_{\text{р}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2} \right)^2} + \varepsilon_{\text{зм}}^2 \text{ [мкм]}. \quad (4)$$

Похибка, що виникає через розмірний знос різця в процесі обробки без піднастроювання всіх заготовок партії

$$\varepsilon_{iN} = \frac{L_N + L_{\text{поч}}}{1000} u_0 \text{ [мкм]}. \quad (5)$$

Похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстага

$$\varepsilon_{\text{в}} = \frac{CL}{L_6} \text{ [мкм]}. \quad (6)$$

Похибка, що зумовлена температурними деформаціями технологічної системи складає близько 10-15% від суми інших похибок

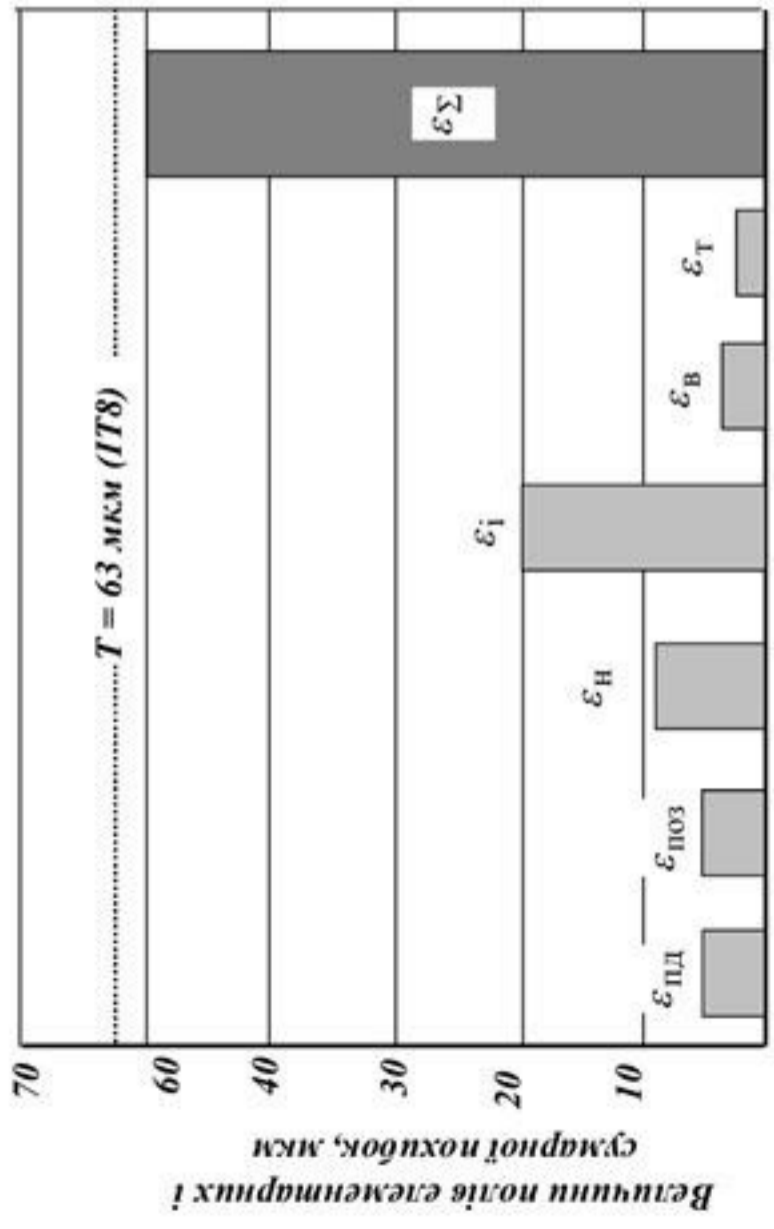
$$\varepsilon_{\text{т}} = 0,15 (\varepsilon_{\text{пд}} + \varepsilon_{\text{н}} + \varepsilon_{\text{поз}} + \varepsilon_i + \varepsilon_{\text{в}}) \text{ [мкм]}. \quad (7)$$

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ І ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ УТОЧНЕННЯ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ЧИСТОВИМ І ТОНКИМ ТОЧННЯМ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

(продовження)

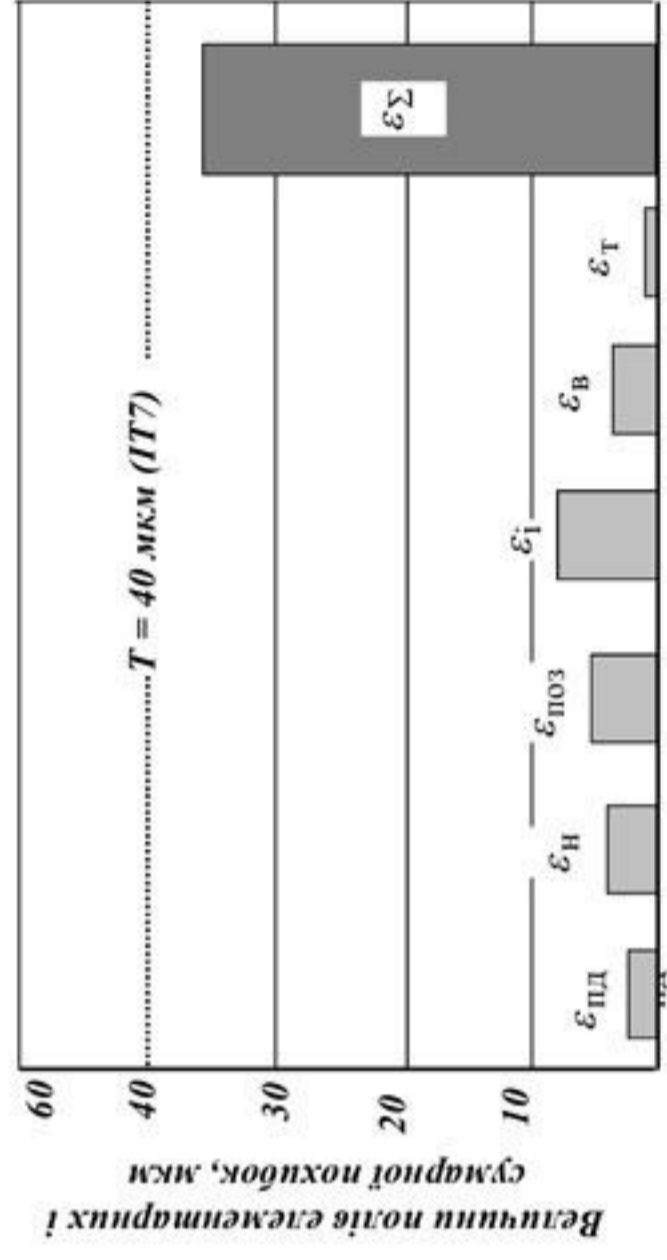
За результатами розрахунків побудовані діаграми величин елементарних і сумарної похибки, що виникають в процесі чистового точіння на верстаті з ЧПК моделі МК6801Ф3 (рис. 2).

Діаграма величин елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають під час тонкого точіння, показана на рис. 3.



Поля елементарних похибок (на радіус)
і сумарної похибки (на діаметр)

Рисунок 2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають в процесі чистового точіння поверхні Ø150 мм



Поля елементарних похибок (на радіус)
і сумарної похибки (на діаметр)

Рисунок 3 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають в процесі тонкого точіння поверхні Ø150 мм

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ І ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ УТОЧНЕННЯ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ЧИСТОВИМ І ТОНКИМ ТОЧІННЯМ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

(продовження)

Висновки

1. На прикладі чистового і тонкого точіння зовнішньої циліндричної поверхні заготовки крупногабаритної деталі, що має форму тіла обертання, виконано аналіз з виявленням елементарних похибок, сумарних похибок і коефіцієнтів уточнення.
2. Показано, що під час точіння зовнішніх циліндричних поверхонь 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, за необхідністю, ця похибка може компенсуватися використанням автоматичної корекції положення вершини різця.
3. Отримані величини коефіцієнтів уточнення для чистового точіння ($K_{у.ч.т.} = 2,66$) і тонкого точіння ($K_{у.т.т.} = 1,80$) узгоджуються із загальноприйнятими.
4. Аналіз показників точності, що забезпечуються тонким точінням на токарному верстаті з ЧПК високої точності, показує, що за розглянутих технологічних умов на переході тонкого точіння може забезпечуватись 7 квалітет точності і 6 ступінь точності форми поверхні.

Техніко-економічне порівняння технологічних процесів механічної обробки

<i>Показники</i>	<i>Базовий технологічний процес</i>	<i>Удосконалений технологічний процес</i>
<i>Програма випуску, шт.</i>	<i>1000</i>	<i>1000</i>
<i>Приведена програма випуску, шт.</i>	<i>9025</i>	<i>9025</i>
<i>Маса деталі, кг</i>	<i>23,5</i>	<i>23,5</i>
<i>Маса заготовки, кг</i>	<i>81,19</i>	<i>53,15</i>
<i>Коефіцієнт використання матеріалу</i>	<i>0,289</i>	<i>0,442</i>
<i>Собівартість виготовлення заготовки, грн.</i>	<i>1077,78</i>	<i>540,76</i>
<i>Кількість операцій механічної обробки</i>	<i>14</i>	<i>6</i>
<i>Кількість верстатів, шт.</i>	<i>9</i>	<i>5</i>
<i>Кількість основних працюючих, чол.</i>	<i>7</i>	<i>5</i>
<i>Основний час обробки, хв.</i>	<i>65,34</i>	<i>40,119</i>
<i>Штучно-калькуляційний час обробки, хв.</i>	<i>82,46</i>	<i>54,575</i>
<i>Виробнича площа ділянки механічної обробки, м²</i>	<i>280</i>	<i>125</i>
<i>Собівартість виготовлення деталі, грн.</i>	<i>1066,61</i>	<i>740,7</i>
<i>Капітальні вкладення, грн.</i>	<i>-</i>	<i>1 512 161,76</i>
<i>Економічний ефект, грн./рік</i>	<i>-</i>	<i>1 215 020,05</i>
<i>Термін окупності, років</i>	<i>-</i>	<i>1,25</i>