

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 П.02.027”»

08-64.МКР.009.00.000 ПЗ

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

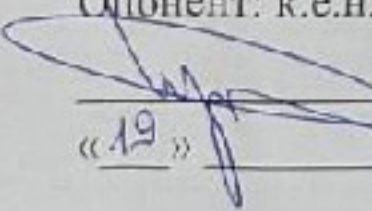
 Ярослав МАЗУРЕНКО

Керівник: к.т.н., професор каф. ТАМ

 Олександр ДЕРІБО

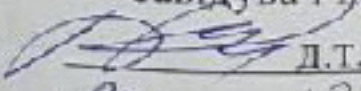
«18» 12 2024 р.

Опонент: к.е.н., доцент каф. АТМ

 Юрій БУРЕННІКОВ

«19» 12 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТАМ

 Л.Т.Н., проф. Леонід КОЗЛОВ
«20» 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

«24» 09 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мазуренку Ярославу Валентиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027»

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

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

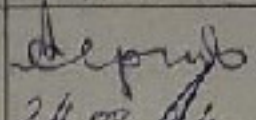
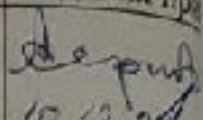
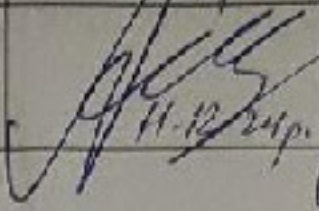
2. Строк подання студентом роботи: 17.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі «Цапфа П.02.027»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 8 000 шт.; довідкова література

4. Зміст текстової частини: анотації, вступ; огляд технології виготовлення деталей типу «Фланець»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Цапфа П.02.027»; вплив геометричних параметрів різця на оптимальні режими різання для чорнового й чистового точіння заготовок сталевих деталей; розрахунок елементів дільниці механічної обробки деталі типу «Цапфа П.02.027»; економічне обґрунтування удосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Цапфа П.02.027»; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
креслення заготовки (А4); маршрут креслення деталі «Цапфа П.02.027» (А2); креслення заготовки (А4); маршрут механічної обробки деталі (3А1); розмірний аналіз технологічного процесу (А1); карта налагоджень (операція 010) (2А1); вплив геометричних параметрів різця на оптимальні режими різання для чорнового й чистового точіння заготовок сталевих деталей (5А1); дільниця механічної обробки (А1); техніко-економічні показники (А1)

6. Консультанти розділів роботи

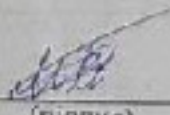
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання при
Спеціальна частина	Олександр ДЕРІБО, професор кафедри ТАМ	 24.03.2024р.	 10.12.2024р.
Економічна частина	Олександр ЛЕСЬКО, завідувач кафедри ЕПВМ	 11.12.2024р.	 11.12.2024р.

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

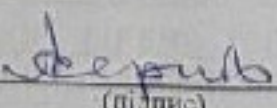
№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Прим.
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	25.10.2024	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	25.10.2024	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	30.10.2024	
4	Розв'язання поставлених задач	20.11.2024	
5	Формулювання висновків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

Студент


(підпис)

Ярослав МАЗУРЕНКО

Керівник роботи


(підпис)

Олександр ДЕРІБО

АНОТАЦІЯ

УДК 621.9

Мазуренко Я. В. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – прикладна механіка, освітня програма – технології машинобудування. Вінниця : ВНТУ, 2024. 135 с.

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

У магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027». У загальній частині роботи проведено огляд технологій виготовлення деталей типу «Фланець», обґрунтована доцільність удосконалення існуючого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027».

В технологічній частині виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Цапфа П.02.027» з використанням верстатів з ЧПК та вибрано кращий з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки; визначено режими різання та технічні норми часу; досліджено вплив геометричних параметрів різця на оптимальні режими різання для чорнового й чистового точіння заготовок сталевих деталей; розраховано приведену програму, кількість обладнання та працівників для удосконаленої ділянки механічної обробки.

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

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

ABSTRACT

Mazurenko Ya. V. Improvement of the technological process of mechanical processing of the workpiece of the «Tsapfa P.02.027» type part. Master's qualification work in specialty 131 – applied mechanics, educational program – mechanical engineering technology. Vinnytsia : VNTU, 2024. 135 p.

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

In the master's qualification work, the technological process of machining a workpiece of the type «Tsapfa P.02.027» was improved. In the general part of the work, a review of the technologies for manufacturing parts of the type «Flange» was conducted, the feasibility of improving the existing technological process of machining a workpiece of the type «Tsapfa P.02.027» was substantiated.

In the technological part, a variant selection and a feasibility study of the method of manufacturing the workpiece were performed; variants of the route for machining a workpiece of the type «Tsapfa P.02.027» were developed using CNC machines and the best one was selected based on the minimum reduced costs; dimensional and precision modeling of the improved technological process of machining was performed; cutting modes and technical time standards were determined; the influence of the geometric parameters of the cutter on the optimal cutting modes for rough and finish turning of steel workpieces was investigated; the reduced program, number of equipment and workers for the improved machining section were calculated.

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

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

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ФЛАНЕЦЬ»	11
1.1 Характеристика об'єкта виробництва, його призначення та технічні умови на виготовлення	11
1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Фланець»	13
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ЦАПФА П.02.027»	18
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі	18
2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт	24
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки	33
2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь	45
2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз	47
2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу	49
2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат	54
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу	60
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів	67
2.10 Призначення режимів різання	73
2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання	79
2.12 Визначення технічних норм часу	80

3 ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗЦЯ НА ОПТИМАЛЬНІ РЕЖИМИ РІЗАННЯ ДЛЯ ЧОРНОВОГО Й ЧИСТОВОГО ТОЧІННЯ ЗАГОТОВОК СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ	84
3.1 Постановка задачі дослідження	84
3.2 Результати дослідження	85
4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ЦАПФА П.02.027»	94
4.1 Розрахунок приведеної програми	94
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження	101
4.3 Побудова графіків завантаження обладнання	106
4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці	107
5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ЦАПФА П.02.027»	110
5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки	110
5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027»	117
5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції	123
5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу	127
5.5 Розрахунок величини чистого прибутку	128
5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення	129
ВИСНОВКИ	132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	134
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної роботи	136
Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина	137

ВСТУП

Актуальність теми. Удосконалення технологічних процесів механічної обробки деталей є одним із важливих напрямків підвищення ефективності сучасного машинобудівного виробництва. Враховуючи зростаючі вимоги до якості, точності та економічності обробки деталей, виникає необхідність розробки і впровадження удосконалених технологічних процесів, що базуються на сучасному обладнанні з числовим програмним керуванням (ЧПК), оптимальних режимах різання та використанні прогресивних методів техніко-економічного обґрунтування.

Деталі типу «Цапфа П.02.027», широко використовуються в конструкціях варіаторів з гідравлічним дистанційним керуванням, які забезпечують високоточне та надійне регулювання передаточного відношення клинопасових передач. Актуальність роботи зумовлена потребою у підвищенні продуктивності, зниженні собівартості виготовлення заготовок та забезпеченні високої точності обробки поверхонь деталі «Цапфа П.02.027», що є критично важливим для функціональних характеристик вузла.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027».

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

- проведення огляду технології виготовлення деталей типу «Фланець»;
- техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки деталі «Цапфа П.02.027»;
- удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027»;
- розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу;
- визначення режимів різання та норм часу;
- дослідження впливу геометричних параметрів різця на оптимальні режими різання для чорнового й чистового точіння заготовок сталевих деталей;

- розрахунок приведеної програми, кількості обладнання та працівників на проектуємій ділянці;

- економічне обґрунтування удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027».

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

Предмет дослідження – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027».

Методи дослідження. Метод теорії розмірних ланцюгів при виконанні розмірно-точнісного моделювання ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027»; метод лінійного програмування (симплекс-метод) при визначенні оптимальних режимів різання.

Наукова новизна одержаних результатів. Методом лінійного програмування досліджено вплив геометричних параметрів різця (радіуса заокруглення вершини різця, головного і допоміжного кутів в плані) та глибини різання на оптимальні значення режимів різання (швидкість різання і подачу) для чорнового і чистового точіння сталевих заготовок «Цапфа П.02.027».

Практичне значення одержаних результатів:

- варіантним вибором встановлено, що найбільш доцільними способами виготовлення заготовки «Цапфа П.02.027» є штампування на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ) та прокат. Техніко-економічні розрахунки показали, що економічно доцільніше виготовляти заготовку на ГКМ, оскільки вартість виготовлення заготовки при цьому складає 40,35 грн., що менше у порівнянні з прокатом – 40,67 грн.;

- розроблено удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027» з використанням високопродуктивних верстатів з ЧПК високої точності; техніко-економічний аналіз показав, що впровадження удосконаленого технологічного процесу в виробництво є економічно доцільним;

- для удосконаленого маршруту механічної обробки розроблено план дільниці; розроблена дільниця механічної обробки містить 7 верстатів, кількість основних робітників, що її обслуговують – 7 чол., кількість допоміжних працівників – 6 чол.

Апробація результатів роботи. Прийнято участь у Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)», (м. Вінниця, ВНТУ, 15 жовтня 2024 р. – 15 червня 2025 р.) Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025>.

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ФЛАНЕЦЬ»

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

Деталь «Цапфа П.02.027» є складовою частиною варіатора з гідравлічним дистанційним керуванням, призначеним для зміни передаточного відношення клинопасової передачі.

Креслення варіатора показано на рисунку 1.1. Використовується в різноманітних технологічних машинах як і стаціонарних так і мобільних у тих випадках, коли необхідно змінювати частоту обертання виконавчого органу в безступінчастому режимі згідно службового призначення конкретної машини.

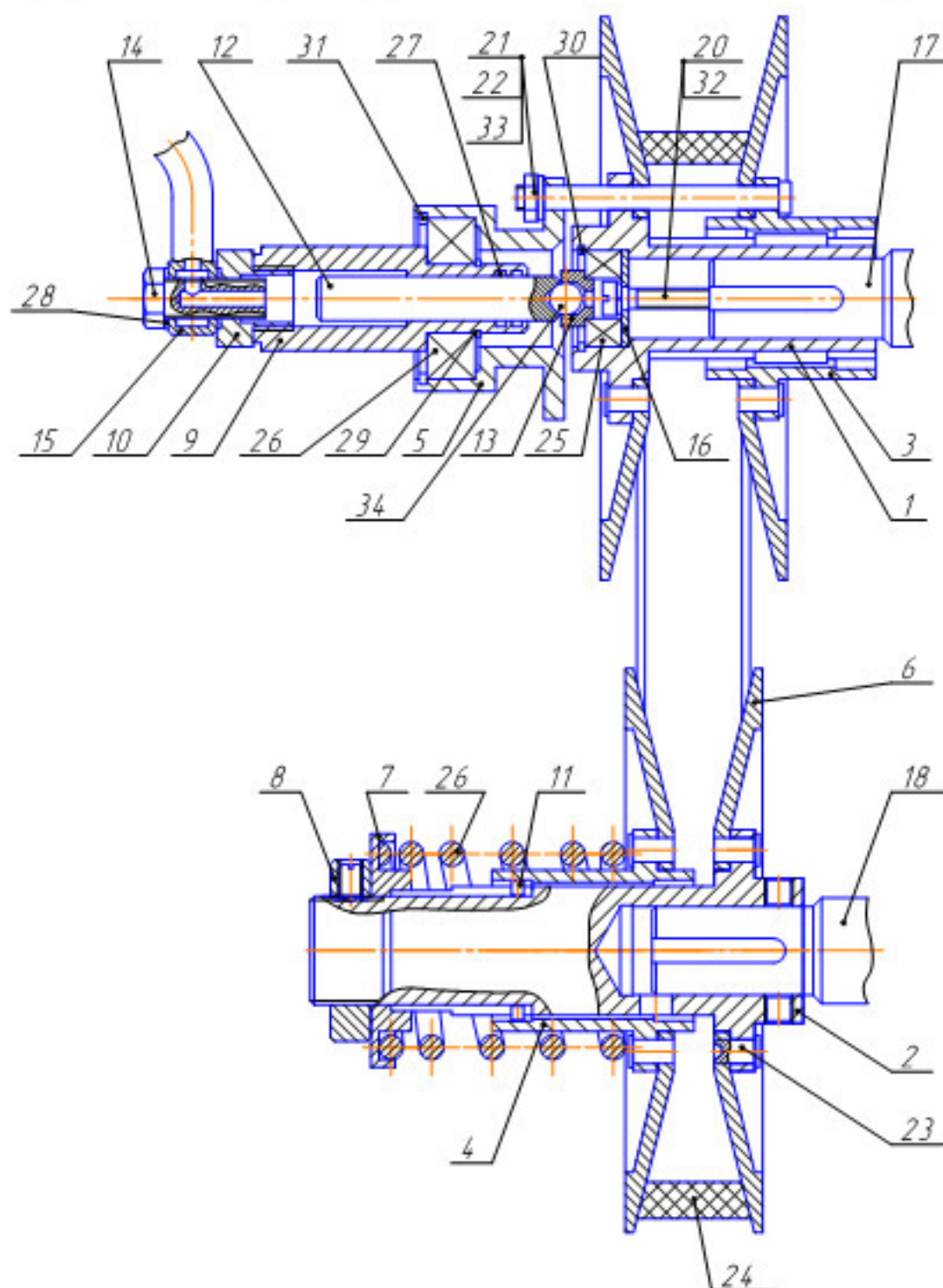


Рисунок 1.1 – Варіатор з гідравлічним дистанційним керуванням

В мобільних використовується в всіх видах транспортних засобів індивідуального призначення – в моторолерах, снігоходах. В стаціонарних машинах варіатори використовуються в харчовій, текстильній, верстатобудівній галузях.

Даний варіатор являє собою клинопасову передачу, з можливістю зміни передаточного відношення. Варіатор передає крутний момент з веденого вала 18 на ведучий вал 17. Управління діаметром обертання шківів на веденому валі здійснюється від гідравлічного приводу. Через гідравлічні лінії подається робоча рідина в патрубок 15, через болт 14 поступає в циліндр 9, де створює тиск необхідної величини. Рідина під тиском діє на шток 12, який впирається в шар 34, що знаходиться в чашці 13 і переміщує циліндр 9 з корпусом 5 в необхідну сторону. До циліндра кріпиться болтами 21 напівшків 6, який при переміщенні корпусу також переміщується в необхідну сторону в залежності від того збільшується чи зменшується тиск в циліндрі. Переміщуючи один з напівшківів змінюють діаметр обертання пасу 24.

Напівшківів на веденому валі кріпляться до фланця 1 та до гільзи 3 трьома болтами 21 та заклепками 23.

Управління діаметром обертання шківів на ведучому валу здійснюється вручну з допомогою контрогайки 8, яка піджимає фіксатор 7 з пружиною 26, яка впирається в гільзу 4, на якій шістьма заклепками прикріплено півшків 6. Переміщуючи контрогайку 8 вправо чи вліво регулюють відстань між напівшківів на ведучому валі. Інший напівшків закріплений на фланцеві-направляючій також заклепками.

Таким чином, регулюючи відстані на ведучому та на веденому валах варіують діаметр півшківів, тобто змінюють передаточне відношення даної передачі.

Об'єктом розгляду є «Цапфа П.02.027». Дана деталь є тілом обертання. Має зовнішню ступінчасту поверхню та внутрішній отвір.

Маса готової деталі становить 0,65 кг. На кресленні вказані такі вимоги:

- співвісність поверхні $\varnothing 22H8(^{+0,033})$ мм відносно поверхні $\varnothing 32h7(-0,025)$ мм;
- позиціювання 6 отворів $\varnothing 6H9$ відносно бази Б;
- радіальне биття зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 40k6$ мм та торця 104 мм відносно бази В.

Отвір $\varnothing 22$ мм має бути оброблений по 8 квалітету із шорсткістю $Ra=1,25$ мкм; поверхня $\varnothing 32$ мм по 7 квалітету із шорсткістю $Ra=0,63$ мкм; поверхня $\varnothing 40$ по квалітету 6 із шорсткістю $Ra=0,63$ мкм; торці 100 мм та 104 мм повині бути оброблені з шорсткістю $Ra=0,63$ мкм.

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

Аналізуючи подібні деталі в даному типі виробництва, можна сказати, що найбільш схожий процес механічної обробки буде для деталі типу «Фланець» або «Втулка» [1-8], так як вона за своєю конфігурацією певною мірою наближається до конфігурації досліджуваної нами деталі. Форма і розміри обраної для порівняння деталі зображені на рис. 1.2.

Вихідні дані для даної заготовки такі: вид заготовки – прокат, матеріал – Сталь 40, число деталей із заготовки – 43.

$$\sqrt{Ra\ 10(\sqrt{I})}$$

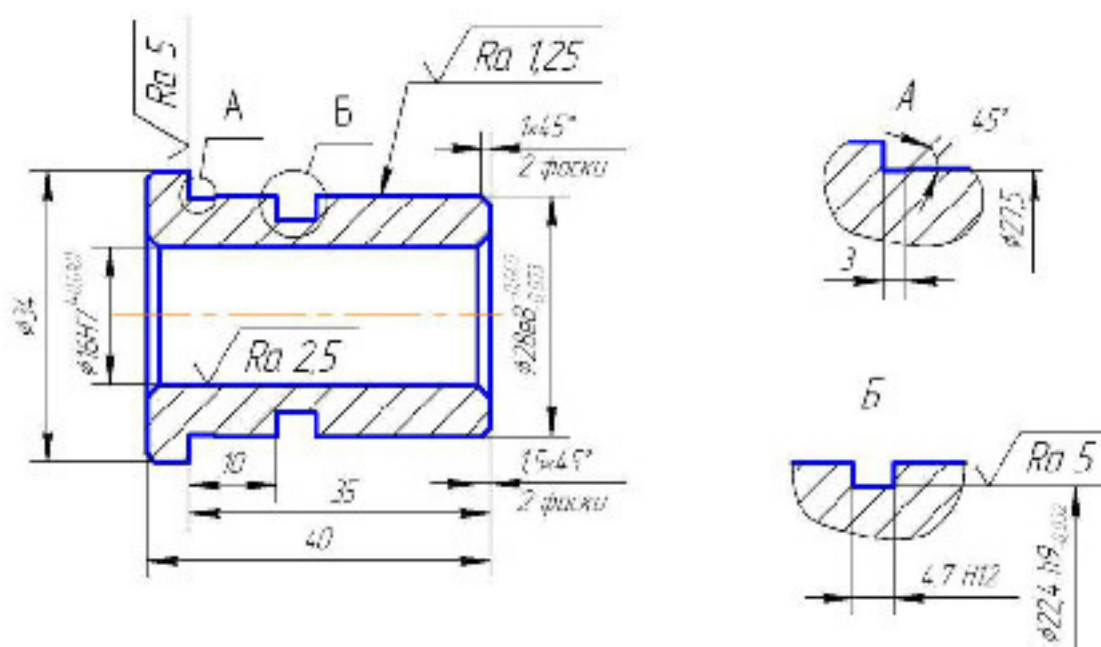


Рисунок 1.2 – Ескіз типової деталі «Втулка»

Таблиця 1.1 – Типовий технологічний процес механічної обробки

Операція	Назва і зміст операції	Верстат, обладнання	Оснащення
005	Правити пруток	Прес І5526	
010	Відрізати групову заготовку Ø68 в розмір 2000	Абразивно-відрізний 8Б242	Підтримуючий пристрій
015	Точити фаски на торцях прутка під кутом 200	Токарний ХС-151	
020	Центрувати торець під свердління, свердлити, зенкерувати отвір Ø16Н7 до Ø15,79+0,11 під розвертування, точити поверхню Ø28e8 до Ø28,4 – 0,13 під шліфування, проточити канавки $b = 3$ і $b = 4,7$ Н12, фаску остаточно. Відрізати деталь в розмір 40,5	Токарний автомат ІЕ140	Накладка
025	Промити деталь	Миюча машина	
030	Повісити бірку з номером деталі на тару		
035	Підрізати другий торець в розмір 40, точити і розточити фаски. Розвернути отвір	Токарно-револьверний ІП340ПЦ	Патрон цанговий, вкладиш Ø28
040	Ø16Н7(+0,018) остаточно Шліфувати поверхню 28e8 з підшліфовкою торця остаточно	Круглошліфувальний 3М153Е	Оправка, центри, хумутік, прибор активного прибору
045	Промити деталь	Миюча машина	
050	Технічний контроль	Плита по ГОСТ 10905-75	
055	Нанесення покриття		

За параметрами точності, шорсткості та виконавчих поверхнях деталі на рисунку 1.3 та деталь «Цапфа П.02.027» схожі, тобто якість оброблюваних поверхонь практично однакова, а це означає, що способи обробки будуть схожі. Отже, можна зробити висновок, що маршрут механічної обробки вище запропонованої деталі та досліджуваної нами будуть схожі за принципом

побудови, однак різними за характером необхідних позначень та кількістю переходів.

Враховуючи конструктивні особливості деталі «Цапфа П.02.027», вимоги до точності та шорсткості поверхонь, вимоги до взаємного розташування та орієнтовану серійність виробництва, наведемо існуючий варіант технологічного процесу механічної обробки в таблиці 1.2, орієнтуючись на номери поверхонь, які вказані на рис. 1.3.

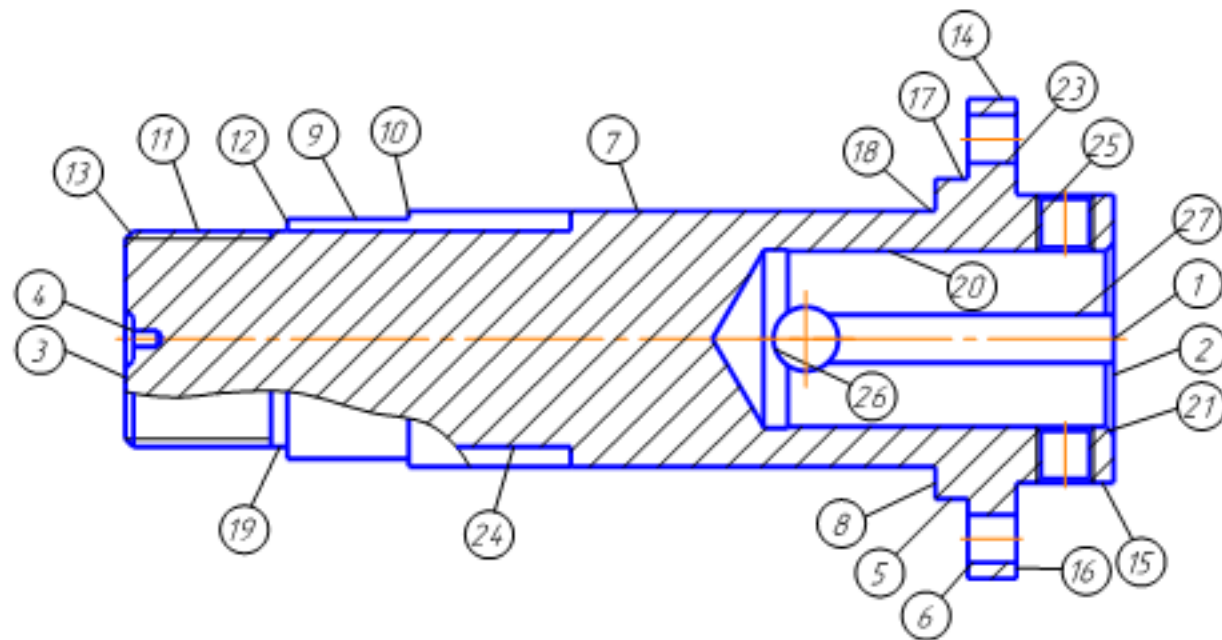


Рисунок 1.3 – Позиції поверхонь «Цапфа П.02.027»

Таблиця 1.2 – Базовий варіант технологічного процесу

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Верстат
1	2	3
005	<u>Фрезерно-центрувальна</u> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Фрезерувати торці 1 і 3 однократно. 4. Свердлити центрувальні отвори 2 і 4 однократно. 5. Зняти заготовку.	Фрезерно-центрувальний МР73М
010	<u>Токарна</u> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити поверхні 5, 6 попередньо. 3. Точити поверхні 7, 8 попередньо. 4. Точити поверхні 9, 10 однократно. 5. Точити поверхні 11, 12 однократно. 6. Точити фаску 13 однократно. 8. Точити канавку 19. 9. Нарізати різь на поверхні 11. 10. Зняти заготовку.	Токарно-гвинторізний 16К20

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
015	<u>Токарна</u> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити поверхню 14 однократно. 3. Точити поверхні 15, 16 однократно. 4. Свердли́ти отвір 20. 5. Розточити отвір 20 однократно. 6. Зенкувати фаску 21 однократно. 7. Точити канавку 22 однократно. 8. Зняти заготовку.	Токарно-гвинторі́зний 16K20
020	<u>Вертикально-свердлильна з ЧПК</u> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Центрувати 6 отворів 23. 3. Свердли́ти 6 отворів 23. 4. Зенкерувати 6 отворів 23 однократно. 5. Зняти заготовку.	Вертикально-свердлильний з ЧПК 2P135Ф3
025	<u>Вертикально-свердлильна з ЧПК</u> Пози́ція 1: 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Центрувати отвір 25. 3. Свердли́ти отвір 25. 3. Нарі́зати різь в отворі 25. 4. Поверну́ти заготовку на 180^0 . Пози́ція 2: 5. Центрувати отвір 25. 6. Свердли́ти отвір 25. 7. Нарі́зати різь в отворі 25. 8. Поверну́ти заготовку на 90^0 . Пози́ція 3: 9. Центрувати отвір 26. 10. Свердли́ти отвір 26. 11. Зняти заготовку.	Вертикально-свердлильний з ЧПК 2P135Ф3
030	<u>Вертикально-фрезерна</u> Пози́ція 1: 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Фрезерувати паз 24. 3. Поверну́ти заготовку на 180^0 . Пози́ція 2: 4. Фрезерувати паз 24. 5. Зняти заготовку.	Вертикально-фрезерний 6P12

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
035	<u>Довбальна</u> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Довбати паз 27. 3. Зняти заготовку.	Довбальний 7402
040	<u>Термічна обробка</u>	
045	<u>Шліфувальна</u> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Шліфувати поверхні 5, 6 однократно. 3. Шліфувати поверхні 7, 8 однократно. 4. Зняти заготовку.	Торцекруглошкіфувальний ОШ-650Ф3
050	<u>Внутрішньо-шліфувальна</u> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Шліфувати поверхню 20 однократно. 3. Зняти заготовку.	Внутрішньо-шліфувальний 3K225B

Порівняння двох наведених варіантів вказують, що вони мають і позитивні і негативні сторони. Перший варіант маршруту механічної обробки розроблений для серійного та великосерійного виробництва, оскільки використовується токарний автомат, що є недоцільно при дрібносерійному виробництві. Також використовуються універсальні верстати, що також є негативним, оскільки для обробки кожної поверхні необхідно переустановити деталь на відповідну операцію, що потребує великих затрат часу, значно погіршує продуктивність обробки деталей, потребує також робітників високої кваліфікації і також підвищує собівартість готової деталі. Базовий варіант маршруту побудований з використанням в основному універсальних верстатів. Дана послідовність обробки поверхонь підходить для подальшої розробки модернізованого процесу.

поверхня – циліндричний отвір, що має шпонковий паз в який встановлюється шпонка на вал для передачі крутного моменту. Шість отворів $\varnothing 6H9$ служать для закріплення однієї половини шків на валу. По поверхні $\varnothing 32h7$ переміщується втулка на якій закріплена друга половина шків на валу. Втулка має два пальці, які переміщуються по напрямних, якими служать два паза $6H8$ на зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 32h7$. З допомогою гайки, яка кріпиться на різьбову поверхню $M27$ регулюється відстань між півшківками.

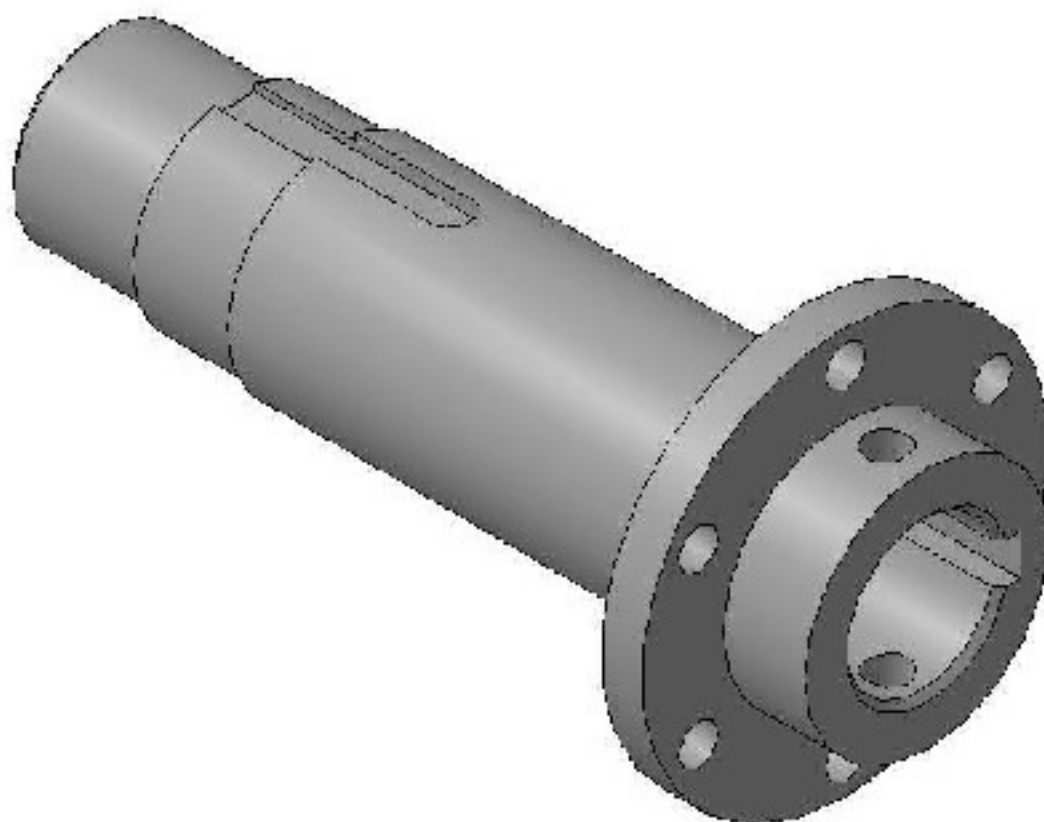


Рисунок 2.2 – 3D-модель деталі «Цапфа П.02.027»

Аналіз робочого креслення деталі показав, що виконавчими поверхнями деталі є зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 32h7$; $\varnothing 40k6$ та 2 паза $6H8$ на зовнішній циліндричній поверхні.

Основні конструкторські бази деталі – це внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 22H8$ та шпонковий паз $6H8$, що слугує для правильної орієнтації у вузлі.

Допоміжні конструкторські бази деталі – це $M27 \times 1,52-6g$, $M6-6H$, кріпильні отвори $\varnothing 6H12$.

Вільна поверхня – торець лівий $M27 \times 1,52-6g$, торець правий $\varnothing 60$, отвір $\varnothing 8$.

У відповідності з призначенням поверхонь до них ставляться такі вимоги: найбільш точними є виконавчі, основні та допоміжні конструкторські бази (діаметральні розміри). До них виконавчих поверхонь ставиться вимога обробки по 6, 7 та 8 квалітетах з шорсткістю $R_a = 0,63$ мкм ($\varnothing 40k6^{(+0,018}_{+0,002})$, $\varnothing 32h7_{(-0,025)}$, $6H8^{(+0,022)}$ та лівий торець $\varnothing 60$).

До основних конструкторських баз деталі ставляться такі вимоги: до внутрішньої циліндричної поверхні $\varnothing 22H8$ – обробка по 8 квалітету з шорсткістю $R_a = 1,25$ мкм, та шпонкового пазу $6H8$ – обробка по 8 квалітету.

Інші поверхні, що слугують допоміжними конструкторськими базами повинні бути оброблені згідно 12 квалітета з шорсткістю $R_a = 6,3$ мкм.

Повині забезпечуватися вимоги радіального биття лівого торцю зі сторони $\varnothing 60$ та зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 40k6$ відносно бази В.

Поставлені вимоги щодо взаємного розміщення поверхонь:

- співвісність поверхні $\varnothing 22H8$ відносно бази В;
- позиційний допуск отворів $\varnothing 6$ до бази Б.

2.1.2 Кількісний аналіз технологічності деталі

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів [1, 9]:

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

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

При $1 \geq K_y \geq 0,6$ деталі відносяться до технологічних.

Дані розрахунку заносимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Дані для розрахунку коефіцієнта уніфікації

Лінійні		Діаметральні		Радіуси		Різьбові		Кутові		Шорсткість	
уніф.	неуні-фік.	уніф.	неуні-фік.	уніф.	неуні-фік.	уніф.	неуні-фік.	уніф.	неуні-фік.	уніф.	неуні-фік.
18		32									
20	122	30									
100	104	22									
12	13,8	40		0,25						0,63-	
2	44	60	22,5	1-2шт.		27		60°-		4шт.	
38	35-	36	39,5	0,5-		6-	1,5	2шт.		1,25	
3-3шт.	2шт.	30	31,5	6шт.		2шт.		45°-		1,6-	
1-2шт.	13,5-	6-		0,3				6шт.		6шт.	
6-4шт.	2шт.	7шт.									
0,3-2шт.		25									
1,5-2шт.		50									
Σ19	Σ8	Σ16	Σ3	Σ10	0	Σ3	1	Σ8	0	Σ11	0
Σ27		Σ19		Σ10		Σ4		Σ8		Σ11	

$$K_y = \frac{Q_{ye}}{Q_e} = \frac{19 + 16 + 10 + 3 + 8 + 11}{27 + 19 + 10 + 4 + 8 + 11} = 0,85 ;$$

$1 > 0,85 > 0,6$ – отже, деталь технологічна.

Коефіцієнти точності обробки [1, 9]:

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

де T_{cp} – середній квалітет точності, обчислюється по формулі:

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

Для обчислення коефіцієнта точності потрібно підрахувати всі розміри та їхні квалітети точності і значення занести в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Дані для розрахунку коефіцієнта точності обробки

Квалітет	Розміри	Кількість пов-нь	Розрахунки
6	Ø40K6; M27x1,5-6g; M6-6H – 2шт.;	4	6·4 = 24
7	Ø32h7	1	7·1 = 7
8	Ø22H8; 6H8 – 3шт.	4	8·4 = 32
9	Ø6H9 – 6шт.	6	9·6 = 54
12	Ø30; Ø60; Ø36; Ø50; Ø25; Ø22,5; Ø8; 6; Ø31,5; Ø39,5; R0,25; R0,5 – 6шт.; 1 -2шт.; 13,5 – 2шт.; 35 – 2шт.; 122; 12; 104; 13,8; R0,3; R1 – 2шт.; 44; 104; 3 – 3шт.; 1,5 – 2шт.; 18; 20; 100	40	12·40 = 480
		$\Sigma n_i = 55$	$\Sigma T_i n = 597$

Знайдемо середній квалітет точності:

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{597}{55} = 10,9 .$$

Тоді коефіцієнт точності становитиме:

$$K_T = 1 - \frac{1}{10,9} = 0,91 .$$

При $K_T = 0,91 \geq 0,8$ деталі відносяться до технологічних.

Коефіцієнт шорсткості [1, 9]:

$$K_m = \frac{1}{\text{Ш}_{\text{ср}}} , \quad (2.4)$$

де $\text{Ш}_{\text{ср}}$ – середній клас шорсткості, який складає:

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{2,52 + 1,25 + 9,6 + 270,9}{4 + 1 + 6 + 43} = \frac{284,27}{54} = 5,26 .$$

Дані розрахунку коефіцієнта шорсткості заносимо в таблицю 2.3.

Визначимо коефіцієнт шорсткості:

$$K_{ш} = \frac{1}{5,26} = 0,19 .$$

При $K_{ш} = 0,19 \leq 0,32$ деталі відносяться до технологічних.

Таблиця 2.3 – Дані для визначення коефіцієнта шорсткості

Шорсткість Ra, мкм	Кількість поверхонь	Розрахунок
1	2	3
0,63 (циліндричні пов. Ø32h7; Ø40K6; торці – 2 пов.)	4	$0,63 \cdot 4 = 2,52$
1,25 (циліндрична пов. Ø22H8)	1	$1,25 \cdot 1 = 1,25$
1,6 (циліндричні пов. Ø6H10 – 6 пов.)	6	$1,6 \cdot 6 = 9,6$
6,3 (циліндричні пов. Ø30; Ø36; Ø60; Ø6; M27x1,5-6g; M6-6H-2пов.; торці – 6 пов.; фаски – 2 пов.; пази – 12 пов.; канавки – 16 пов.)	43	$6,3 \cdot 43 = 270,9$
	$\sum n_i = 54$	$\sum Ш_i n = 284,27$

Отже, за кількісними показниками деталь технологічна.

2.2 Попереднє визначення типу виробництва та форми організації роботи

Визначення типу виробництва виконується за коефіцієнтом закріплення операцій [9]:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i}, \quad (2.5)$$

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

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

Вибір найбільш характерних переходів механічної обробки:

- точити $\varnothing 32h7$ попередньо;
- точити $\varnothing 32h7$ остаточно;
- шліфувати $\varnothing 32h7$;
- свердлити отвір $\varnothing 22H8$ глибиною 44;
- шліфувати $\varnothing 22H8$;
- нарізати різь на валу $M27 \times 1,5g$.

Розрахунок основного та штучно-калькуляційного часу на призначені переходи за формулами наближеного нормування.

Оскільки при визначенні $T_{шт-к}$ та C_p необхідно вибирати φ_k та $\eta_{з.н}$ орієнтуючись на тип виробництва, то його попереднє визначення можна виконати за рекомендаціями [9] – середньосерійне.

Норми часу $T_{осн}$ необхідного для обробки вказаних поверхонь визначається за наближеними формулами.

- Точіння $\varnothing 32h7$ попереднє:

$$T_{осн1} = 0,17 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 32 \cdot 65 \cdot 10^{-3} = 0,354 \text{ (хв)}.$$

- Точіння $\varnothing 32h7$ остаточно:

$$T_{\text{осн } 2} = 0,12 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,12 \cdot 32 \cdot 65 \cdot 10^{-3} = 0,416 \text{ (хв)}.$$

- Шліфування $\varnothing 32\text{h}7$:

$$T_{\text{осн } 3} = 0,15 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,15 \cdot 32 \cdot 65 \cdot 10^{-3} = 0,312 \text{ (хв)}.$$

- Свердління отвору $\varnothing 22\text{H}8$:

$$T_{\text{осн } 4} = 0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 22 \cdot 44 \cdot 10^{-3} = 0,5 \text{ (хв)}.$$

- Шліфування отвору $\varnothing 22\text{H}8$:

$$T_{\text{осн } 5} = 1,8 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 1,8 \cdot 22 \cdot 44 \cdot 10^{-3} = 1,74 \text{ (хв)}.$$

- Нарізання різі M27x1,5g:

$$T_{\text{осн } 6} = 1,9 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 1,9 \cdot 27 \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 0,923 \text{ (хв)}.$$

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

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{осн}} \cdot \varphi, \text{ [хв]} \quad (2.6)$$

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

При програмі випуску $N = 8000$ шт і масі деталі – 0,65 кг – згідно [1, 9]:

$\varphi_{k1} = \varphi_{k2} = \varphi_{k4} = \varphi_{k5} = 2,14$ – токарні верстати;

$\varphi_{k3} = \varphi_{k6} = 2,1$ – шліфувальні верстати;

$\varphi_{k7} = 1,72$ – вертикально-свердлильні верстати.

- Точіння $\varnothing 32h7$ попереднє:

$$T_{\text{шт-к1}} = T_{\text{осн1}} \cdot \varphi_{\text{к1}} = 0,354 \cdot 2,14 = 0,758 \text{ (хв)}.$$

- Точіння $\varnothing 32h7$ остаточне:

$$T_{\text{шт-к2}} = T_{\text{осн2}} \cdot \varphi_{\text{к2}} = 0,416 \cdot 2,14 = 0,89 \text{ (хв)}.$$

- Шліфування $\varnothing 32h7$ остаточне:

$$T_{\text{шт-к3}} = T_{\text{осн3}} \cdot \varphi_{\text{к3}} = 0,312 \cdot 2,1 = 0,655 \text{ (хв)}.$$

- Свердління отвору $\varnothing 22H8$:

$$T_{\text{шт-к4}} = T_{\text{осн4}} \cdot \varphi_{\text{к4}} = 0,5 \cdot 2,14 = 1,07 \text{ (хв)}.$$

- Шліфування отвору $\varnothing 22H8$

$$T_{\text{шт-к5}} = T_{\text{осн5}} \cdot \varphi_{\text{к5}} = 1,74 \cdot 2,1 = 3,654 \text{ (хв)}.$$

- Нарізання різі M27x1,5g:

$$T_{\text{шт-к6}} = T_{\text{осн6}} \cdot \varphi_{\text{к6}} = 0,923 \cdot 2,14 = 1,98 \text{ (хв)}.$$

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

$$C_{\text{pi}} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-кi}}}{60 F_d \cdot \eta_{\text{т.п.}}}, \quad (2.7)$$

де N – річна програма, шт. ($N = 8000$ шт.);

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

F_{δ} – дійсний річний фонд часу, в даному випадку $F_{\delta} = 3890$ год при використанні металорізальних верстатів з ЧПК масою до 10 т при виробництві в 2 зміни, при використанні універсальних верстатів $F_{\delta} = 4060$ год [9];

$\eta_{\text{з.н}}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання, $\eta_{\text{з.н}}$ приймається від 0,75 до 0,85 – для серійного типу виробництва, приймаємо $\eta_{\text{з.н}} = 0,8$ [1, 9].

- Точіння $\varnothing 32\text{h}7$ попереднє:

$$C_{p1} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к.1}}}{60 F_{\delta} \cdot \eta_{\text{з.н}}} = \frac{8000 \cdot 0,758}{60 \cdot 3890 \cdot 0,8} = 0,032 ;$$

- точіння $\varnothing 32\text{h}7$ остаточне:

$$C_{p2} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к.2}}}{60 F_{\delta} \cdot \eta_{\text{з.н}}} = \frac{8000 \cdot 0,89}{60 \cdot 3890 \cdot 0,8} = 0,04 ;$$

- шліфування $\varnothing 32\text{h}7$ остаточне:

$$C_{p3} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к.3}}}{60 F_{\delta} \cdot \eta_{\text{з.н}}} = \frac{8000 \cdot 0,655}{60 \cdot 3890 \cdot 0,8} = 0,028 ;$$

- свердління отвору $\varnothing 22\text{H}8$:

$$C_{p4} = \frac{N \cdot T_{\text{шт-к.4}}}{60 F_{\delta} \cdot \eta_{\text{з.н}}} = \frac{8000 \cdot 1,7}{60 \cdot 3890 \cdot 0,8} = 0,06 ;$$

- шліфування отвору $\varnothing 22\text{H}8$

$$C_{p5} = \frac{N \cdot T_{\text{мех. п. 5}}}{60 F_{\phi} \cdot \eta_{\text{з.м.}}} = \frac{8000 \cdot 3,654}{60 \cdot 4060 \cdot 0,8} = 0,15 ;$$

- нарізання різі M27x1,5g:

$$C_{p6} = \frac{N \cdot T_{\text{мех. п. 6}}}{60 F_{\phi} \cdot \eta_{\text{з.м.}}} = \frac{8000 \cdot 1,98}{60 \cdot 3890 \cdot 0,8} = 0,084 .$$

Розрахунок коефіцієнтів.

Для виконання кожного з механічних переходів достатньо одного верстата:

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

Коефіцієнт завантаження фактичний визначається за формулою:

$$\eta_{\text{з.ф.}} = \frac{C_p}{P}, \quad (2.8)$$

де P – прийняте число робочих місць.

- Точіння Ø32h7 попереднє:

$$\eta_{\text{з.ф.1}} = \frac{C_{p1}}{P_1} = \frac{0,032}{1} = 0,032 ;$$

- точіння Ø32h7 остаточне:

$$\eta_{\text{з.ф.2}} = \frac{C_{p2}}{P_2} = \frac{0,04}{1} = 0,04 ;$$

- шліфування Ø32h7 остаточне:

$$\eta_{\text{з.ф.3}} = \frac{C_{\text{p3}}}{P_3} = \frac{0,028}{1} = 0,028 ;$$

- свердління отвору Ø22H8:

$$\eta_{\text{з.ф.4}} = \frac{C_{\text{p4}}}{P_4} = \frac{0,06}{1} = 0,06 ;$$

- шліфування отвору Ø22H8

$$\eta_{\text{з.ф.5}} = \frac{C_{\text{p5}}}{P_5} = \frac{0,15}{1} = 0,15 ;$$

- нарізання різі M27x1,5g:

$$\eta_{\text{з.ф.6}} = \frac{C_{\text{p6}}}{P_6} = \frac{0,084}{1} = 0,084 .$$

Кількість операцій закріплених за кожним робочим місцем визначається за формулою:

$$O_i = \frac{\eta_{\text{з.н}}}{\eta_{\text{з.ф.i}}} . \quad (2.9)$$

- Точіння Ø32h7 попереднє:

$$O_1 = \frac{\eta_{\text{з.н}}}{\eta_{\text{з.ф.1}}} = \frac{0,8}{0,032} = 25 \rightarrow 25 ;$$

- точіння Ø32h7 остаточне:

$$O_2 = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{з.ф.2}} = \frac{0,8}{0,04} = 20 \rightarrow 20 ;$$

- шліфування $\varnothing 32h7$ остаточне:

$$O_3 = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{з.ф.3}} = \frac{0,8}{0,028} = 20,57 \rightarrow 21 ;$$

- свердління отвору $\varnothing 22H8$:

$$O_4 = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{з.ф.4}} = \frac{0,8}{0,06} = 13,3 \rightarrow 14 ;$$

- шліфування отвору $\varnothing 22H8$

$$O_5 = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{з.ф.5}} = \frac{0,8}{0,15} = 5,33 \rightarrow 6 ;$$

- нарізання різі M27x1,5g:

$$O_6 = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{з.ф.6}} = \frac{0,8}{0,084} = 9,52 \rightarrow 10 .$$

Розрахунки доцільно оформити у вигляді таблиці 2.4.

Таким чином, коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i} = \frac{25 + 20 + 21 + 14 + 6 + 10}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1} = 16 ; \quad (2.10)$$

$10 < K_{з.о.} = 16 < 20$ – виробництво середньосерійне.

Таблиця 2.4 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій

Переходи механічної обробки	Формула та розрахунок $T_{\text{опт}} \cdot 10^{-3}$, хв	φ_K	$T_{\text{шт-к}}$, хв	C_p , шт.	P , шт.	$\eta_{\text{з.ф}}$	$\eta_{\text{з.н}}$	О, шт.
точити $\varnothing 32\text{h7}$ попередньо	$0,17 \cdot d \cdot l = 0,354$	2,14	0,758	0,032	1	0,032	0,8	25
точити $\varnothing 32\text{h7}$ остаточно	$0,12 \cdot d \cdot l = 0,416$	2,14	0,89	0,04	1	0,04	0,8	20
шліфувати $\varnothing 32\text{h7}$ остаточно	$0,15 \cdot d \cdot l = 0,312$	2,1	0,655	0,028	1	0,028	0,8	21
свердлити отвір $\varnothing 22\text{H8}$	$0,52 \cdot d \cdot l = 0,5$	2,14	1,07	0,06	1	0,06	0,8	14
шліфувати отвір $\varnothing 22\text{H8}$	$1,8 \cdot d \cdot l = 1,74$	2,1	3,654	0,15	1	0,15	0,8	6
нарізати різь $27 \times 1,5\text{g}$	$1,9 \cdot d \cdot l = 0,923$	2,14	1,98	0,084	1	0,084	0,8	10

Форма організації роботи [9].

Визначення добового випуску виробів:

$$N_d = \frac{N}{254} = \frac{8000}{254} = 31,49 \rightarrow 32 \text{ (шт)}, \quad (2.11)$$

де 254 кількість робочих днів в році;

$$Q_d = \frac{F_d}{T_{\text{шт-к}}} \cdot \eta_z = \frac{3890}{1,5} \cdot 0,8 = 2593,3 \rightarrow 2594 \text{ (шт)}, \quad (2.12)$$

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

η_z – добовий коефіцієнт завантаження потокової лінії;

F_d – ефективний річний фонд часу.

$$T_{шт-к-ср} = \frac{\sum T_{шт-к}}{\sum n_i} = \frac{0,758 + 0,89 + 0,655 + 1,07 + 3,654 + 1,98}{6} = 1,5 ,$$

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

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

Так як $N_d < Q_d$, то організація потової лінії недоцільна.

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

$$n = \frac{N \cdot a}{254} = \frac{8000 \cdot 6}{254} = 188,97 \rightarrow 189 \text{ (шт.)} \quad (2.13)$$

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

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

$$C = \frac{T_{шт-к-ср} \cdot n}{476 \cdot 0,8} = \frac{1,5 \cdot 189}{476 \cdot 0,8} = 0,74 . \quad (2.14)$$

$C_{пр} = 1$ зміна.

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

$$n = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot C_{пр}}{T_{шт-к-ср}} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot 1}{1,5} = 253,86 \rightarrow 254 \text{ (шт.)} \quad (2.15)$$

Приймаємо кількість деталей у партії 254 шт.

Висновок. Отже, тип виробництва – середньосерійний, форма організації роботи – групова, при цьому розмір мінімальної партії виробів складає 254 шт.

2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

2.3.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки

Враховуючи матеріал і форму деталі та програму випуску можна зробити висновок, що заготовку доцільно отримувати штампуванням, але так як форма деталі наближена до валу, то виготовлення деталі з прокату також є можливим. Можливі такі способи виготовлення деталі [10-12]:

- гаряча штамповка на молотах;
- прокат;
- штамповка видавлюванням на гідравлічних пресах;
- штамповка на горизонтально-кувальних машинах.

Проаналізувавши різні способи отримання заготовок, якісні та кількісні їхні характеристики і врахувавши серійність деталі, її форму, обираємо такі способи отримання поковки: на горизонтально-кувальних машинах і прокат, оскільки деталь має наближену конфігурацію до круглого прокату.

Штамповка на горизонтально-кувальних машинах забезпечить можливість отримання високої точності розмірів, але вона потребує більших затрат часу і коштів на виготовлення штампу. Прокат має не високу точність форми та розмірів, якість поверхні заготовок, проте він є найдешевшим і тому дозволяє заощадити значні кошти.

2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки для двох способів її виготовлення

Призначення припусків на механічну обробку та розрахунок граничних розмірів заготовки.

Вибір вихідних параметрів заготовки, що характеризують її точність і складність.

- Клас точності Т вибирається в залежності від обладнання і типу виробництва. Враховуючи, що деформувальне обладнання ГKM вибираємо за [10] клас точності – Т4-Т5. Обираємо Т5, оскільки виробництво серійне.

- Група сталі М призначається по заданому матеріалу деталі і кількості легуючих елементів. Оскільки, сталь 40Х – сталь з масовою часткою вуглецю 0,35-0,65, включає леговані елементи, то група сталі М2.

- Ступінь складності призначається в залежності від співвідношення маси поковки, яка рахується попередньо, і маси найменшої простої геометричної фігури, яка описує деталь. Цією фігурою є циліндр, розміри якого дорівнюють габаритним розмірам деталі.

Визначимо масу фігури:

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2 \cdot h_{\phi}}{4} \rho = \frac{3,14 \cdot 63^2 \cdot 128,1 \cdot 10^{-3}}{4} \cdot 7,825 = 3,12 \text{ (кг)}.$$

де ρ – густина сталі 40Х, беремо з розрахунків МЦХ (механо-центричні характеристики) на ЕОМ.

D_{ϕ} – діаметр деталі збільшений в 1,05 рази:

$$D_{\phi} = D_o \cdot 1,05 = 60 \cdot 1,05 = 63 \text{ (мм)},$$

H_{ϕ} – довжина деталі збільшена в 1,05 рази:

$$h_{\phi} = h_o \cdot 1,05 = 122 \cdot 1,05 = 128,1 \text{ (мм)}, \quad (2.16)$$

Масу поковки обчислюємо за формулою:

$$m_n = m_d \cdot K_p = 0,69 \cdot 1,45 = 1,0005 \text{ (кг)},$$

де m_n – маса поковки;

K_p – коефіцієнт для визначення орієнтованої розрахункової маси штампованої заготовки (поковки). Визначається за [10] в залежності від

характеристики деталі. Оскільки дана деталь подовженої форми з прямою віссю, то K_p в межах 1,3...1,6, а як виробництво дрібносерійне, то приймаю $K_p = 1,45$.

m_d – маса деталі;

$$\frac{m_v}{m_\phi} = \frac{1,0005}{3,12} = 0,321.$$

Призначаємо ступінь складності С2, оскільки наведене вище відношення знаходиться в межах 0,32...0,63.

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

- Вихідний індекс – визначається в залежності від маси, марки сталі, ступеня складності та класу точності ковки, необхідний для наступного призначення основних припусків, допусків та допустимих відхилень. Його визначаємо за [10]. В даному випадку індекс рівний 12.

Основні припуски вибираються в залежності від розміру, шорсткості та індексу, причому якщо розмір пов'язує поверхні з різними шорсткостями, то необхідно на ці поверхні призначити різні припуски за [10]. Враховуючи вище вибраний індекс 12 вибираємо:

1,8 – довжина 122 і шорсткість поверхні 6,3;

1,7 – діаметр 60 і шорсткість поверхні 6,3;

1,7 – довжина 100 і шорсткість поверхні 6,3;

1,8 – діаметр 32 і шорсткість поверхні 0,63.

Всі отримані параметри заготовки заносимо в таблицю 2.7.

Додаткові припуски призначаються для врахування:

- зміщення по площині роз'єму штампа. Залежить від класу точності, конфігурації поверхні та маси заготовки [10]. Площини роз'єму плоскі – припуск складає 0,3. Впливає на всі розміри.

- врахування вигнутості, відхилення від прямолінійності та площинності [10] залежить від класу точності та найбільшого габаритного розміру.

Враховуючи, що найбільший габаритний розмір 122, клас точності Т5, вибираємо – припуск 0,5.

Діаметр $32 + (1,8 + 0,3 + 0,5) \cdot 2 = 37,2$, приймаємо $\varnothing 37,5$ мм;

Таблиця 2.7 – Розміри штампованої заготовки

Вхідні дані (норми точності)	Штамповка на ГKM			
	Згідно з ГОСТ7505-83	Прийнято		
Клас точності	T4 – T5	T5		
Марка матеріалу	M2	M2		
Ступінь складності	C2	C2		
Конфігурація поверхні роз'єму штампа	П	П		
Індекс	12	12		
Розрахункові розміри, мм				
Припуски:	122	Ø60	100	Ø32
Основні:	1,8	1,7	1,7	1,8
Додаткові: на зміщення по поверхні роз'єму штампа, мм	0,3	0,3	0,3	0,3
для врахування вигнутості і відхилення від площин., прямолін., мм	0,5			
	Розміри заготовок, мм			
	127,2	Ø65	100	Ø37,2
Допуски: розмірів	2,5 ^{+1,6} _{-0,9}	2,2 ^{+1,4} _{-0,8}	2,2 ^{+1,4} _{-0,8}	2 ^{+1,3} _{-0,7}
на зміщення по поверхні роз'єму штампа, мм	0,6			
від вигнутості і прямолінійності, мм	1			
радіусів заокруглень	2			
величини залишкового облою, мм	0,8			
Висота облою, мм	3			

При розрахунку розмірів заготовки основні і додаткові припуски сумуються:

- діаметр $60 + (1,7 + 0,3 + 0,5) \cdot 2 = 65$, приймаємо $\varnothing 65$ мм;

- довжина $122 + (1,8 + 0,5 + 0,3) \cdot 2 = 127,2$, приймаємо 127 мм;

На розмір 100 припуск додається і віднімається, тому:

- довжина $100 + (1,7 + 0,5 + 0,3) - (1,7 + 0,5) = 100$ (мм).

Вибиремо допуски для розмірів заготовки.

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

Визначаємо допуски враховуючи, що індекс рівний 12.

- Допуск зміщення по поверхні роз'єму штампа визначається в залежності від класу точності (Т5), конфігурації поверхні роз'єму штампа (П) і маси поковки (1,0005 кг) за [10]. Вибираємо допуск рівний 0,6.

- Величина залишкового облою, визначається в залежності від класу точності (Т5) і маси поковки (1,0005 кг) і конфігурації поверхні роз'єму штампа (П) за [10]. Вибираємо допуск рівний 0,8.

- Допустима висота облою вибирається за [10] в залежності від маси поковки (1,0005 кг), ступеня складності (С2) та максимального розміру поперечного перерізу поковки (65 мм). Вибираємо значення рівне 3 мм.

- Допустимі відхилення від вигнутості, прямолінійності визначається за найбільшим розмір штампованої заготовки (127 мм) та класом точності (Т5) за [10]. Приймаємо допуск рівний 1.

- Допуск радіального биття для циліндричних поверхонь не повинен перевищувати подвоєної величини допуску на вгнутість та прямолінійність поверхні, який вибраний вище за [10], яка рівна 1 мм. Тому допуск на радіальне биття становитиме 2 мм.

- Слід, який допускається у вигляді впадини або виступу, що утворюється від виштовхувача або від затискних елементів штампа не повинен бути більше половини фактичного припуску (не більше 2 мм).

- Допуски радіусів заокруглень залежать від величини радіусів (3 мм – вибрані нижче) та класу точності (Т5) згідно [10]. Вибираємо допуск радіусів заокруглень 2 мм.

Нахили призначаються для полегшення виймання заготовки з матриць і запобігання заклинювання пуансона при штампуванні. При виді обладнання ГKM за [10] призначаємо 1° .

Радіуси заокруглень відповідно до ГОСТ 7505-89 вибирають в залежності від маси поковки (1,0005 кг) та глибини порожнини штампа за [10]. Приймаємо мінімальну величину рівну 2 мм.

Розрахунок розмірів прокатної заготовки

Призначення припусків (табличних) на механічну обробку та розрахунок граничних розмірів заготовки.

Вибираємо припуски та кількість переходів на механічну обробку на діаметр 60 згідно [1, 10] в залежності від діаметра деталі (60 мм), схеми базування (в патроні), довжини деталі (122 мм), точності прокату (звичайної точності) та квалітету точності поверхні (16). Вибираємо 2 переходи механічної обробки: чорнова і напівчистова – вони забезпечуть необхідний квалітет точності. Значення припусків заносимо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 – Значення припусків

Вихідні данні	Вид обробки	Припуск, мм (табличний)
Ø60	Точіння чорнове	1,5
	Точіння напівчистове	0,45
122	Відрізання заготовки	2
	Підрізання торцю чистове	3,5

Розраховуємо діаметр заготовки:

$$D = 60 + 2 \cdot (1,5 + 0,45) = 63,9 \text{ (мм)}.$$

Найближчий більший гостований прокат за ГОСТ 2590-71 [10] – 65 мм.

Для забезпечення лінійного розміру 122 мм вибираємо з [10] обладнання для відрізання заготовок – механічна ножовка. Для даного обладнання в залежності від діаметра прокату вибираємо припуск на відрізання – 2 мм. Потім по цій же таблиці призначаємо припуск на підрізання торця після відрізання – 3 мм. Значення припусків заносимо в таблицю 3.4.

Лінійний розмір 122 буде дорівнювати сумі номінального розміру і подвоєного припуску на підрізання торцю: $l = 122 + 2 \cdot 3 = 128$ (мм).

Отже, з гостованого 6 м прокату, врахувавши припуск на розрізку і обробку торцю прокату $\varnothing 65$ – ми одержимо 46 заготовок і 22 мм залишку.

Як видно в залишку дуже мала частина залишку.

2.3.3 Оформлення ескізів обох варіантів заготовки

Ескіз заготовки отриманої при штампуванні на горизонтально-кувальних машинах зображено на рисунку 2.3.

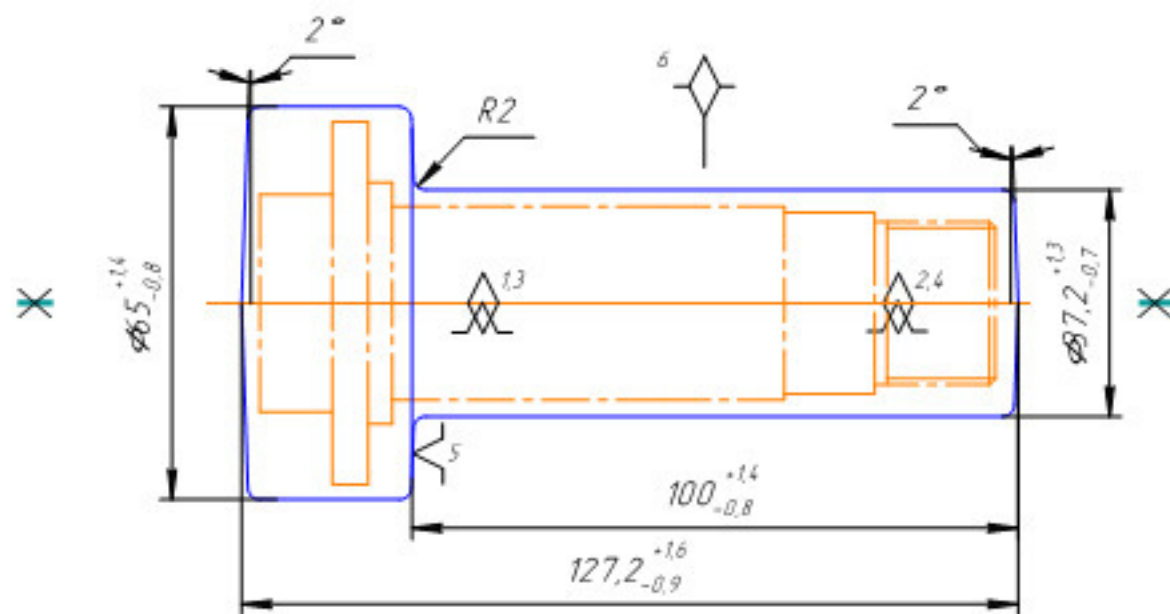


Рисунок 2.3 – Ескіз заготовки отриманої при штампуванні на горизонтально-кувальних машинах

Заготовка з прокату зображена на рисунку 2.4.

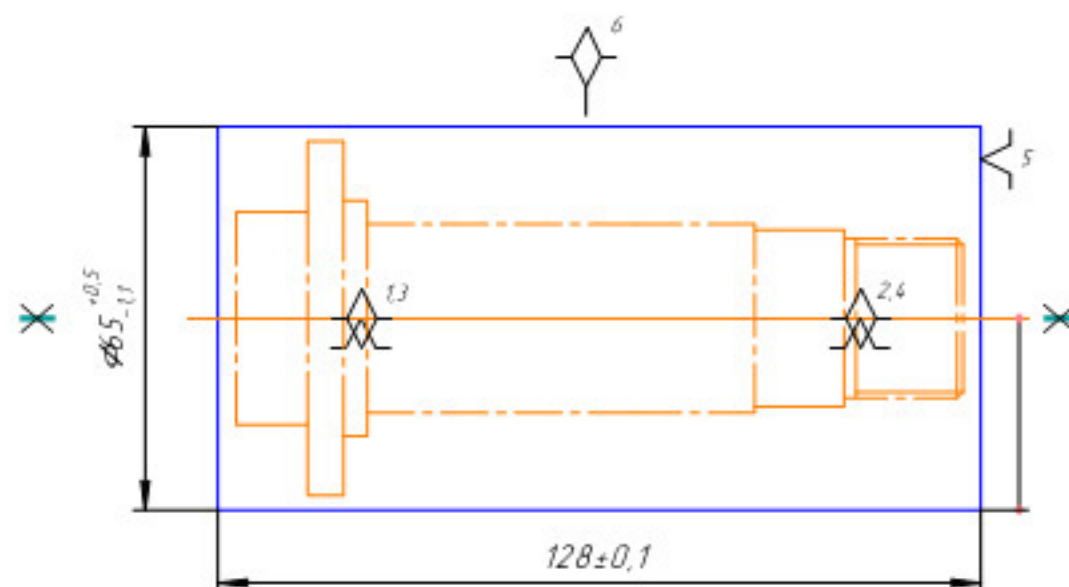


Рисунок 2.4 – Ескіз заготовки з прокату

2.3.4 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси для обох варіантів заготовки

Масу заготовок визначаємо за допомогою 3D-моделювання.

Задані параметри	
Матеріал	Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
Густина матеріалу	$R_o = 0.007830 \text{ г/мм}^3$
Розрахункові параметри	
Маса	$M = 1362.364010 \text{ г}$
Площа	$S = 23365.607202 \text{ мм}^2$
Об'єм	$V = 201706.770152 \text{ мм}^3$
Центр мас	$X_c = 48.308642 \text{ мм}$
	$Y_c = 0.000000 \text{ мм}$
	$Z_c = 0.000000 \text{ мм}$

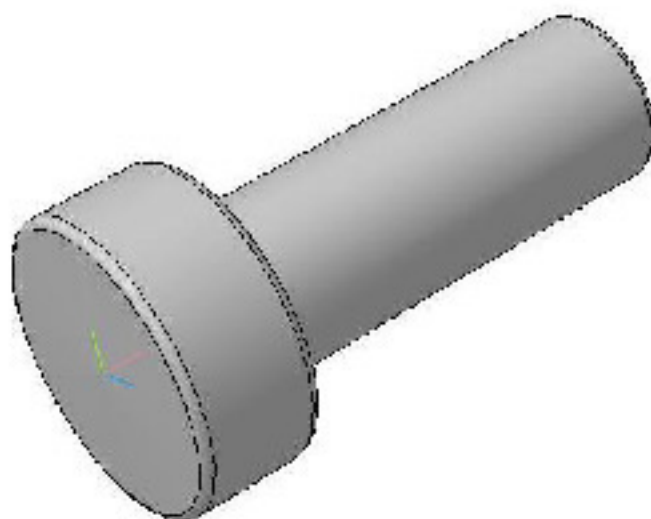


Рисунок 2.5 – 3D-модель заготовки, виготовленої штампуванням на горизонтально-кувальних машинах

Задані параметри	
Матеріал	Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
Густина матеріалу	$R_o = 0.007830 \text{ г/мм}^3$
Розрахункові параметри	
Маса	$M = 3214.129253 \text{ г}$
Площа	$S = 32109.606617 \text{ мм}^2$
Об'єм	$V = 410489.048865 \text{ мм}^3$
Центр мас	$X_c = 64.000000 \text{ мм}$
	$Y_c = 0.000000 \text{ мм}$
	$Z_c = 0.000000 \text{ мм}$

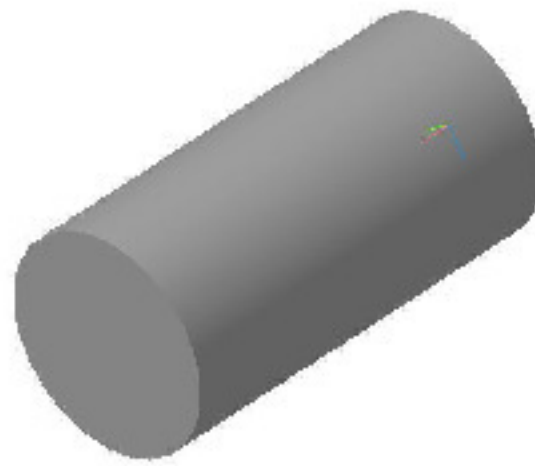


Рисунок 2.6 – 3D-модель заготовки, що виготовлена з прокату

Отже,

- для ГKM: $G_{шт} = 1362,364010 \text{ г} = 1,36 \text{ (кг)}$,

- прокат: $G_{пр} = 3214,129253 \text{ г} = 3,21 \text{ (кг)}$.

Коефіцієнт точності маси заготовки при штампуванні становить:

$$\gamma = G_d / G_{шт} = 0,65 / 1,36 = 0,48.$$

Коефіцієнт точності маси заготовки при прокатуванні:

$$\gamma = G_{дет} / G_{пр} = 0,65 / 3,21 = 0,2.$$

Коефіцієнт точності маси заготовки при штампуванні більший ніж при прокатуванні. Це означає, що при виготовленні заготовки на горизонтально-кувальних машинах менше матеріалу знімається у вигляді стружки з поверхонь заготовки при механічній обробці, тобто заготовка більш наближена до готової деталі.

2.3.5 Техніко-економічне порівняння двох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого

Вартість заготовки визначаємо за формулою [10]:

$$C_{\text{заг.шт.}} = \left(\frac{G_{\text{заг.}}}{1000} \cdot C_{\text{шт.}} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{\Pi} \right) - \left(\frac{G_{\text{заг.}} - G_{\text{дет.}}}{1000} \right) \cdot C_{\text{відх.}} \quad [\text{грн}], \quad (2.17)$$

де $G_{\text{заг.}} = 1,36$ кг – маса заготовки;

$G_{\text{дет.}} = 0,65$ кг – маса деталі;

$C_{\text{шт.}} = 41250$ грн. – базова вартість 1 т штамповки;

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовок;

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки;

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки;

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

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

$C_{\text{відх.}}$ – вартість 1 т стружки, для сталі $C_{\text{відх.}} = 5000$ грн./т.

Призначаємо коефіцієнти по [10]: в залежності від класу точності штамповки (нормальна точність) – $K_T = 1$; від марки матеріалу – $K_M = 1,13$; від марки матеріалу і ступеня складності – $K_C = 0,87$; від маси і матеріалу штамповки: $K_B = 1,29$. Коефіцієнт K_{Π} призначаємо по в залежності від маси штамповки і типу виробництва, оскільки об'єм виробництва менший значень вказаних в цій таблиці то приймаємо його рівним 1,0.

Вартість штампованої заготовок можна визначити по формулі:

$$C_{\text{заг.шт.}} = \left(\frac{1,36}{1000} \cdot 41250 \cdot 1,0 \cdot 1,13 \cdot 0,87 \cdot 1,29 \cdot 1,0 \right) - \left(\frac{1,36 - 0,65}{1000} \right) \cdot 5000 =$$

$$= 67,6 \text{ (грн).}$$

Вартість прокатної заготовки визначаємо за формулою [10]:

$$C_{\text{пр.}} = \frac{Q_{\text{заг.}}}{1000} \cdot C_{\text{п.}} - \frac{(Q_{\text{заг.}} - Q_{\text{дет.}})}{1000} \cdot C_{\text{відх.}} \quad [\text{грн}], \quad (2.18)$$

де $Q_{\text{заг.}}$ – маса заготовки, кг;

C_M – вартість 1 т матеріалу заготовки, грн.;

$Q_{\text{дет}}$ – маса готової деталі, кг;

$C_{\text{відх.}}$ – вартість 1 т відходів, грн.;

$C_M = 24500$ грн., $C_{\text{відх.}} = 5000$ грн./т.

$$C_{\text{пр.}} = \frac{3,21}{1000} \cdot 24500 - \frac{(3,21 - 0,65)}{1000} \cdot 5000 = 65,85 \text{ (грн.)}.$$

Отже, після розрахунку вартості заготовок бачимо, що вартість заготовки на ГKM менша вартості заготовки виготовленої прокатом.

Але необхідно ще визначити технологічну собівартість операцій для прийняття остаточного рішення відносно вибору варіанту одержання заготовки крім вартості заготовок, коефіцієнтів використання матеріалу та вагової точності потрібно порівняти маршрути механічної обробки деталі. Якщо є операції, які відрізняються внаслідок різних способів одержання заготовки, то собівартість їх виконання потрібно включити у вартість відповідної заготовки. Тобто тоді повна собівартість заготовки:

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{пр.}} + \Sigma C_{\text{обр.}} \text{ [грн]}, \quad (2.19)$$

де $C_{\text{обр.}}$ – технологічна собівартість виконання тих операцій, якими відрізняються маршрути механічної обробки деталі внаслідок різних способів одержання заготовки.

$$C_{\text{обр.}} = C_{\text{п.-з.}} \cdot T_{\text{шт-к}} / K_v \text{ [грн]}, \quad (2.20)$$

де $C_{\text{п.-з.}} = 38$ грн./год – годинні приведені витрати, вибираємо згідно [1], для верстата 16K20T1;

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

K_v – коефіцієнт виконання норм, $K_v \approx 1,3$;

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

де $\varphi_k = 2,14$ – вибирається з [1, 10] в залежності від типу верстату (для токарних верстатів) і серійності виробництва (серійне).

T_o – вибирається згідно [1, 10] для чорнового обточування за 1 прохід: $T_o = 0,17dl$, але для отримання заданого розміру, отриманого при штампуванні, потрібно проточити заготовку отриману при прокатуванні на довжину 100 мм і до діаметра 37,5 мм. Як ми бачимо цю операцію неможливо зробити за один прохід, тому точимо її за чотири. Тому в даній формулі замість діаметра підставимо середній діаметр отриманий в процесі обробки:

$$T_o = 4 \cdot 0,17d_c l \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0,17 \cdot 51,25 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 3,485 \text{ (хв)},$$

$$T_{шт-к} = T_o \varphi_k = 3,485 \cdot 2,14 = 7,46 \text{ (хв.)}$$

Розрахуємо технологічну собівартість виконання операції:

$$C_{обр} = 38 \cdot 7,46 / 1,3 \cdot 60 = 3,63 \text{ (грн.)}$$

Тоді повна собівартість заготовки із прокату:

$$C_{заг} = 65,85 + 3,63 = 69,48 \text{ (грн.)}$$

Тому сумарний економічний ефект від використання ГKM становить:

$$E = (C_{заг1} - C_{заг2}) \cdot N = (69,48 - 67,6) \cdot 8000 = 15040 \text{ (грн.)}$$

Висновок. Отже, врахувавши технологічну собівартість операцій видно, що заготовки з прокату дорожчі за заготовки отримані на ГKM. Взявши до уваги ще те, що коефіцієнт точності маси при прокаті менший ніж на ГKM, переконуємося, що штампування на ГKM більш вигідний спосіб виготовлення заготовок за рахунок меншої собівартості, цей спосіб більш раціональний при

серійному виробництві. Тобто за основний спосіб виготовлення заготовки обираємо ГKM.

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

Щоб виконати умову даного пункту, необхідно спочатку попередньо визначити величини допусків на кожен розмір деталі та заготовки. Якщо допуски на виготовлення деталі ми беремо із робочого креслення, то на виготовлення заготовки штампуванням на горизонтально-кувальних машинах – із [1, 9], забезпечуючи 12-й індекс. Відношення:

$$E_{\Sigma} = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}}, \quad (2.22)$$

становитиме величину коефіцієнта уточнення ε , за допомогою якого ми визначаємо кількість ступенів механічної обробки.

Розподіл ε здійснюємо в залежності від кількості ступенів механічної обробки за наступним законом: $\varepsilon_1 = 5 \dots 6$; $\varepsilon_2 = 3 \dots 4$; $\varepsilon_3 = 2 \dots 2,5$; $\varepsilon_4 = 1,5 \dots 2$. Також обов'язково, щоб виконалась умова:

$$\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 \cdot \varepsilon_5 \cdot \dots \cdot \varepsilon_n = E_{\Sigma}. \quad (2.23)$$

Наприклад, для розміру $\varnothing 32h7_{(-0,025)}$, матимемо:

Допуск розміру деталі становить 0,025 мм, допуск розміру заготовки 2,0 мм (див. табл. 3.3). Коефіцієнт уточнення:

$$\varepsilon = T_{\text{заг}}/T_{\text{дет}} = 2,0/0,025 = 80.$$

Здійснюємо розподіл окремих уточнень на переходи механічної обробки:

$$\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 = 5 \cdot 4 \cdot 2,5 \cdot 1,6 = 80.$$

Значить допуски на проміжні технологічні розміри:

$$T_1 = 2000/5 = 400 \text{ (мкм); } (\approx \text{IT13});$$

$$T_2 = 400/4 = 100 \text{ (мкм); } (\approx \text{IT10});$$

$$T_3 = 100/2,5 = 40 \text{ (мкм); } (\approx \text{IT8});$$

$$T_4 = 40/1,6 = 25 \text{ (мкм); (IT7).}$$

Методи обробки обираємо відповідно до кожної операції: точіння попереднє; точіння остаточне; шліфування попереднє; шліфування остаточне.

Аналогічно для інших розмірів визначаємо способи і кількість переходів механічної обробки і отримані значення заносимо в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Кількості ступенів механічної обробки

Розмір	Коефіцієнт уточнення	Розподіл ε	Допуски, мм	Квалітет	Метод обробки
1	2	3	4	5	6
$\varnothing 32h7_{(-0,025)}$	$\varepsilon = 2,0/0,025 = 80$	$\varepsilon_1 = 5$ $\varepsilon_2 = 4$ $\varepsilon_3 = 2,5$ $\varepsilon_4 = 1,6$	$T_1 = 2,0/5 = 0,4$ $T_2 = 0,4/4 = 0,1$ $T_3 = 0,1/2,5 = 0,04$ $T_4 = 0,04/1,6 = 0,025$	13 10 8 7	Точіння попереднє, точіння остаточне, шліфування попереднє, шліфування остаточне
$\varnothing 22H8^{(+0,033)}$	$\varepsilon = 0,21/0,033 = 6,36$	$\varepsilon_1 = 6$ $\varepsilon_2 = 4$ $\varepsilon_3 = 1,6$	$T_1 = 0,21$ $T_2 = 0,21/4 = 0,052$ $T_3 = 0,052/1,6 = 0,033$	12 9 8	Свердління, розточування однократне, шліфування однократне
$\varnothing 40k6$ ($+0,018$ $+0,002$)	$\varepsilon = 0,25/0,016 = 15,625$	$\varepsilon_1 = 6$ $\varepsilon_2 = 4$ $\varepsilon_3 = 2,5$ $\varepsilon_4 = 1,56$	$T_1 = 0,21$ $T_2 = 0,25/4 = 0,0625$ $T_3 = 0,0625/2,5 = 0,025$ $T_4 = 0,025/1,56 = 0,016$	12 9 7 6	Точіння попереднє, точіння остаточне, шліфування попереднє, шліфування остаточне
$\varnothing 6H10^{(+0,03)}$	$\varepsilon = 0,12/0,03 = 40$	$\varepsilon_1 = 6$ $\varepsilon_2 = 4$	$T_1 = 0,12$ $T_2 = 0,12/4 = 0,03$	12 10	Свердління, зенкерування

2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз

Перед вибором баз для конкретної операції необхідно чітко сформулювати задачі, які повинні бути вирішені в результаті виконання даної операції. Ці задачі формуються із вимог креслення і технічних вимог на виготовлення деталі.

При виборі чистових баз необхідно мінімізувати похибку базування на отримувані розміри. На операції 010 обробляється велика кількість поверхонь. При цьому використовується схема базування показана на рисунку 2.7.

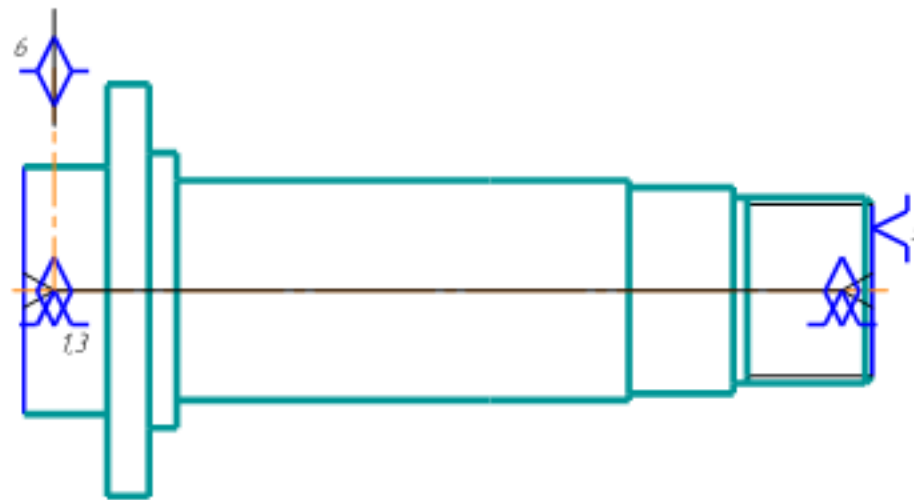


Рисунок 2.7 – Перший варіант чистових баз

В даному випадку деталь базується в центрах, один з яких плаваючий. Така схема базування забезпечує відсутність похибки базування, оскільки всі поверхні виконуються з одного установа. Але можливий також інший варіант установки заготовки на даній операції, він показаний на рисунку 2.8.

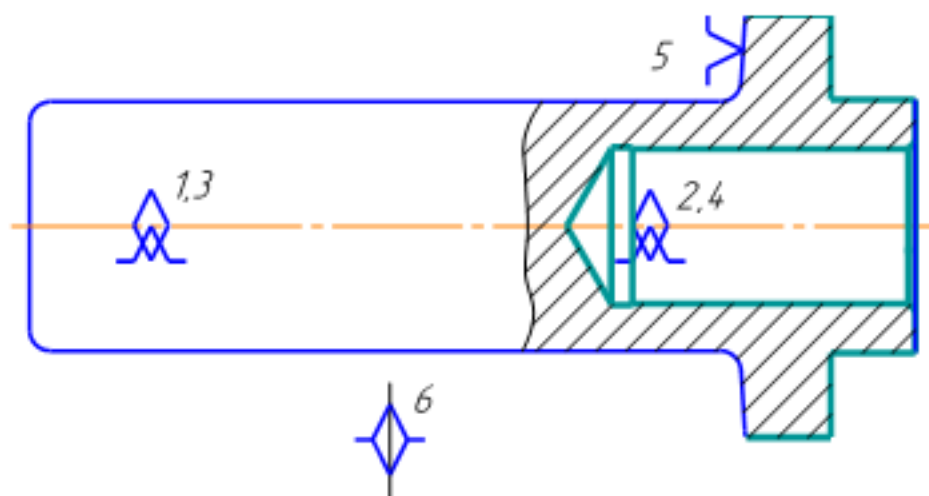


Рисунок 2.8 – Другий варіант чистових баз

При цьому базування проводиться в трьохкулачковому патроні з піджиманням до торця. У даному випадку менша кількість поверхонь обробляється та очевидно що є недоцільним використання внутрішнього отвору як чистової бази на наступній операції. Отже, остаточним варіантом чистових баз вибираємо перший із запропонованих вище.

При виборі чорнових технологічних баз має вирішуватися одна із двох задач: зняття рівномірного мінімального припуску з поверхні при подальшій механічній обробці чи зв'язок оброблюваних і необроблюваних поверхонь.

Один із можливих варіантів базування заготовки на операції 005, коли деталь базується в призмах на зовнішню циліндричну поверхню з піджиманням до торця. На даній операції підрізаються та центруються два торця. Така схема базування забезпечить зняття мінімального припуску з точних поверхонь на наступній операції. Схема базування показана на рисунку 2.9.

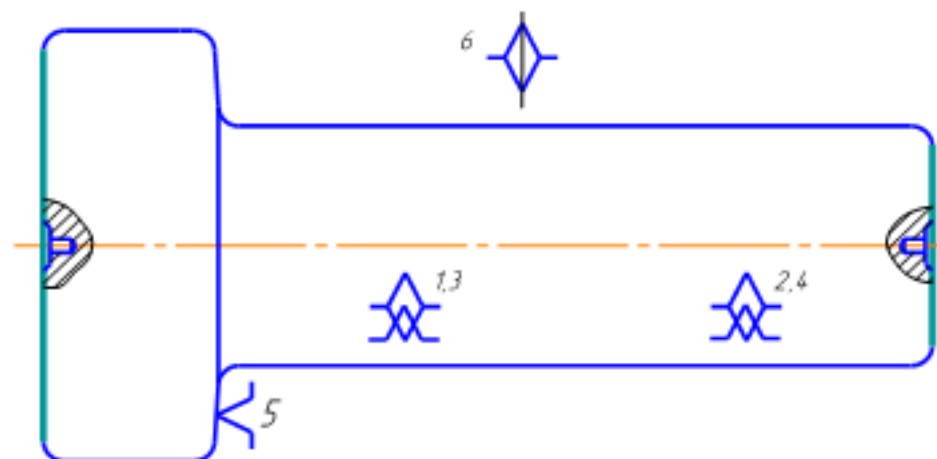


Рисунок 2.9 – Варіант чорнових технологічних баз

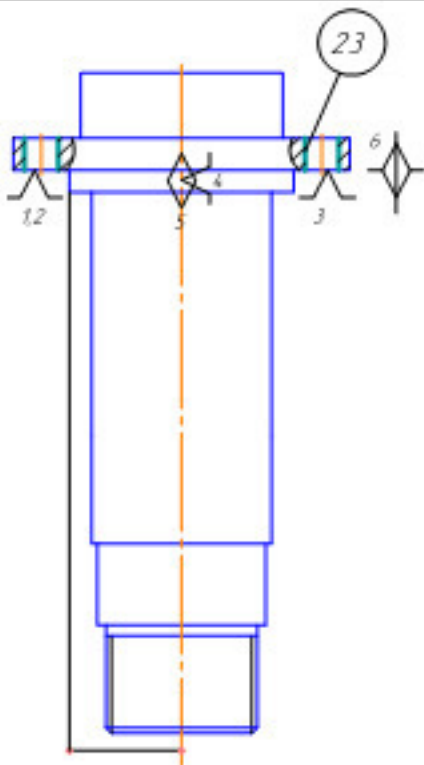
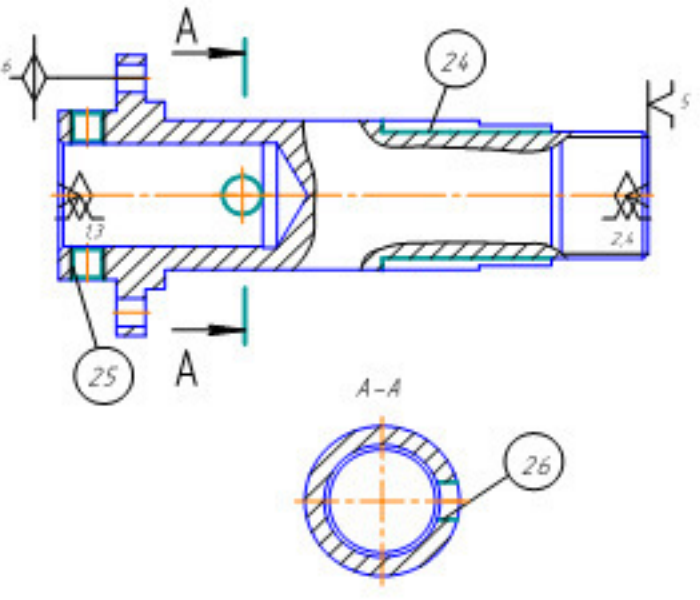
Другим варіантом чорнових технологічних баз можлива схема, коли деталь встановлюється в трьохкулачковий патрон з піджиманням до торця. На даній операції обробляється лише один торець. Тому потрібна буде ще одна операція для обробки іншої поверхні чистової бази. Отже інший варіант чорнових баз є недоцільним. Отже перша схема буде більш раціональною для даної операції, бо вона забезпечує виконання однієї з задач, які вирішуються. А також вона є простішою для виконання, бо не потребує додаткової переустановки.

2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу

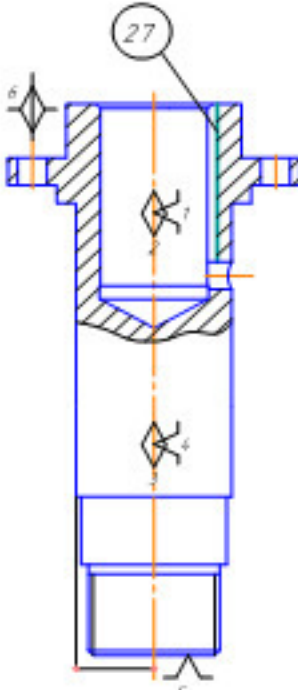
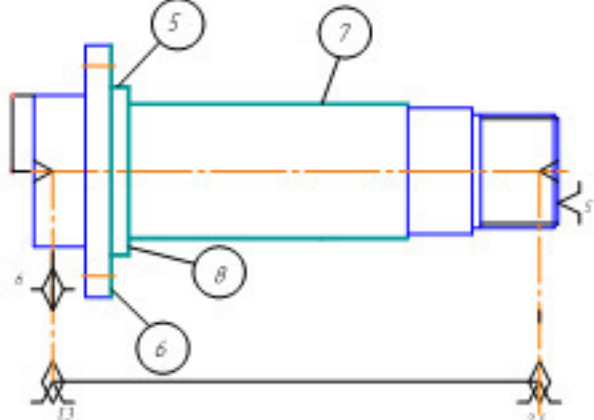
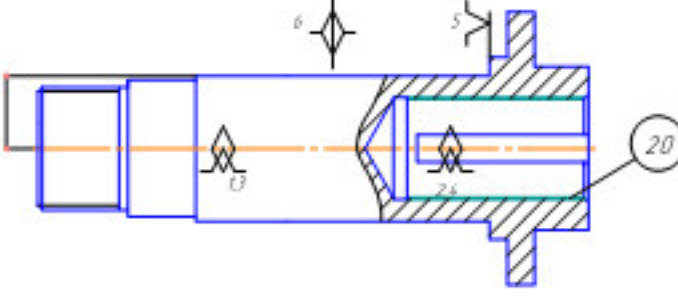
Таблиця 2.10 – Маршрут механічної обробки (1 варіант)

№ операції	Назва і зміст операції	Ескіз обробки, схема базування	Обладнання
1	2	3	4
005	<u>Фрезерно-центрувальна</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Фрезерувати торці 1 і 3 однократно. 3) Свердлити центровальні отвори 2 і 4. 5) Зняти заготовку.		Фрезерно-центрувальний МР73М
010	<u>Токарна з ЧПК</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Точити поверхні 5, 6, 7, 8 попередньо, поверхні 9, 10, 11, 12, 13 однократно. 3) Точити поверхні 5, 6, 7, 8 остаточно. 4) Точити поверхні 14, 15, 16 однократно. 5) Точити канавки 17, 18, 19. 6) Нарізати різь на поверхні 11. 7) Зняти заготовку.		Токарний з ЧПК 16K20T1
015	<u>Токарна з ЧПК</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Центрувати отвір 20. 3) Свердлити отвір 20. 4) Розточити поверхню 20 однократно. 5) Точити фаску 21 однократно. 6) Точити канавку 22 однократно. 7) Зняти заготовку.		Токарний з ЧПК 16K20T1

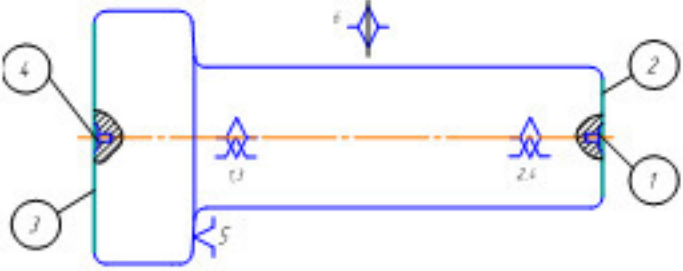
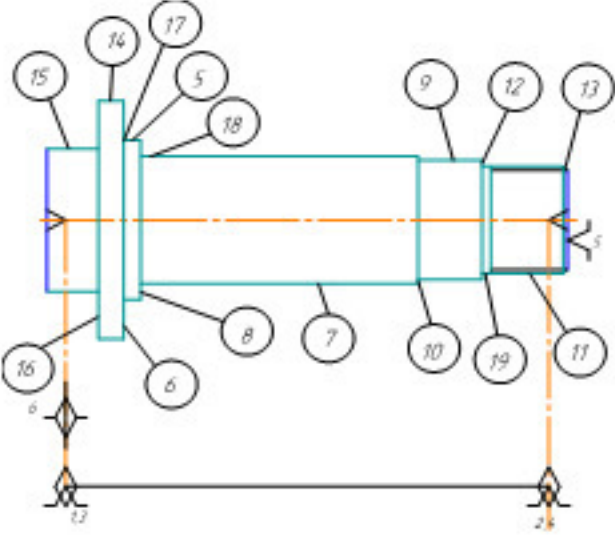
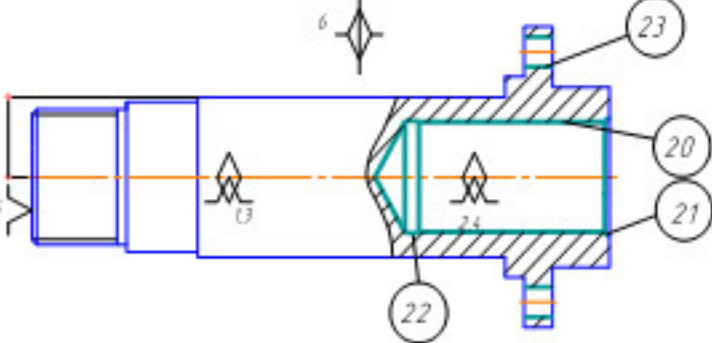
Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4
020	<u>Вертикально-свердлильна з ЧПК</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Центрувати 6 отворів 23. 3) Свердлити 6 отворів 23. 4) Зенкерувати 6 отворів 23. 5) Зняти заготовку.		Вертикально-свердильний з ЧПК 2P135Ф3
025	<u>Вертикально-фрезерна з ЧПК</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. <u>Позиція І:</u> 1) Фрезерувати паз 24. 2) Центрувати отвір 25. 3) Свердлити отвір 25. 4) Нарізати різь в отворі 25. 5) Повернути заготовку на 180^0. <u>Позиція ІІ:</u> 1) Фрезерувати паз 24. 2) Центрувати отвір 25. 3) Свердлити отвір 25. 4) Нарізати різь в отворі 25. 5) Повернути заготовку на 90^0. <u>Позиція ІІІ:</u> 1) Центрувати отвір 26. 2) Свердлити отвір 26. 3) Зняти заготовку.		Вертикально-фрезерний з ЧПК 6P13PФ3

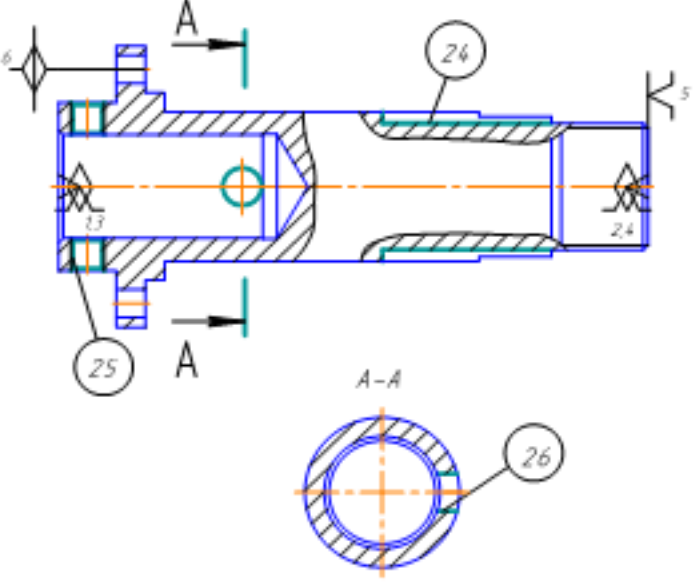
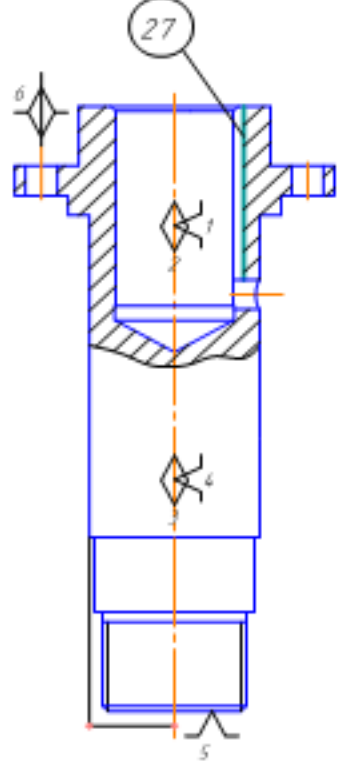
Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4
030	<u>Довбальна</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Довбати паз 27. 3) Зняти заготовку.		Довбальний 7402
035	<u>Термічна обробка</u>	Струм високої частоти	
040	<u>Торцекруглошліфувальна з ЧПК</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Шліфувати поверхні 5, 6, 7, 8 попередньо. 3) Шліфувати поверхні 5, 6, 7, 8 остаточно. 4) Зняти заготовку.		Торцекруглошліфувальний з ЧПК ОШ-650Ф3
045	<u>Внутрішньошліфувальна</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Шліфувати поверхню 20 однократно. 3) Зняти заготовку.		Внутрішньошліфувальний 3K225B

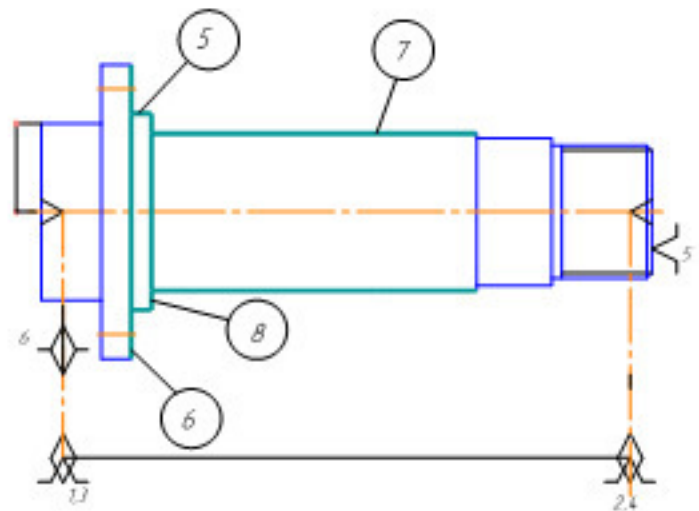
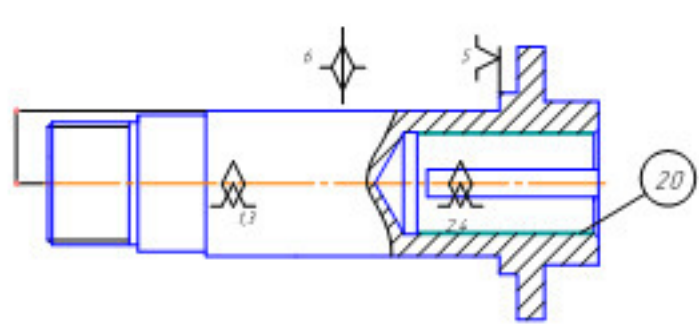
Таблиця 2.11 – Маршруту механічної обробки (2 варіант)

№ операції	Назва і зміст операції	Ескіз обробки, схема базування	Обладнання
1	2	3	4
005	<u>Токарно-центрувальна</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Фрезерувати торці 1 і 3 однократно. 3) Свердлити центрувальні отвори 2 і 4. 5) Зняти заготовку.		Фрезерно-центрувальний MP73M
010	<u>Токарна з ЧПК</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Точити поверхні 5, 6, 7, 8 попередньо, поверхні 9, 10, 11, 12, 13 однократно. 3) Точити поверхні 5, 6, 7, 8 остаточно. 4) Точити поверхні 14, 15, 16 однократно. 5) Точити канавки 17, 18, 19. 6) Нарізати різь на поверхні 11. 7) Зняти заготовку.		Токарний з ЧПК 16K20T1
015	<u>Токарно-револьверна з ЧПК</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Центрувати отвір 20. 3) Свердлити отвір 20. 4) Розточити поверхню 20 однократно. 5) Точити фаску 21 однократно. 6) Точити канавку 22 однократно. 7) Центрувати 6 отворів 23. 8) Свердлити 6 отворів 23. 9) Зенкерувати 6 отворів 23. 10) Зняти заготовку.		Токарно-револьверна з ЧПК 1B340Ф30

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4
020	<u>Вертикально-фрезерна з ЧПК</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. <u>Позиція І:</u> 1) Фрезерувати паз 24. 2) Центрувати отвір 25. 3) Свердлити отвір 25. 4) Нарізати різь в отворі 25. 5) Повернути заготовку на 180°. <u>Позиція ІІ:</u> 1) Фрезерувати паз 24. 2) Центрувати отвір 25. 3) Свердлити отвір 25. 4) Нарізати різь в отворі 25. 5) Повернути заготовку на 90°. <u>Позиція ІІІ:</u> 1) Центрувати отвір 26. 2) Свердлити отвір 26. 3) Зняти заготовку.		Вертикально-фрезерний з ЧПК 6P13PФ3
025	<u>Довбальна</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Довбати паз 27. 3) Зняти заготовку.		Довбальний 7402
030	<u>Термічна обробка</u>	Струм високої частоти	

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4
035	<u>Токарна з ЧПК</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Точити поверхні 5, 6, 7, 8 попередньо. 3) Точити поверхні 5, 6, 7, 8 остаточно. 4) Зняти заготовку.		Токарний з ЧПК МК6801Ф3
040	<u>Внутрішньошліфувальна</u> 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Шліфувати поверхню 20 однократно. 3) Зняти заготовку.		Внутрішньо-шліфувальний 3К225В

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

Для того, щоб обґрунтовано визначити, який з маршрутів механічної обробки являється оптимальним, необхідно наближено обчислити величину економічного ефекту, що виникає при порівнянні двох маршрутів обробки деталі в межах вказаного типу виробництва [1]:

$$E = \frac{(C_0^1 - C_0^2) \cdot N}{100} \text{ [грн.]}, \quad (2.24)$$

де N – програма випуску деталей за рік (8000 штук);

C_0 – цехова собівартість операцій першого та другого маршрутів.

Необхідно визначити цехову собівартість кожної з операцій порівнюваних маршрутів. При цьому необхідно зазначити, що величина собівартості обраховується лише для тих операцій, які відрізняють порівнювані маршрути обробки.

Собівартість операції визначається за формулою [1]:

$$C_o = \frac{C_{п.з.} \cdot t_{шт-к}}{60 \cdot K_e} \text{ [грн]}, \quad (2.25)$$

де $C_{п.з.}$ – це приведені годинні цехові витрати (одна година роботи верстата в даних умовах);

K_e – коефіцієнт виконання норм, що рівний здебільшого 1,3;

$t_{шт-к}$ – штучно-калькуляційний час даної операції;

$$t_{шт-к} = T_o \cdot \varphi_x \text{ [хв]}, \quad (2.26)$$

де T_o – основний час на виконання операції, визначаємо за допомогою наближених формул з [1];

φ_x – коефіцієнт, що характеризується типом верстату, на якому здійснюється обробка.

Маршрути відрізняються 2 операціями. Тому потрібно знати величини цехової собівартості для верстатів, які використовуються на даних операціях в двох маршрутах механічної обробки.

Для маршруту №1 на операціях:

- 015 для токарного верстата з ЧПК 16K20T1 – $C_{п.з.} = 38$ грн./год.;

- 020 для вертикально-свердлильного з ЧПК 2P135Ф3 – $C_{п.з.} = 36,5$ грн./год.;

- 040 для торцекругло-шліфувального верстата ОШ-650Ф3 – $C_{п.з.} = 33,2$ грн./год.

Для маршруту №2 на операціях:

- 015 для токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В340Ф30 – $c_{н.з.} = 39$ грн./год;

- 035 для токарного верстата з ЧПК МК6801Ф3 – $c_{н.з.} = 48,1$ грн./год.

Тепер необхідно визначити величини штучно-калькуляційного часу для вище перерахованих операцій.

Маршрут механічної обробки №1.

Сумарний основний час становитиме:

$$T_0 = 0,042 + 0,503 + 0,174 + 0,003 + 0,0008 = 0,723 \text{ (хв.)}$$

Тоді штучно-калькуляційний час буде:

$$t_{шт-к} = 0,723 \cdot 1,36 = 0,98 \text{ (хв.)}$$

Таблиця 2.12 – Визначення основного часу для операції 015 токарної з ЧПК

Центрувати отвір 20	$0,52 \cdot dl$	$0,52 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,042 \text{ (хв)}$
Свердлити отвір 20	$0,52 \cdot dl$	$0,52 \cdot 22 \cdot 44 \cdot 10^{-3} = 0,503 \text{ (хв)}$
Розточити отвір 20 однократно	$0,18 \cdot dl$	$0,18 \cdot 22 \cdot 44 \cdot 10^{-3} = 0,174 \text{ (хв)}$
Точити фаску 21 однократно	$0,037 \cdot (D^2 - d^2)$	$0,037 \cdot (24^2 - 22^2) \cdot 10^{-3} = 0,003 \text{ (хв)}$
Точити канавку 22 однократно	$0,037 \cdot (D^2 - d^2)$	$0,037 \cdot (22,5^2 - 22^2) = 0,0008 \text{ (хв)}$

Сумарну собівартість операції 015:

$$C_o = \frac{38 \cdot 0,98}{60 \cdot 1,3} = 0,48 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 2.13 – Визначення основного часу для операції 020 – вертикально-свердлильна з ЧПК

Центрувати 6 отворів 20	$6 \cdot 0,52 \cdot dl$	$6 \cdot 0,52 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 0,131 \text{ (хв)}$
Свердлити 6 отворів 20	$6 \cdot 0,52 \cdot dl$	$6 \cdot 0,52 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0,112 \text{ (хв)}$
Зенкерувати 6 отворів 20	$6 \cdot 0,21 \cdot dl$	$6 \cdot 0,21 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0,0454 \text{ (хв)}$

Сумарний основний час становитиме:

$$T_0 = 0,131 + 0,112 + 0,0454 = 0,288 \text{ (хв.)}$$

Тоді штучно-калькуляційний час буде:

$$t_{\text{шт-к}} = 0,288 \cdot 1,3 = 0,375 \text{ (хв.)}$$

Сумарну собівартість операції 020:

$$C_o = \frac{36,5 \cdot 0,375}{60 \cdot 1,3} = 0,175 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 2.14 – Визначення основного часу для операції 040 торцекругло-ліфувальної

Шліфувати поверхні 5, 6, 7, 8 попередньо	$0,1 \cdot dl + 2,0 \cdot l +$ $+ 0,1 \cdot dl + 2,0 \cdot l$	$0,1 \cdot 40 \cdot 4 \cdot 10^{-3} + 2,0 \cdot 10 \cdot 10^{-3} +$ $+ 0,1 \cdot 32 \cdot 65 \cdot 10^{-3} + 2,0 \cdot 4 \cdot 10^{-3} =$ $= 0,254 \text{ (хв)}$
Шліфувати поверхні 5, 6, 7, 8 остаточно	$0,15 \cdot dl + 2,5 \cdot l +$ $+ 0,15 \cdot dl + 2,5 \cdot l$	$0,15 \cdot 40 \cdot 4 \cdot 10^{-3} + 2,5 \cdot 10 \cdot 10^{-3} +$ $+ 0,15 \cdot 32 \cdot 65 \cdot 10^{-3} + 2,5 \cdot 4 \cdot 10^{-3} =$ $= 0,381 \text{ (хв)}$

Сумарний основний час становитиме:

$$T_0 = 0,254 + 0,381 = 0,635 \text{ (хв.)}$$

Тоді штучно-калькуляційний час буде:

$$t_{\text{шт-к}} = 0,635 \cdot 1,55 = 0,98 \text{ (хв.)}$$

Сумарну собівартість операції 035:

$$C_o = \frac{32,6 \cdot 0,98}{60 \cdot 1,3} = 0,41 \text{ (грн.)}$$

Загальна собівартість даних операцій для маршруту №1 становитиме:

$$C_o = 0,48 + 0,175 + 0,41 = 1,065 \text{ (грн.)}$$

Маршрут механічної обробки №2.

Таблиця 2.15 – Визначення основного часу для операції 015 – токарно-револьверна з ЧПК

Центрувати отвір 20	$0,52 \cdot dl$	$0,52 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,042 \text{ (хв)}$
Свердли́ти отвір 20	$0,52 \cdot dl$	$0,52 \cdot 22 \cdot 44 \cdot 10^{-3} = 0,503 \text{ (хв)}$
Розточити поверхню 20 однократно	$0,18 \cdot dl$	$0,18 \cdot 22 \cdot 44 \cdot 10^{-3} = 0,174 \text{ (хв)}$
Точити фаску 21 однократно	$0,037 \cdot (D^2 - d^2)$	$0,037 \cdot (24^2 - 22^2) \cdot 10^{-3} = 0,003 \text{ (хв)}$
Точити канавку 22 однократно	$0,037 \cdot (D^2 - d^2)$	$0,037 \cdot (22,5^2 - 22^2) = 0,0008 \text{ (хв)}$
Центрувати 6 отворів 23	$6 \cdot 0,52 \cdot dl$	$6 \cdot 0,52 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 0,131 \text{ (хв)}$
Свердли́ти 6 отвірів 23	$6 \cdot 0,52 \cdot dl$	$6 \cdot 0,52 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0,112 \text{ (хв)}$
Зенкурувати 6 отвірів 23	$6 \cdot 0,21 \cdot dl$	$6 \cdot 0,21 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0,0454 \text{ (хв)}$

Сумарний основний час становитиме:

$$T_0 = 0,042 + 0,503 + 0,174 + 0,003 + 0,0008 + 0,131 + 0,112 + 0,0454 = 1,011 \text{ (хв.)}$$

Тоді штучно-калькуляційний час буде:

$$t_{\text{шт-к}} = 1,011 \cdot 1,35 = 1,365 \text{ (хв.)}$$

Сумарну собівартість операції 015:

$$C_0 = \frac{39 \cdot 1,365}{60 \cdot 1,3} = 0,683 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 2.16 – Визначення основного часу для операції 035 токарної з ЧПК

Точити поверхні 5, 6, 7, 8 попередньо	$0,1 \cdot dl + 2,0 \cdot l +$ $+0,1 \cdot dl + 2,0 \cdot l$	$0,1 \cdot 40 \cdot 4 \cdot 10^{-3} + 2,0 \cdot 10 \cdot 10^{-3} +$ $+0,1 \cdot 32 \cdot 65 \cdot 10^{-3} + 2,0 \cdot 4 \cdot 10^{-3} =$ $= 0,254 \text{ (хв)}$
Точити поверхні 5, 6, 7, 8 остаточно	$0,15 \cdot dl + 2,5 \cdot l +$ $+0,15 \cdot dl + 2,5 \cdot l$	$0,15 \cdot 40 \cdot 4 \cdot 10^{-3} + 2,5 \cdot 10 \cdot 10^{-3} +$ $+0,15 \cdot 32 \cdot 65 \cdot 10^{-3} + 2,5 \cdot 4 \cdot 10^{-3} =$ $= 0,381 \text{ (хв)}$

Сумарний основний час становитиме:

$$T_0 = 0,254 + 0,381 = 0,635 \text{ (хв.)}$$

Тоді штучно-калькуляційний час буде:

$$t_{\text{шт-к}} = 0,635 \cdot 1,36 = 0,86 \text{ (хв.)}$$

Сумарну собівартість операції 035:

$$C_0 = \frac{48,1 \cdot 0,86}{60 \cdot 1,3} = 0,53 \text{ (грн.)}$$

Загальна собівартість даних операцій для маршруту №2 становитиме:

$$C_0 = 0,683 + 0,53 = 1,213 \text{ (грн.)}$$

Економічна ефективність при використанні маршруту механічної обробки №1 матиме наступне значення:

$$E = (C_{02} - C_{01}) \cdot N = (1,213 - 1,065) \cdot 8000 = 1184 \text{ (грн.)}$$

Висновок. Отже, раціональніше в даному випадку буде обрати маршрут механічної за варіантом №1, оскільки він більш економічніший.

2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу

2.8.1 Вибір розташування технологічних розмірів [1]

Розміри заготовки послідовно змінюються в процесі виконання маршруту механічної обробки на шляху перетворення заготовки в деталь. Технологічні розміри $B_1, B_2, \dots$ проставляються на розмірній схемі від вибраних баз в сторону механічної обробки. Вибір баз значною мірою впливає на розташування технологічних розмірів.

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

2.8.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів

Допуски технологічних розмірів попередньо призначаємо, виходячи з точності механічної обробки. При чорновій обробці отримуємо 12 квалітет точності, при чистовій 9-10 квалітет. При більш точній 6-7 квалітет.

Допуски розмірів заготовки визначаємо по [1].

Попередньо призначені допуски в подальшому необхідно корегувати в залежності від допуску замикаючої ланки $K_1, K_2, \dots, K_n$. Значення допусків технологічних розмірів зводимо в таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 – Значення допусків технологічних розмірів

Технологічний розмір	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7
Допуск	0,35	0,87	0,87	0,35	0,87	0,35

2.8.3 Розмірна схема технологічного процесу

Розмірна схема технологічного процесу зображена на рисунку 2.10.

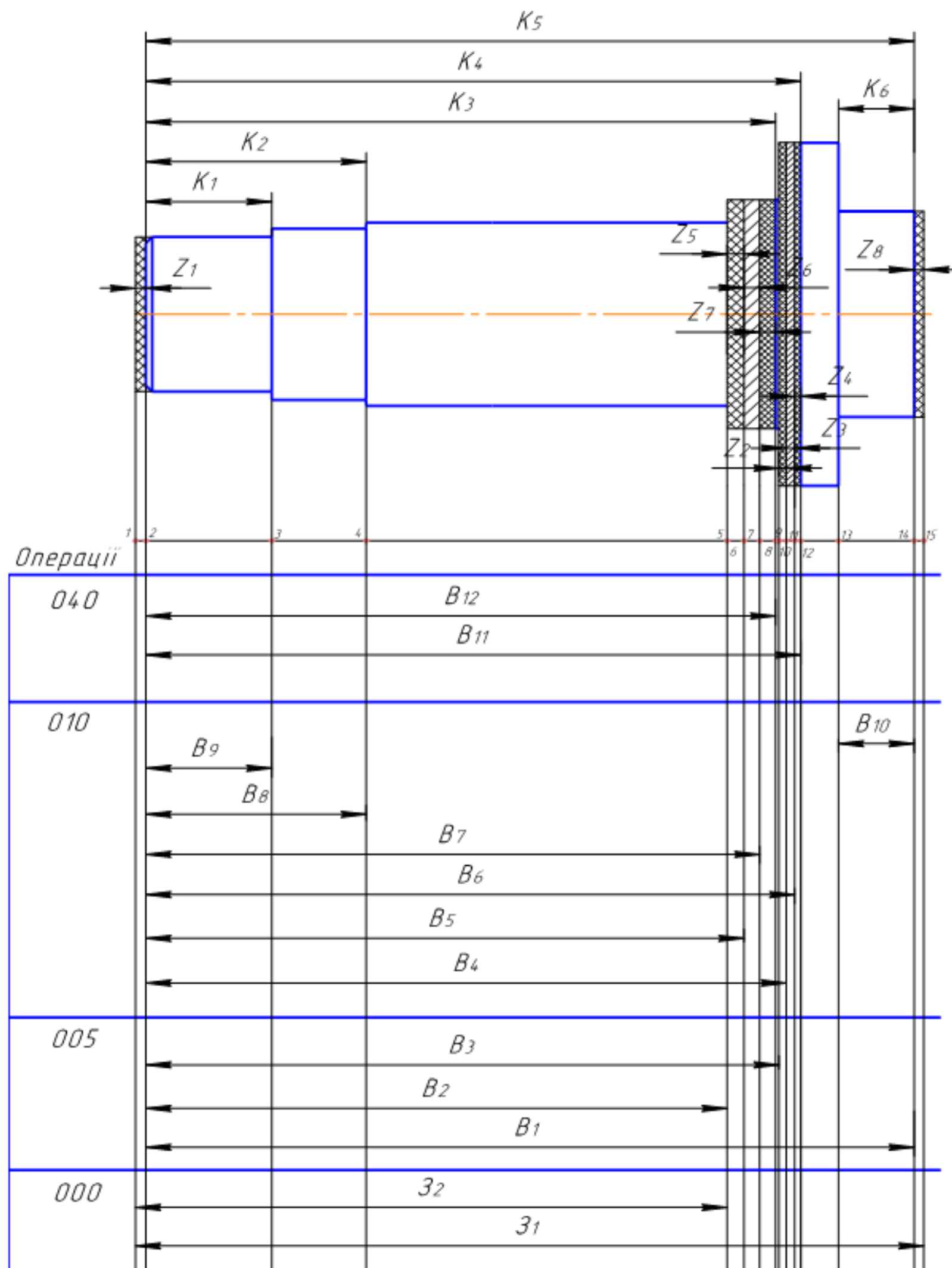


Рисунок 2.10 – Розмірна схема технологічного процесу

2.8.4 Похідний, вихідний граф-дерева, суміщений граф

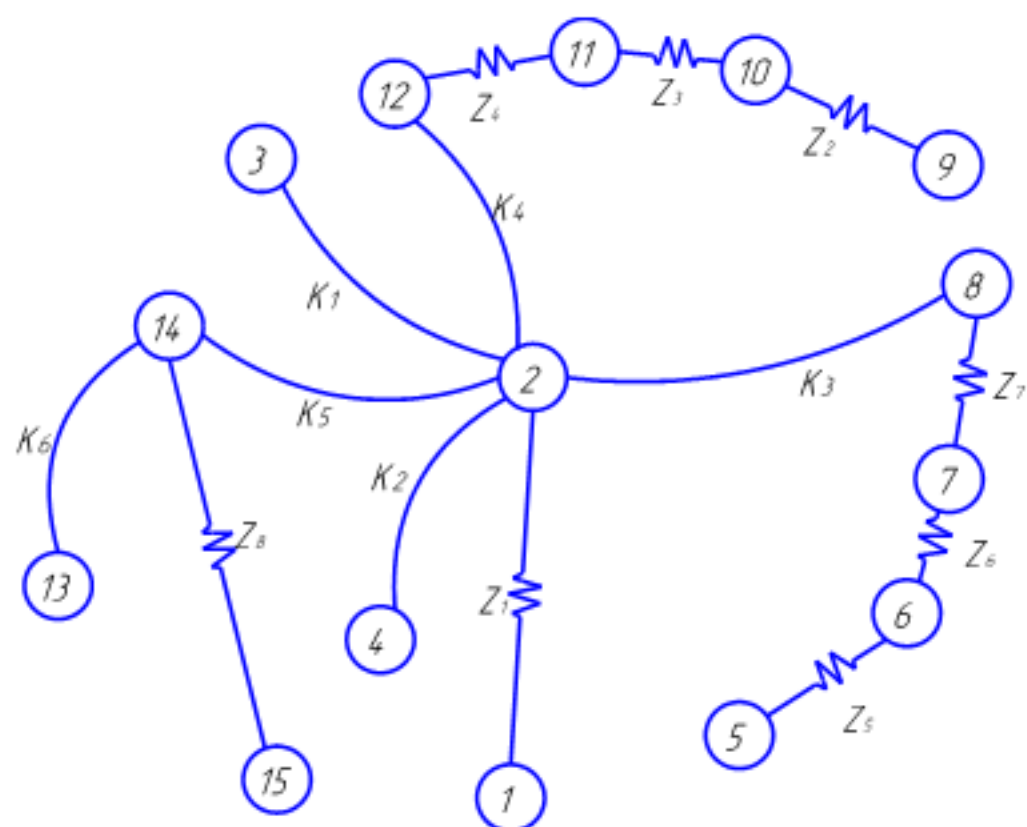


Рисунок 2.11 – Вихідний граф-дерево

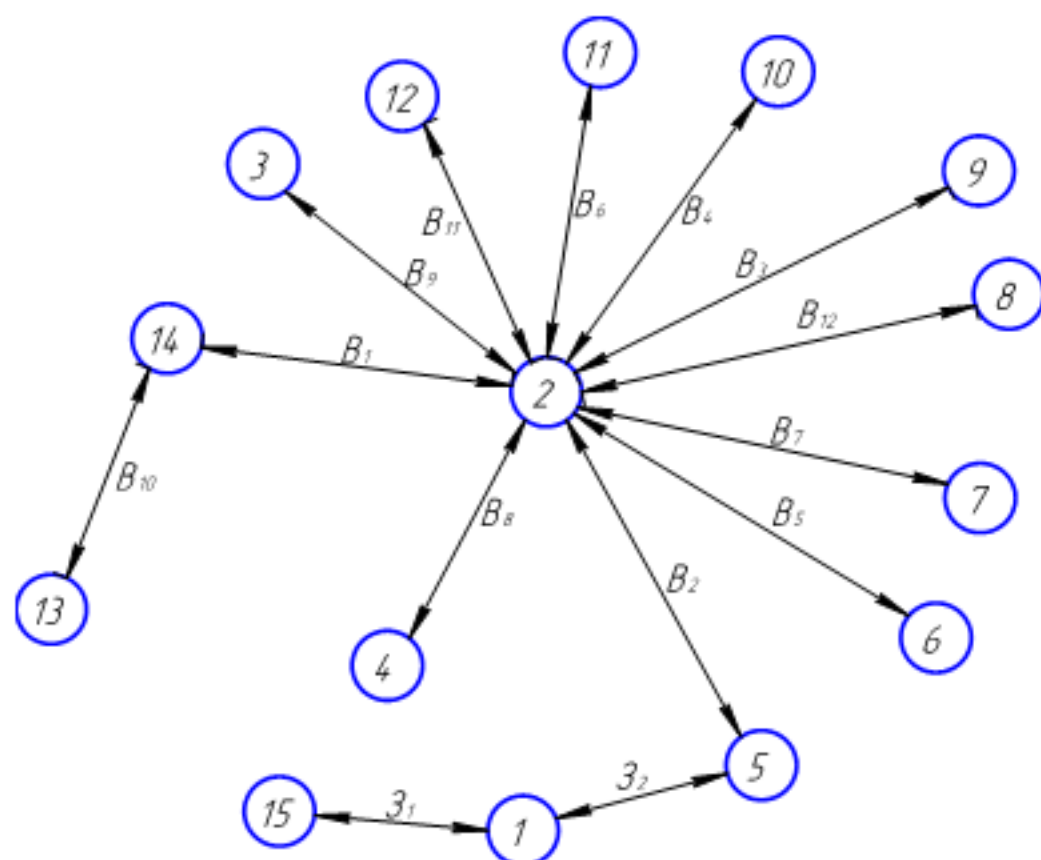


Рисунок 2.12 – Похідний граф-дерево

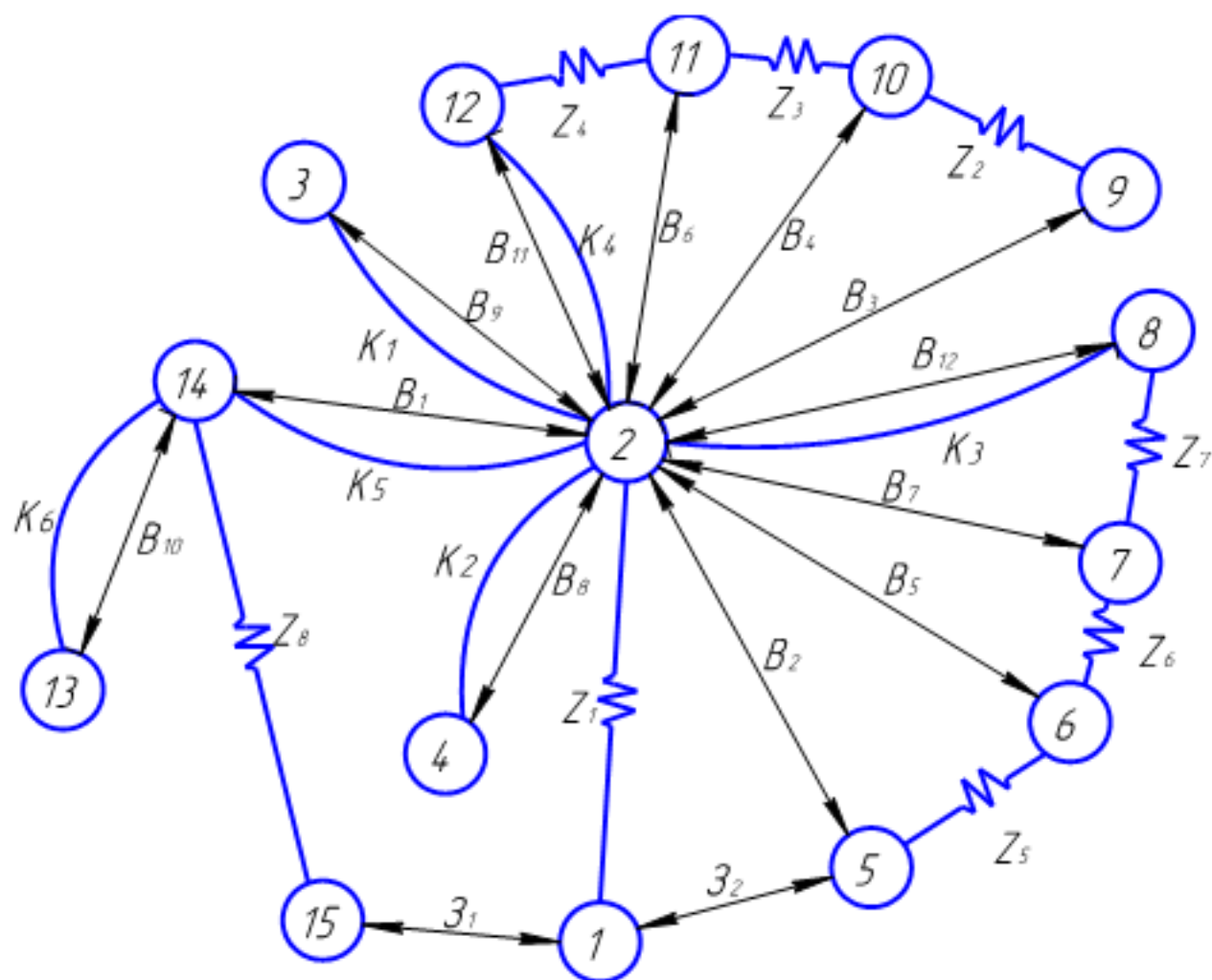


Рисунок 2.13 – Суміщений граф

2.8.5 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

Проміжні припуски можна визначати аналітичним або нормативним способами згідно таблиць.

Дані табличних припусків зводимо в таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 – Дані табличних припусків

Припуски	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8
$Z_{\min}$	1,0	1,0	0,8	0,8	1,0	0,8	0,8	1,0

2.8.6 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Технологічний розмірний ланцюг розбиваємо на ланки, складаємо для кожної ланки рівняння і визначаємо технологічні розміри $B_1, B_2, \dots$. Замикаючими

ланками являються конструкторські розміри $K_1, K_2, \dots$, або припуски $Z_1, Z_2, \dots$. Зведемо всі рівняння в таблицю 2.19.

Таблиця 2.19 – Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

№	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що розраховується
1	2	3	4
1	$B_{10} - K_6 = 0$	$B_{10} = K_6$	B_{10}
2	$B_1 - K_5 = 0$	$B_1 = K_5$	B_1
3	$B_9 - K_1 = 0$	$B_9 = K_1$	B_9
4	$B_{11} - K_4 = 0$	$B_{11} = K_4$	B_{11}
5	$B_{12} - K_3 = 0$	$B_{12} = K_3$	B_{12}
6	$B_8 - K_2 = 0$	$B_8 = K_2$	B_8
7	$B_7 + Z_7 - B_{12} = 0$	$Z_7 = B_{12} - B_7$	B_7
8	$B_5 + Z_6 - B_7 = 0$	$Z_6 = B_7 - B_5$	B_5
9	$B_2 + Z_5 - B_5 = 0$	$Z_5 = B_5 - B_2$	B_2
10	$3_2 - B_2 - Z_1 = 0$	$Z_1 = 3_2 - B_2$	3_2
11	$3_1 - Z_8 - B_1 + B_2 - 3_2 = 0$	$Z_8 = 3_1 - B_1 + B_2 - 3_2$	3_1
12	$B_6 + Z_4 - B_{11} = 0$	$Z_4 = B_{11} - B_6$	B_6
13	$B_4 + Z_3 - B_6 = 0$	$Z_3 = B_6 - B_4$	B_4
14	$B_3 + Z_2 - B_4 = 0$	$Z_2 = B_4 - B_3$	B_3

2.8.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків

Записуємо вихідні дані для розрахунків

1 Конструкторські розміри

$$K_1 = 20 \pm 0,105 \text{ мм};$$

$$K_2 = 25 \pm 0,125 \text{ мм};$$

$$K_3 = 100 \pm 0,175 \text{ мм};$$

$$K_4 = 104 \pm 0,175 \text{ мм};$$

$$K_5 = 122 \pm 0,125 \text{ мм};$$

$$K_6 = 12 \pm 0,09 \text{ мм}.$$

2 Допуски заготовки

$$IT(3_1) = 1,5 \text{ мм};$$

$$IT(3_2) = 1,5 \text{ мм}.$$

Ланцюгові рівняння починаємо розв'язувати з кінця технологічного процесу. Рівняння повинні бути з одним невідомим, замикаючою ланкою яких є конструкторські розміри $K_1, K_2, \dots$ або $Z_1, Z_2, \dots$

Розв'язуємо рівняння технологічних ланцюгів:

- 1 $B_{10} = K_6 = 12 \pm 0,09 \text{ мм};$
 $B_{10\max} = 12,09 \text{ (мм)}; B_{10\min} = 11,91 \text{ (мм)}.$
- 2 $B_1 = K_5 = 122 \pm 0,2 \text{ мм};$
 $B_{1\max} = 122,2 \text{ мм}; B_{1\min} = 121,8 \text{ мм}.$
- 3 $B_9 = K_1 = 20 \pm 0,105 \text{ мм};$
 $B_{9\max} = 20,105 \text{ мм}; B_{9\min} = 19,895 \text{ мм}.$
- 4 $B_{11} = K_4 = 104 \pm 0,175 \text{ мм};$
 $B_{11\max} = 104,175 \text{ мм}; B_{11\min} = 103,825 \text{ мм}.$
- 5 $B_{12} = K_3 = 100 \pm 0,175 \text{ мм};$
 $B_{12\max} = 100,175 \text{ мм}; B_{12\min} = 99,825 \text{ мм}.$
- 6 $B_8 = K_2 = 35 \pm 0,125 \text{ мм};$
 $B_{8\max} = 35,125 \text{ мм}; B_{8\min} = 34,875 \text{ мм}.$
- 7 $Z_{7\min} = B_{12\min} - B_{7\max};$
 $B_{7\max} = B_{12\min} - Z_{7\min} = 99,825 - 0,8 = 99,025 \text{ (мм)};$
 $B_{7\min} = B_{7\max} - IT(B_7) = 99,025 - 0,35 = 98,675 \text{ (мм)};$
 $B_7 = 98,85 \pm 0,175 \text{ мм};$
 $Z_{7\max} = B_{12\max} - B_{7\min} = 100,175 - 98,675 = 1,5 \text{ (мм)}.$
- 8 $Z_{6\min} = B_{7\min} - B_{5\max};$
 $B_{5\max} = B_{7\min} - Z_{6\min} = 98,675 - 0,8 = 97,875 \text{ (мм)};$
 $B_{5\min} = B_{5\max} - IT(B_5) = 97,875 - 0,35 = 97,525 \text{ (мм)};$
 $B_5 = 97,7 \pm 0,175 \text{ мм};$
 $Z_{6\max} = B_{7\max} - B_{5\min} = 99,025 - 97,525 = 1,5 \text{ (мм)}.$
- 9 $Z_{5\min} = B_{5\min} - B_{2\max};$
 $B_{2\max} = B_{5\min} - Z_{5\min} = 97,525 - 1 = 96,525 \text{ (мм)};$
 $B_{2\min} = B_{2\max} - IT(B_2) = 96,525 - 0,35 = 96,175 \text{ (мм)};$

$$B_2 = 96,35 \pm 0,175 \text{ MM};$$

$$Z_{5\max} = B_{5\max} - B_{2\min} = 97,875 - 96,175 = 1,7 \text{ (MM)}.$$

$$10 \quad Z_{1\min} = 3_{2\min} - B_{2\max};$$

$$3_{2\min} = B_{2\max} - Z_{1\min} = 96,525 + 1,0 = 97,525 \text{ (MM)};$$

$$3_{2\max} = 3_{2\min} + IT(3_2) = 97,525 + 1,5 = 99,025 \text{ (MM)};$$

$$3_2 = 98,275 \pm 0,75 \text{ MM};$$

$$Z_{1\max} = 3_{2\max} - B_{2\min} = 99,025 - 96,175 = 2,85 \text{ (MM)}.$$

$$11 \quad Z_{8\min} = 3_{1\min} - B_{1\max} + B_{2\min} - 3_{2\max};$$

$$3_{1\min} = Z_{8\min} + B_{1\max} - B_{2\min} + 3_{2\max} = 1 + 122,2 - 96,175 + 99,025 = 126,05 \text{ (MM)};$$

$$3_{1\max} = 3_{1\min} + IT(3_1) = 126,05 + 1,5 = 127,55 \text{ (MM)};$$

$$3_1 = 126,8 \pm 0,75 \text{ MM};$$

$$Z_{8\max} = 3_{1\max} - B_{1\min} + B_{2\max} - 3_{2\min} = 127,55 - 121,8 + 96,175 - 97,525 = 4,4 \text{ (MM)}.$$

$$12 \quad Z_{4\min} = B_{11\min} - B_{6\max};$$

$$B_{6\max} = B_{11\min} - Z_{4\min} = 103,825 - 0,8 = 103,025 \text{ (MM)};$$

$$B_{6\min} = B_{6\max} - IT(B_6) = 103,025 - 0,87 = 102,155 \text{ (MM)};$$

$$B_6 = 102,59 \pm 0,175 \text{ MM};$$

$$Z_{4\max} = B_{11\max} - B_{6\min} = 104,175 - 102,155 = 2,02 \text{ (MM)}.$$

$$13 \quad Z_{3\min} = B_{6\min} - B_{4\max};$$

$$B_{4\max} = B_{6\min} - Z_{3\min} = 102,155 - 0,8 = 101,355 \text{ (MM)};$$

$$B_{4\min} = B_{4\max} - IT(B_4) = 101,355 - 0,87 = 100,485 \text{ (MM)};$$

$$B_4 = 100,92 \pm 0,435 \text{ MM};$$

$$Z_{3\max} = B_{6\max} - B_{4\min} = 103,025 - 100,485 = 2,54 \text{ (MM)}.$$

$$14 \quad Z_{2\min} = B_{4\min} - B_{3\max};$$

$$B_{3\max} = B_{4\min} - Z_{2\min} = 100,485 - 1,0 = 99,485 \text{ (MM)};$$

$$B_{3\min} = B_{3\max} - IT(B_3) = 99,485 - 0,87 = 98,615 \text{ (MM)};$$

$$B_2 = 99,05 \pm 0,435 \text{ MM};$$

$$Z_{2\max} = B_{4\max} - B_{3\min} = 101,355 - 98,615 = 2,74 \text{ (MM)}.$$

Висновок. Таким чином, в результаті виконання розмірного аналізу технологічного процесу механічної обробки деталі визначені технологічні розміри $B_1 \dots B_{12}$, розміри вихідної заготовки $Z_1 \dots Z_2$. Це дозволяє забезпечити знаходження дійсних значень всіх конструкторських розмірів $K_1 \dots K_6$ в межах полів допусків. Корекції розроблений технологічний процес не потребує.

2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

2.9.1 Визначення розрахунково-аналітичним методом проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні $\varnothing 32h7_{(-0,025)}$

Технологічний маршрут обробки поверхні $\varnothing 32h7_{(-0,025)}$ складається із обточування попереднього (13 квалітет – $T_1 = 0,39$ мм); обточування остаточного (10 квалітет – $T_2 = 0,1$ мм); шліфування попереднього (8 квалітет – $T_3 = 0,039$ мм) та шліфування остаточного (7 квалітет – $T_4 = 0,025$ мм). Обточування здійснюється на токарному верстаті з ЧПК 16K20T1, шліфування на верстаті ОШ-650Ф3 при схемі базування в центрах. При розв'язанні поставленої задачі отриманий результат та технологічний маршрут обробки заносимо в таблицю 2.20.

Заготовка – штамповка на ГKM; допуск заготовки: $T_{\text{заг}} = 2000$ мкм.

Визначаємо елементи мінімальних припусків [1]:

$$R_{\text{заг}} = 150 \text{ мкм}; T_{\text{заг}} = 200 \text{ мкм};$$

$$R_{z1} = 50 \text{ мкм}; T_{z1} = 50 \text{ мкм};$$

$$R_{z2} = 30 \text{ мкм}; T_{z2} = 30 \text{ мкм};$$

$$R_{z3} = 10 \text{ мкм}; T_{z3} = 20 \text{ мкм};$$

$$R_{z4} = 5 \text{ мкм}; T_{z4} = 15 \text{ мкм}.$$

Оскільки в даному випадку обробка здійснюється на токарному верстаті в центрах, тому похибка установки в радіальному напрямку буде рівна нулю, 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.

Сумарне відхилення при обробці в центрах визначається за формулою:

$$\rho_z = \sqrt{\rho_{zm}^2 + \rho_{кор}^2 + \rho_{\eta}^2} \text{ [мм]}, \quad (2.27)$$

де $\rho_{zm} = 1,0 \text{ мм}$; $\rho_{кор} = \Delta_k \cdot l = 1,0 \cdot 67,5 = 0,0675 \text{ (мм)}$;

де $l = 67,5$ – довжина оброблюваного розміру; Δ_k – часткова кривизна заготовок на один міліметр довжини.

$$\rho_{\eta} = \sqrt{\left(\frac{\delta_z}{2}\right)^2 + 0,25^2} \text{ [мм]}. \quad (2.28)$$

Допуск на поверхні визначаємо згідно [10] для штампованих заготовок нормальної точності, для групи сталі М2, ступеня складності С2: $\delta_z = 3_{mm}$.

Тоді можна визначити загальне зміщення:

$$\begin{aligned} \rho_{\eta} &= \sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^2 + 0,25^2} = 1,52 \text{ (мм)}; \\ \rho_z &= \sqrt{1^2 + 0,0675^2 + 1,52^2} = 1,821 \text{ (мм)}. \end{aligned} \quad (2.29)$$

Остаточне просторове відхилення:

- після точіння попереднього:

$$\rho_1 = 0,05 \cdot 1821 = 91 \text{ (мкм)};$$

- після точіння остаточного:

$$\rho_2 = 0,04 \cdot 91 = 3,64 \approx 4 \text{ (мкм)};$$

- після шліфування попереднього:

$$\rho_3 = 0,02 \cdot 4 = 0,08 \text{ (мкм)}.$$

Розрахунок мінімальних значень припусків здійснюємо, використовуючи основну формулу [1]:

$$2Z_{\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}) \text{ [мкм]}. \quad (2.30)$$

Тоді матимемо наступні значення мінімальних припусків:

Під точіння попереднє:

$$2Z_{\min 1} = 2(150 + 200 + 1821) = 2 \cdot 2171 \text{ (мкм)}.$$

Під точіння остаточне:

$$2Z_{\min 2} = 2(50 + 50 + 91) = 2 \cdot 191 \text{ (мкм)}.$$

Під шліфування попереднє:

$$2Z_{\min 3} = 2(30 + 30 + 4) = 2 \cdot 64 \text{ (мкм)}.$$

Під шліфування остаточне:

$$2Z_{\min 4} = 2(10 + 20) = 2 \cdot 30 \text{ (мкм)}.$$

Знаходимо значення розрахункових розмірів:

$$d_{\rho 3} = 31,975 + 2 \cdot 0,03 = 32,035 \text{ (мм)};$$

$$d_{p2} = 31,035 + 2 \cdot 0,064 = 32,163 \text{ (мм)};$$

$$d_{p1} = 32,163 + 2 \cdot 0,191 = 32,545 \text{ (мм)};$$

$$d_{p3} = 32,545 + 2 \cdot 2,171 = 36,887 \text{ (мм)}.$$

Найбільші граничні розміри:

$$d_{\max 4} = 31,975 + 0,025 = 32 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 3} = 31,035 + 0,034 = 32,074 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 2} = 32,165 + 0,1 = 32,263 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 1} = 32,545 + 0,39 = 32,935 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max \text{ var}} = 36,887 + 2,0 = 38,887 \text{ (мм)}.$$

Граничні значення припусків:

$$2Z_{\max 4}^{zp} = 32,074 - 32 = 0,74 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\max 3}^{zp} = 32,263 - 32,074 = 0,189 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\max 2}^{zp} = 32,935 - 32,263 = 0,672 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\max 1}^{zp} = 38,887 - 32,935 = 5,952 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\min 4}^{zp} = 32,035 - 31,975 = 0,06 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\min 3}^{zp} = 32,163 - 31,035 = 0,128 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\min 2}^{zp} = 32,545 - 32,163 = 0,382 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\min 1}^{zp} = 36,887 - 32,545 = 4,342 \text{ (мм)}.$$

Загальні припуски розраховуємо, сумуючи проміжні припуски:

$$Z_{0 \min} = 0,06 + 0,128 + 0,382 + 4,342 = 4,912 \text{ (мм)};$$

$$Z_{0 \max} = 0,074 + 0,189 + 0,672 + 5,952 = 6,887 \text{ (мм)}.$$

Виконуємо перевірку правильності виконуваних розрахунків:

$$Z_{\max 1}^{sp} - Z_{\min 1}^{sp} = 9,52 - 4,342 = 1,61 \text{ (мм)}; \delta_7 - \delta_1 = 2,0 - 0,39 = 1,61 \text{ (мм)};$$

$$Z_{\max 2}^{sp} - Z_{\min 2}^{sp} = 0,72 - 0,382 = 0,29 \text{ (мм)}; \delta_1 - \delta_2 = 0,39 - 0,1 = 0,29 \text{ (мм)};$$

$$Z_{\max 3}^{sp} - Z_{\min 3}^{sp} = 0,189 - 0,128 = 0,061 \text{ (мм)}; \delta_2 - \delta_3 = 0,1 - 0,039 = 0,061 \text{ (мм)};$$

$$Z_{\max 4}^{sp} - Z_{\min 4}^{sp} = 0,074 - 0,06 = 0,014 \text{ (мм)}; \delta_3 - \delta_4 = 0,039 - 0,025 = 0,014 \text{ (мм)}.$$

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

$$Z_{0 \text{ ном}} = Z_{0 \text{ min}} + H_3 + H_4 = 4,912 + 2,0 + 0,025 = 6,937 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{ном}} = 32 + 6,937 = 38,937 \text{ (мм)}.$$

Таблиця 2.20 – Розрахунок проміжних припусків

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 32 h7_{-0,025}$	Елементи припуска, мкм			Розрах. припуск $2Z_{\min}$, мкм	Розрах. розмір d_p , мм	Допуск δ , мм	Граничний розмір, мм		Граничні значення, мм	
	R_z	T	ρ				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}^{sp}$	$2Z_{\max}^{sp}$
Заготовка	150	200	1821		36,887	2,0	36,887	38,887	-	-
Точіння попереднє	50	50	91	2·2171	32,545	0,39	32,545	32,935	4,342	5,952
Точіння остаточне	30	30	4	2·191	32,163	0,1	32,163	32,263	0,382	0,672
Шліфування попереднє	10	20	-	2·64	31,035	0,039	31,035	32,074	0,128	0,189
Шліфування остаточне	5	15	-	2·30	31,975	0,025	31,975	32	0,06	0,074
Сума									4,912	6,887

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

Використовуючи довідникові дані, визначаємо мінімальні припуски на механічну обробку решти циліндричних поверхонь та розраховуємо відповідні

граничні розміри і максимальні припуски, результат та хід розрахунку зображаємо у вигляді таблиць 2.21-2.24.

Таблиця 2.21 – Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічним переходам на обробку поверхні розміром $\varnothing 40 \pm 6 \left(\begin{smallmatrix} +0,018 \\ +0,002 \end{smallmatrix} \right)$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 40 \pm 6 \left(\begin{smallmatrix} +0,018 \\ +0,002 \end{smallmatrix} \right)$	Розрахунок ковий припуск $2Z_{\min}$	Розрах. розмір, мм d_p	Допуск, мм δ	Граничний розмір		Граничні значення	
				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}^{np}$	$2Z_{\max}^{np}$
Заготовка		43,022	2,0	43,022	45,022	-	-
Точіння попереднє	2·2000	41,022	0,25	41,022	41,272	2,0	3,75
Точіння остаточне	2·300	42,2	0,02	42,2	40,484	0,6	0,788
Шліфування попереднє	2·160	40,102	0,025	40,102	40,127	0,32	0,357
Шліфування остаточне	2·50	40,002	0,016	40,002	40,018	0,1	0,109
Сума						3,02	5,004

Таблиця 2.22 – Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічним переходам на обробку поверхні розміром $\varnothing 30$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 30$	Розрахунок ковий припуск $2Z_{\min}$	Розрах. розмір, мм d_p	Допуск, мм δ	Граничний розмір		Граничні значення	
				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}^{np}$	$2Z_{\max}^{np}$
Заготовка		37,5	1,8	30,39	32,19		
Точіння однократне	2·300	30,39	0,21	29,79	30	0,6	2,9
Сума						0,6	2,9

Таблиця 2.23 – Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічним переходам на обробку поверхні розміром $\varnothing 36$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 36$	Розрахунок ковий припуск $2Z_{\min}$	Розрах. розмір, мм d_p	Допуск, мм δ	Граничний розмір		Граничні значення	
				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}^{np}$	$2Z_{\max}^{np}$
Заготовка		37,5	1,8	36,8	38,1		
Точіння однократне	2·300	36,35	0,25	35,75	36	0,6	2,1
Сума						0,6	2,1

Таблиця 2.24 – Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічним переходам на обробку поверхні розміром Ø60

Технологічні переходи обробки поверхні Ø60	Розрахунковий припуск $2Z_{\min}$	Розрах. розмір, мм d_p	Допуск, мм δ	Граничний розмір		Граничні значення	
				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}^{np}$	$2Z_{\max}^{np}$
Заготовка		65	1,8	63,7	65,5		
Точіння однократне	2·1700	63,7	0,3	59,7	60	3,4	5,5
Сума						3,4	5,5

2.10 Призначення режимів різання

Розрахунок режимів різання будемо виконувати аналітичним способом для таких переходів [13-15]: точіння чорнове, точіння чистове та шліфування чистове циліндричної поверхні Ø32h7_(-0,025), фрезерування пазу 6Н8.

Наведемо приклад розрахунку режимів різання для обробки циліндричної поверхні Ø32h7_(-0,025). Відомо, що обточувати дану поверхню необхідно за два переходи при різних параметрах глибини різання: $t_1 = 5,952$ мм, $t_2 = 0,672$ мм. Третій перехід – шліфування попереднє.

Приймаємо наступні початкові параметри.

Заготовка із Сталь 40Х з межею міцності $\sigma_s = 980$ МПа. Спосіб кріплення заготовки – в центра на токарно-гвинторізному верстаті з ЧПК. Оброблена поверхня повинна задовольняти вимоги точності за 7-м квалітетом та мати параметр шорсткості $Ra = 0,63$ мкм.

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

Передній кут $\gamma = 10^\circ$, при обробці конструктивної сталі з $\sigma_s \leq 1000$ МПа. Головний задній кут $\alpha = 12^\circ$. Кут нахилу головної ріжучої кромки $\lambda = 0^\circ$, так як здійснюється точіння без ударних навантажень. Головний кут в плані $\varphi = 60...75^\circ$, а так як точіння відбувається на прохід в умовах нежорсткої системи ВПД (при $l/d = 70/30 = 2,33$), тоді приймаємо $\varphi = 60^\circ$. Допоміжний кут в плані

$\varphi_1 = 15^\circ$, так як здійснюється обробка прохідним різцем з пластинкою із твердого сплаву без врізання. Радіус при вершині різця $r = 1$ мм.

Чорнова обробка:

- максимальна глибина різання $t_1 = 5,952$ мм;
- призначаємо період стійкості інструмента $T = 60$ хв.;
- вибираємо подачу за [13-15]: $S = 0,3 \dots 0,4$ мм/об, приймаємо $S = 0,3$ мм/об;
- поправковий коефіцієнт K_{Mv} :

$$K_{Mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v}, \quad (2.31)$$

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

Тоді:

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

- швидкість різання:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{xv} \cdot S^{yv}} \cdot K_v \text{ [м/с]}, \quad (2.32)$$

де $C_v = 420$, $x = 0,15$, $y = 0,2$, $m = 0,2$ – Значення коефіцієнтів [13-15].

$$K_v = K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{dv} \cdot K_{\varphi v} \cdot K_{\varphi_1 v} \cdot K_{rv}, \quad (2.33)$$

при $K_{nv} = 0,8$, $K_{uv} = 1,0$, $K_{dv} = 0,9$, $K_{\varphi v} = 0,97$, $K_{\varphi_1 v} = 0,94$ [13-15],

матимемо:

$$v = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 5,952^{0,15} \cdot 0,3^{0,2}} \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,94 = 118,8 \text{ (м/хв)} = 1,98 \text{ (м/с)};$$

- частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} [\text{хв}^{-1}], \quad (2.34)$$

Тоді

$$n = \frac{1000 \cdot 118,8}{3,14 \cdot 32,6} = 1160,8 \text{ (хв}^{-1}\text{)}.$$

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

$$n_{\phi} = 1000 \left(\frac{1}{\text{хв}} \right).$$

Тоді

$$v_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 32,6 \cdot 1000}{1000} = 102,4 \text{ (м/хв.)}$$

- потужність, що витрачається на різання:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot v_{\phi}}{60 \cdot 102} [\text{кВт}], \quad (2.35)$$

де

$$P_z = C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot v^{n_{pz}} K_{pz} [\text{Н}]; \quad (2.36)$$

$$P_y = C_{py} \cdot t^{x_{py}} \cdot S^{y_{py}} \cdot v^{n_{py}} K_{py} [\text{Н}]; \quad (2.37)$$

$$P_x = C_{px} \cdot t^{x_{px}} \cdot S^{y_{px}} \cdot v^{n_{px}} K_{px} [\text{Н}]. \quad (2.38)$$

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

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

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

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

Враховуємо поправкові коефіцієнти на силу різання:

$$K_{P_z} = K_{MP_z} \cdot K_{\varphi P_z} \cdot K_{\varphi_1 P_z} \cdot K_{\gamma P_z} \cdot K_{\lambda P_z} \cdot K_{r P_z} ; \quad (2.39)$$

$$K_{P_y} = K_{MP_y} \cdot K_{\varphi P_y} \cdot K_{\varphi_1 P_y} \cdot K_{\gamma P_y} \cdot K_{\lambda P_y} \cdot K_{r P_y} ; \quad (2.40)$$

$$K_{P_x} = K_{MP_x} \cdot K_{\varphi P_x} \cdot K_{\varphi_1 P_x} \cdot K_{\gamma P_x} \cdot K_{\lambda P_x} \cdot K_{r P_x} . \quad (2.41)$$

При цьому

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_a}{750} \right)^{n_P} , \quad (2.42)$$

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

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

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

$$\begin{aligned} K_{\varphi z} &= 0,94 ; K_{\varphi_1 z} = 1,0 ; K_{\gamma z} = 1,0 ; K_{\lambda z} = 1,0 ; K_{r P_z} = 0,93 ; \\ K_{\varphi y} &= 0,77 ; K_{\varphi_1 y} = 1,0 ; K_{\gamma y} = 1,0 ; K_{\lambda y} = 1,0 ; K_{r P_y} = 0,82 ; \\ K_{\varphi x} &= 1,11 ; K_{\varphi_1 x} = 1,0 ; K_{\gamma x} = 1,0 ; K_{\lambda x} = 1,0 ; K_{r P_x} = 1,0 . \end{aligned}$$

Знаходимо чисельні значення коефіцієнтів:

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

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

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

Тепер можна обрахувати сили різання:

$$P_z = 3000 \cdot 5,8^{1,0} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 102,4^{-0,15} \cdot 0,8742 = 3079,3 H ;$$

$$P_y = 2430 \cdot 5,8^{0,9} \cdot 0,3^{0,6} \cdot 102,4^{-0,3} \cdot 0,6314 = 1077,8 H ;$$

$$P_x = 3390 \cdot 5,8^{1,0} \cdot 0,3^{0,5} \cdot 102,4^{-0,4} \cdot 1,11 = 1876,7 H .$$

Тоді потужність буде:

$$N_{\text{різ}} = \frac{3079,3 \cdot 102,4}{60 \cdot 1020} = 5,15 \text{ (кВт)};$$

- перевіряємо достатність потужності приводу верстата умові:

$$N_{\text{ном}} \leq [N_{\text{верст}}], \quad (2.43)$$

$$5,15 \leq 10 \text{ (кВт)}.$$

Отже, обробка можлива.

Отже, за допомогою [13-15] визначено режими різання для всіх операцій.

Результати занесено в таблицю 2.25.

Таблиця 2.25 – Режими різання на операції

Назва переходу, операції	Глибина різання, мм	Подача, мм/об	Швидкість різання, м/хв	Частота обертання шпинделя, об/хв	Потужність різання, кВт
1	2	3	4	5	6
005 Фрезерно-центрувальна					
Фрезерувати торці 1,3 однократно	2,50	0,1	25,12	400	2,3
Центрувати пов. 2, 4 однократно	2,50	0,3	6,7	150	0,5
010 Токарна з ЧПК					
Точити поверхню 5 попередньо	5,3	0,3	102,4	1000	5,15
Точити поверхню 6 попередньо	2	0,3	92,5	1000	4,8
Точити поверхню 7 попередньо	5,8	0,2	65,13	1000	3,4
Точити поверхню 8 попередньо	2	0,2	72,5	1000	3,6
Точити пов. 9,10 однократно	2	0,3	61,23	1000	3,5
Точити пов. 11, 12 однократно	2	0,3	56,13	1000	3,1
Точити поверхню 13 однократно	1	0,3	54,2	1000	2,9

Продовження таблиці 2.25

1	2	3	4	5	6
Точити поверхні 5, 6 остаточно	0,62	0,1	202,2	2000	0,3
Точити поверхні 7,8 остаточно	0,63	0,1	125,6	2000	0,23
Точити поверхню 14 однократно	5,2	0,3	122,46	1000	5,8
Точити поверхню 15 однократно	2,1	0,3	73,48	1000	3,7
Точити поверхню 16 однократно	2	0,2	85,6	1000	4,4
Точити канавки 17, 18, 19 однократно	0,5	0,2	65,32	1000	3,4
Нарізати різь на поверхні 11	1,5	0,15	2,54	30	0,4
015 Токарна з ЧПК					
Свердлити отвір 20	10,5	0,3	4,95	150	0,55
Розточити отвір 20 однократно	0,2	0,12	86,35	2000	1,9
Точити фаску 21 однократно	1	0,2	44,9	1000	2,25
Точити канавку 22 однократно	0,5	0,12	44,9	1000	2,4
020 Вертикально-свердлильна з ЧПК					
Центрувати 6 отворів 23	4,5	0,3	2,12	150	0,5
Свердлити 6 отворів 23	3	0,3	2,8	150	0,7
Зенкерувати 6 отворів 23 остаточно	0,05	0,12	5,65	300	0,8
025 Вертикально-фрезерна з ЧПК					
Фрезерувати паз 24	2,5	0,1	11,3	800	0,2
Центрувати отвір 25	4,5	0,3	2,12	150	0,5
Свердлити отвір 25	3	0,3	2,8	150	0,7
Нарізати різь в отворі 25	0,5	0,04	0,56	30	0,1
Центрувати отвір 26	4,5	0,3	2,12	150	0,5
Свердлити отвір 26	4	0,3	3,77	150	0,6
030 Довбальна					
Довбати паз 27	2,8	12,5	125,6	-	3,7
040 Торцекруглошліфувальна з ЧПК					
Шліфувати поверхні 5, 6, 7, 8 попередньо	0,04	0,12	376,8	3000	0,8
Шліфувати поверхні 5, 6, 7, 8 остаточно	0,03	0,12	301,44	3000	0,5
045 Внутрішньошліфувальна					
Шліфувати поверхню 20 остаточно	0,05	0,12	207,24	3000	0,4

2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання

Режими різання можуть бути оптимізовані по цілому рядові параметрів, зокрема із врахуванням стійкості інструмента, матеріалу який обробляється, швидкості різання і потужності, які може забезпечити верстат, шорсткості та точності поверхні, яка має бути отримана та ряду інших параметрів. В даному випадкові використовується розрахунково-графічний спосіб, який оснований на тому, що відповідно для кожного обмеження будується пряма і визначається область допустимих значень режимів різання [1]. Тобто це ті значення які можуть бути забезпечені верстатом, і використання яких принесе бажану точність поверхні. При цьому із отриманої області обираються максимальні значення подачі і числа обертів інструмента чи деталі, що дозволяє проводити максимально допустиму продуктивну обробку поверхонь.

В даному випадкові виконана оптимізація режимів різання для свердління отворів $\varnothing 6H8$ мм та однократне точіння зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 60$. На рисунку 2.15 приведений графік оптимізації для точіння, де заштрихована область допустимих режимів різання і вибрані оптимальні їх значення, зокрема подача 0,299 мм та число обертів інструменту 1075 об/хв.

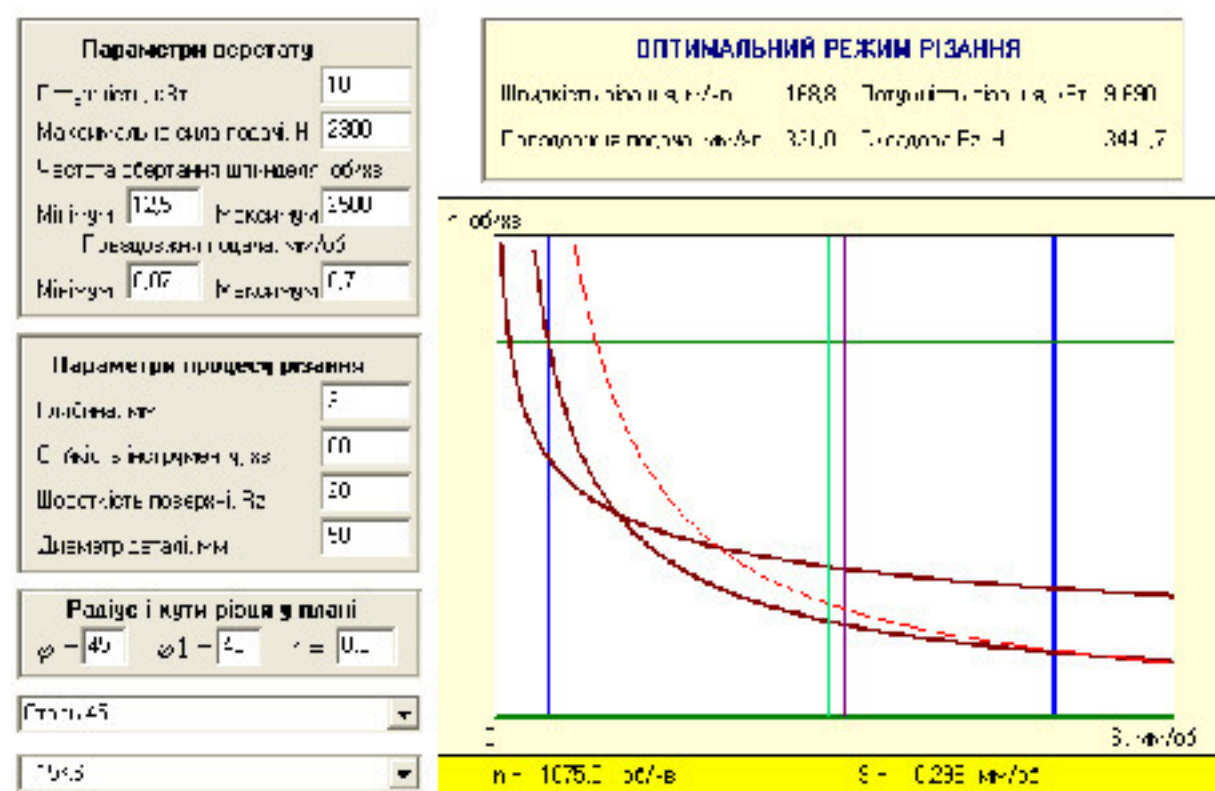


Рисунок 2.15 – Оптимізація режимів різання при точінні

Також проведені розрахунки і побудовані залежності для режимів різання при свердлінні і визначено, що оптимальними будуть подача 0,1 мм і швидкість різання 5 м/хв.

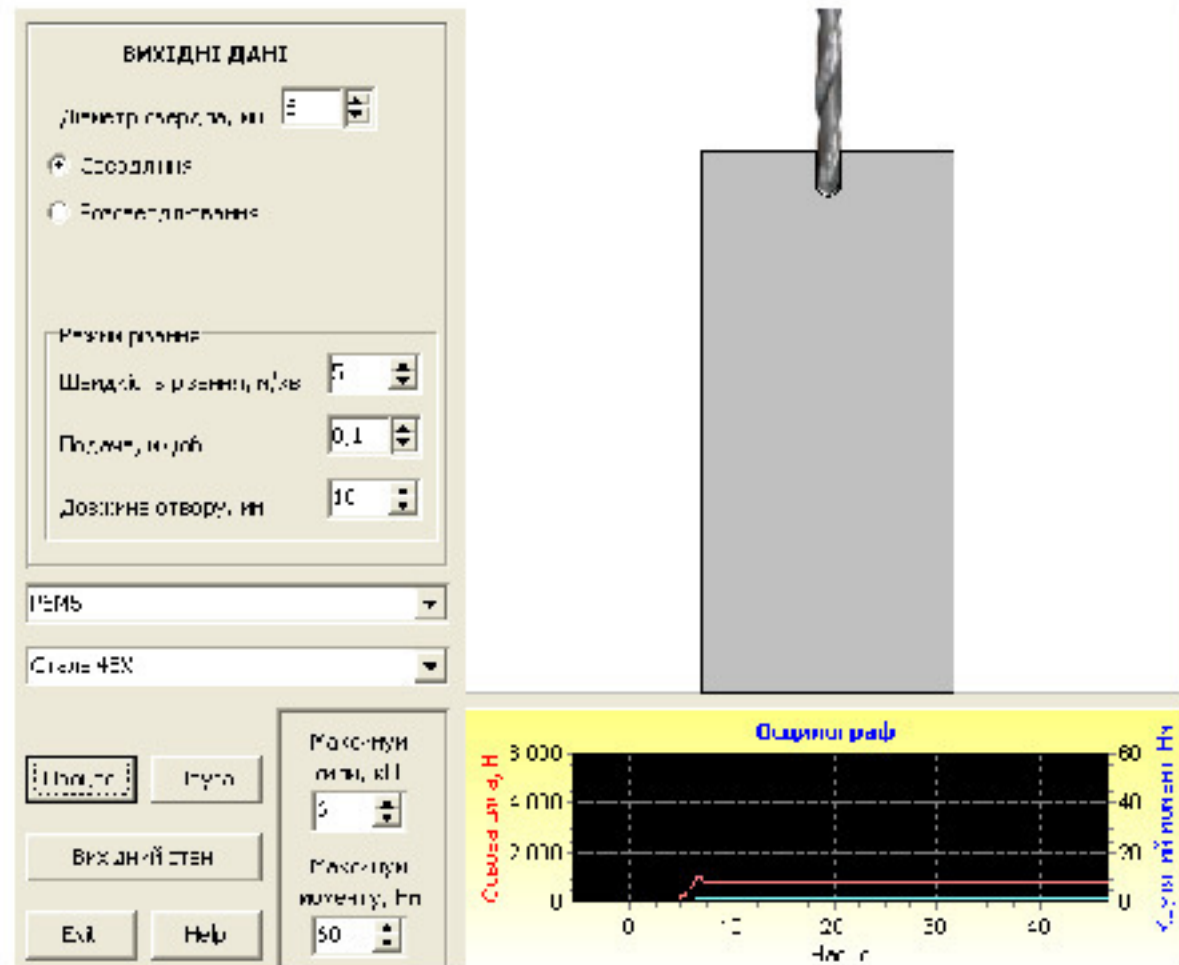


Рисунок 2.16 – Оптимізація режимів різання при свердлінні отворів

Використання програми дозволило отримати оптимальні значення режимів різання для двох переходів.

2.12 Визначення технічних норм часу

Визначення технічних норм часу на операції. Для операції 010 детальне визначення норми часу. Для решти операцій норми часу і їх складові зведені у підсумковій таблиці.

Технічні норми часу в умовах серійного виробництва визначається як норма штучно-калькуляційного часу [1, 14, 15]:

$$T_{\text{шт-к}} = \frac{T_{\text{н-з}}}{n} + T_{\text{шт}} \quad [\text{хв}], \quad (2.50)$$

де T_{n-2} – підготовчо-заклучний час, що для операції 010 в умовах серійного типу виробництва за [1, 14, 15] рівний сумі часу на налагодження верстату та на додаткові прийоми:

$$T_{n-2} = 17+4+3+8 = 32 \text{ (хв)};$$

n – кількість деталей в партії, $n = 254$ шт. (п. 2.2);

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

$$T_{\text{шт}} = T_0 + T_{\text{доп}} + T_{\text{об}} + T_{\text{от}} \text{ [хв]}, \quad (2.52)$$

де T_0 – основний час, що рівний для операції 010 за формулами згідно [1, 14, 15]:

$$\begin{aligned} T_0 = \sum \frac{L}{n \cdot S_0} i = & \frac{8}{1000 \cdot 0,3} 5 + \frac{24}{1000 \cdot 0,3} + \frac{100}{1000 \cdot 0,2} 2 + \frac{8}{1000 \cdot 0,2} + \frac{35}{1000 \cdot 0,3} + \frac{1,5}{1000 \cdot 0,3} + \\ & + \frac{20}{1000 \cdot 0,3} + \frac{1,5}{1000 \cdot 0,3} + \frac{1}{1000 \cdot 0,3} + \frac{4}{2000 \cdot 0,1} + \frac{65}{2000 \cdot 0,1} + \frac{4}{2000 \cdot 0,1} + \frac{18}{1000 \cdot 0,3} + \frac{12}{1000 \cdot 0,3} + \\ & + \frac{12}{1000 \cdot 0,2} + \frac{0,5}{1000 \cdot 0,2} + \frac{18}{30 \cdot 0,04} = 3,867 \text{ (хв)} \end{aligned}$$

$T_{\text{доп}}$ – допоміжний час, що можна знайти за формулою:

$$T_{\text{доп}} = T_{y.c} + T_{z.o} + T_{yn} + T_{\text{шт}} \text{ [хв]}, \quad (2.53)$$

де $T_{y.c}$ – час на установку і зняття деталі, що рівний 0,07 хв.;

$T_{z.o}$ – час на закріплення і розкріплення деталі, що рівний 0,058 хв.;

T_{yn} – час на прийоми управління, що рівний 0,65 хв.;

$T_{\text{шт}}$ – час на вимірювання деталі, що рівний 0,1 хв.

Тоді

$$T_{\text{доп}} = 0,07 + 0,058 + 0,65 + 0,1 = 0,878 \text{ (хв.)};$$

$T_{\text{об}}$ – час на обслуговування робочого місця, що визначається за формулою:

$$T_{\text{об}} = 7\% \cdot (T_o + T_{\text{доп}}) = 0,07 \cdot (3,867 + 0,878) = 0,332 \text{ (хв.)};$$

$T_{\text{отп}}$ – час на відпочинок і особисті потреби, що визначаємо за формулою:

$$T_{\text{отп}} = 5\% \cdot (T_o + T_{\text{доп}}) = 0,05 \cdot (3,867 + 0,878) = 0,24 \text{ (хв.)};$$

Тоді матимемо наступне значення штучного часу:

$$T_{\text{шт}} = 3,867 + 0,878 + 0,332 + 0,24 = 5,317 \text{ (хв.)};$$

Штучно-калькуляційний час матиме значення:

$$T_{\text{шт-к}} = \frac{32}{254} + 5,317 = 5,44 \text{ (хв.)}$$

Аналогічним способом визначаємо норми часу на інші поверхні деталі та отриманий результат заносимо до таблиці 2.26.

Загальний час на обробку деталі становитиме:

$$T_{\text{заг}} = 1,38 + 5,44 + 2,18 + 1,53 + 1,62 + 1,59 + 1,52 + 1,78 = 17,04 \text{ (хв.)}$$

Таблиця 2.26 – Звідна таблиця технічних норм часу по операціям

Номер і найменування операції	T_o , хв	T_o , хв			$T_{ав}$, хв	$T_{об}$, хв	$T_{ам}$, хв	$T_{амм}$, хв	$T_{п-з}$, хв	n	$T_{пм-к}$, хв
		$T_{y.c} + T_{z.o}$	$T_{y.n}$	$T_{мз}$							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
005 Фрезерно- центрувальна	0,252	0,4	0,65	0,1	1,132	0,08	0,06	1,27	27	254	1,38
010 Токарна з ЧПК	3,867	0,128	0,65	0,1	4,745	0,332	0,24	5,317	32	254	5,44
015 Токарна з ЧПК	0,681	0,4	0,65	0,1	1,83	0,13	0,09	2,05	32	254	2,18
020 Вертикально- свердлильна з ЧПК	0,243	0,55	0,38	0,1	1,27	0,09	0,06	1,42	27	254	1,53
025 Вертикально- фрезерна з ЧПК	0,455	0,128	0,38	0,1	1,33	0,09	0,07	1,49	32	254	1,62
030 Довбальна	0,42	0,45	0,38	0,1	1,22	0,09	0,07	1,51	20	254	1,59
040 Торцекруло- шліфувальна	0,371	0,128	0,65	0,1	1,25	0,087	0,06	1,39	32	254	1,52
045 Внутрішньо- шліфувальна	0,139	0,6	0,65	0,1	1,49	0,1	0,07	1,67	27	254	1,78

З ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗЦЯ НА ОПТИМАЛЬНІ РЕЖИМИ РІЗАННЯ ДЛЯ ЧОРНОВОГО Й ЧИСТОВОГО ТОЧІННЯ ЗАГОТОВОК СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ

3.1 Постановка задачі дослідження

Призначення режимів різання є важливим етапом проектування операцій механічної обробки. Бажано, щоб ці режими були раціональними, а найкраще — оптимальними. Це зменшує собівартість виробів.

Відомо [16-18], що одним з поширених підходів до вибору оптимальних режимів різання є застосування методу лінійного програмування. Цей метод ґрунтується на використанні технічних обмежень та критерію оптимальності.

Характер функціональних залежностей обмежень залежить від способу обробки й визначається конкретними технологічними умовами. Для переходів точіння зазвичай використовують такі обмеження:

- за бажаною шорсткістю обробленої поверхні.
- за найбільшою можливою подачею;
- за найменшою можливою подачею;
- за потужністю приводу головного руху;
- за стійкістю різця;
- за найменшою частотою обертання шпинделя;
- за найбільшою можливою силою подачі, що допускається міцністю пластини різця;
- за найбільшою можливою частотою обертання шпинделя;

Співробітниками кафедри технології машинобудування НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» з використанням означених вище обмежень розроблена комп'ютерна програма для вибору оптимальних режимів різання. Саме ця програма й використана для виконання цього дослідження.

Метою роботи є виявлення ступенів впливу геометричних параметрів різця (радіуса заокруглення вершини різця, головного і допоміжного кутів в плані) на

оптимальні значення режимів різання для чорнового і чистового точіння заготовок сталевих деталей, які мають форму тіла обертання.

Для досягнення мети роботи сформовані такі завдання:

- спроектувати технологічну операцію механічної обробки заготовки деталі;
- сформулювати обмеження стосовно вибору режимів різання (подачі і швидкості різання) для прийнятих технологічних умов;
- встановити залежності оптимальної швидкості різання для чорнового і чистового розточування від геометричних параметрів різця;
- проаналізувати отримані залежності, зробити висновки і сформулювати рекомендації.

3.2 Результати дослідження

Під час виконання роботи вважалось, що найбільша продуктивність і найменша собівартість переходу буде забезпечена за максимально можливих для заданих технологічних умов значень швидкості різання v і подачі s за умови вибору раціонального значення стійкості різця.

Згідно з рекомендаціями [16], стійкість різця T прийнята рівною 60 хвилин і всі дослідження виконувались саме з цим значенням стійкості.

За критерій оптимальності вибрано функцію

$$C_{\min} = \frac{K}{vs} . \quad (3.1)$$

Дослідження виконувалось на прикладі технологічного процесу виготовлення деталі «Цапфа П.02.027» в умовах середньосерійного виробництва. Згідно з попередньо розробленим маршрутом прийнято, що обробка чорновим і чистовим точінням виконується на токарному верстаті з ЧПК 16K20T1.02. Ескіз обробки показано на рис. 3.1.

Матеріал деталі і, відповідно, заготовки – Сталь 40Х. Вважалось, що твердість матеріалу заготовки складає 260...280 НВ. Розміри оброблюваної поверхні: діаметр 32,3 мм; довжина 63 мм.

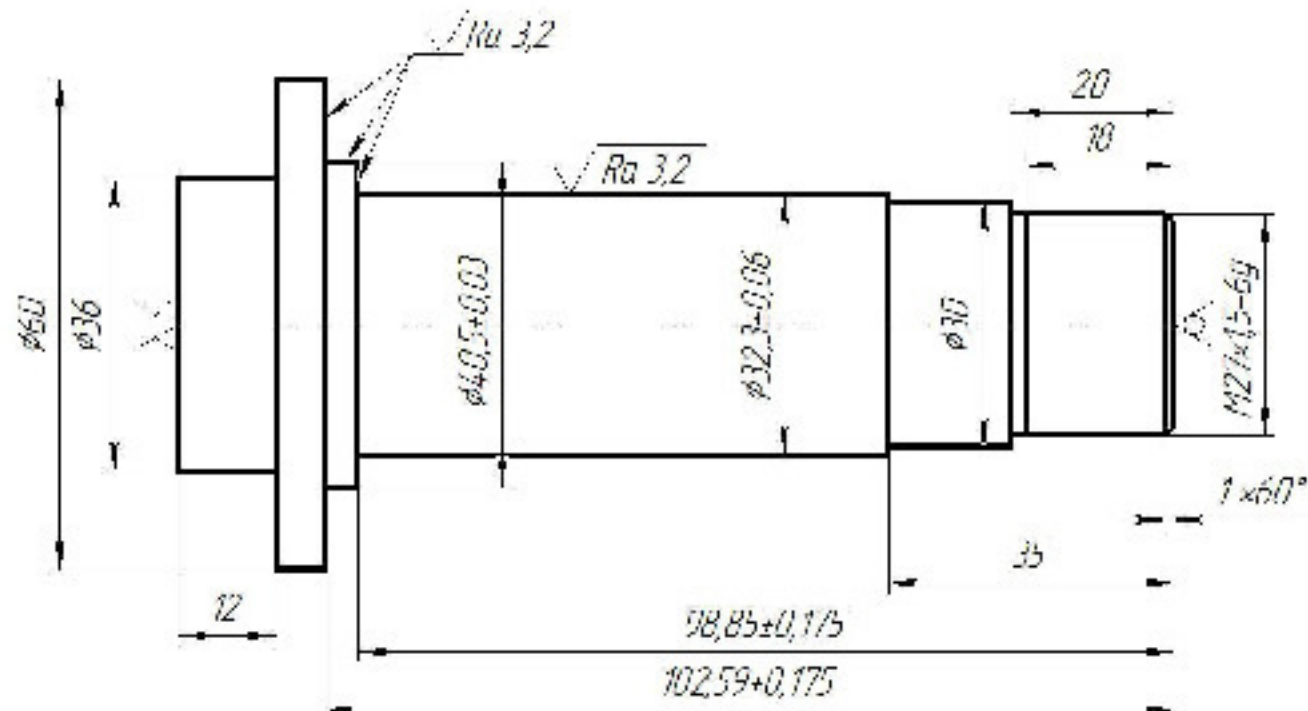


Рисунок 3.1 – Ескіз обробки

В математичній моделі процесу на переходах чорнового і чистового розточувань використані обмеження, що зумовлені технічними можливостями токарного верстата з ЧПК 16K20T1.02, а саме:

- за потужністю приводу головного руху верстата (11 кВт);
- за максимальною силою подачі верстата (3600 Н);
- за діапазоном подач верстата (1 – 2500 мм/хв);
- за діапазоном частот обертання шпинделя (12,5 – 2000 об/хв.).

Величина максимальної сили поздовжньої подачі верстата вибрана відповідно до паспорта верстата з ЧПК 16K20T1.02.

Використано також обмеження режимів різання (швидкості різання і подачі) за стійкістю різця на основі відомої емпіричної формули [16, 17], яка визначає залежність швидкості різання при точінні і розточуванні від стійкості, глибини різання, подачі, геометричних параметрів різця та інших технологічних факторів.

$$n s^{y_r} \leq \frac{318 C_v K_v}{D T^m t^{x_v}}, \quad (3.2)$$

де K_v – загальний поправковий коефіцієнт.

C_v , x_v , y_v – коефіцієнт і показники степеня, що залежать від умов обробки;

t – глибина різання, мм;

D – діаметр заготовки, мм;

n – частота обертання заготовки, об/хв;

s – поздовжня подача, мм/об;

m – показник відносної стійкості;

Аналізувались два переходи обробки:

- чорнове точіння (бажана шорсткість поверхні після обробки $Ra\ 12,5\ \mu\text{м}$ ($Rz\ 50\ \mu\text{м}$); глибина різання $t = 2 \dots 5\ \text{мм}$; матеріал різальної частини різця – титано-вольфрамо-кобальтовий твердий сплав T5K10);

- чистове точіння (бажана шорсткість поверхні після обробки $Ra\ 1,6\ \mu\text{м}$ ($Rz\ 6\ \mu\text{м}$); глибина різання $t = 0,1 \dots 0,25\ \text{мм}$; матеріал різальної частини різця – титано-вольфрамо-кобальтовий твердий сплав T15K6). Діапазон радіусів при вершині різця $0,5 \dots 2\ \text{мм}$.

Матеріал різальної частини прохідних різців для чорнового й чистового точіння вибрано згідно з рекомендаціями [16].

На рис. 3.2 показано копію екрана комп'ютерного монітора з результатом вибору оптимальних швидкості різання й подачі для чорнового точіння поверхні $\varnothing 33\ \text{мм}$. Параметри процесу різання такі: $t = 5\ \text{мм}$, $r = 0,5\ \text{мм}$; $\varphi = 80^\circ$; $\varphi_1 = 20^\circ$. З аналізу рис. 3.2 випливає, що в даному випадку оптимальна величина подачі визначається обмеженням за максимально допустимою силою поздовжньої подачі, а оптимальна величина швидкості різання — обмеженням за потужністю різання.

Зменшення глибини різання в межах від 5 до 2 мм дозволяє помітно підвищити оптимальна величину швидкості різання (рис. 3.3) і оптимальну величину подачі (рис. 3.4).

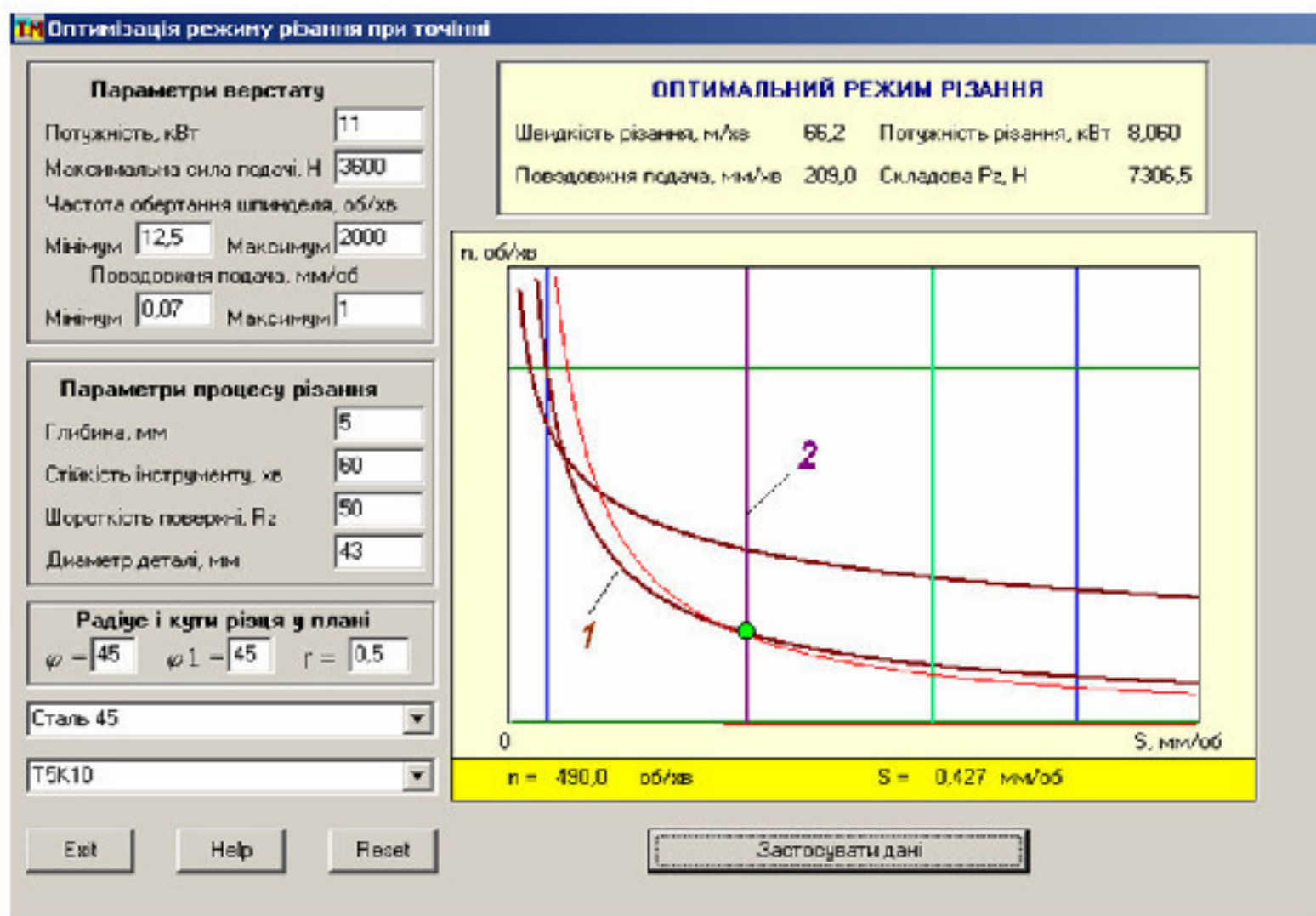


Рисунок 3.2 – Копія екрана комп'ютерного монітора з результатом вибору оптимальних швидкості різання й подачі для чорнового точіння поверхні Ø33 мм. Параметри процесу різання: $t = 5$ мм, $r = 0,5$ мм; $\varphi = 80^\circ$; $\varphi_1 = 20^\circ$.

Крива 1 – обмеження за потужністю різання; пряма 2 – обмеження за максимально допустимою силою поздовжньої подачі

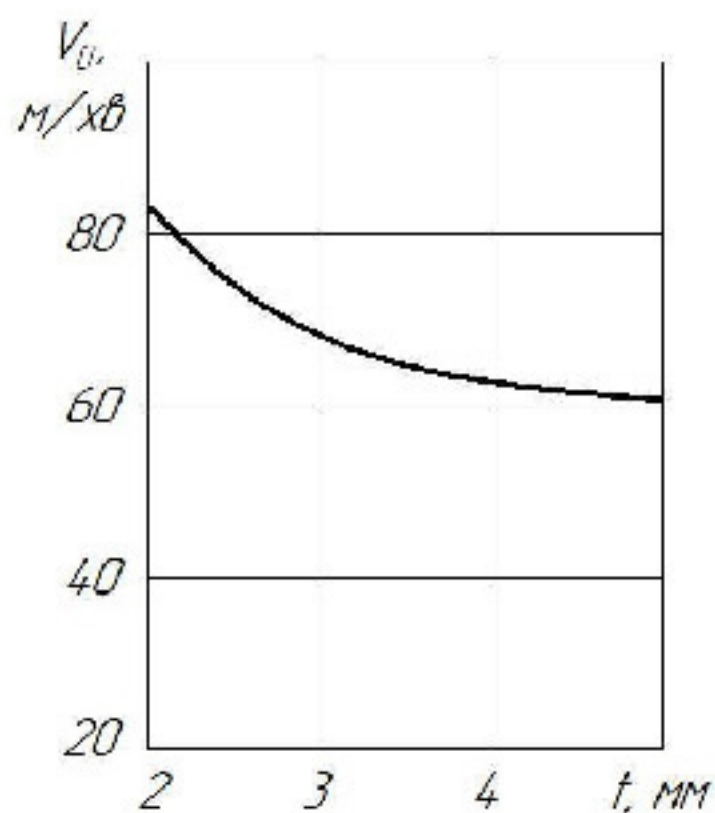


Рисунок 3.3 – Залежність оптимальної швидкості різання v_0 для чорнового точіння від глибини різання t

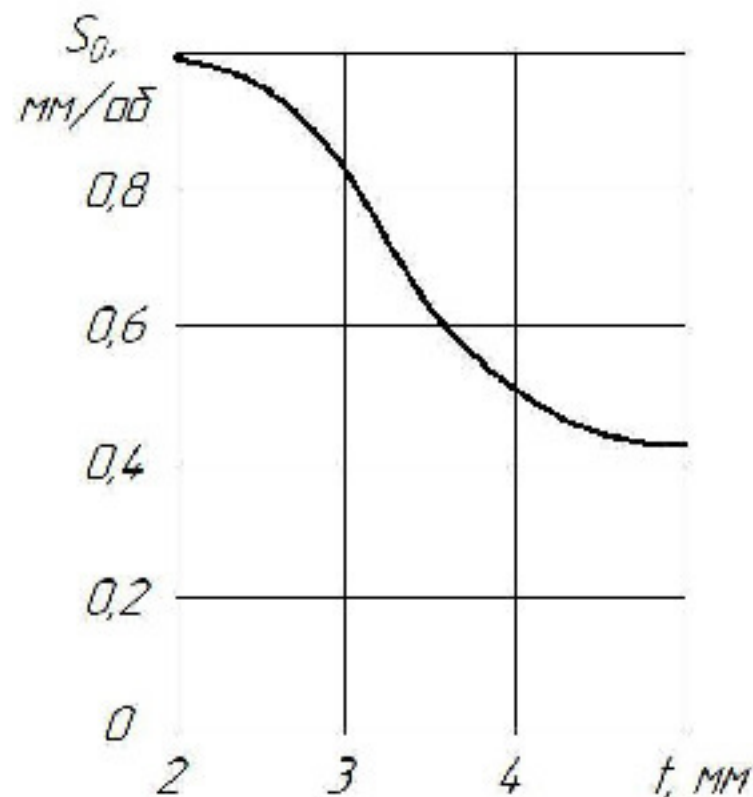


Рисунок 3.3 – Залежність оптимальної подачі s_0 для чорнового точіння від глибини різання t

На рис. 3.4 показано зображення копії екрана комп'ютерного монітора з прикладам результатів вибору оптимальних швидкості різання і подачі для чистового точіння. Аналіз цього рисунку показує, що в даному випадку оптимальна величина подачі визначається обмеженням за вимогою до шорсткості обробленої поверхні, а оптимальна величина швидкості різання — обмеженням за найбільшою частотою обертання шпинделя.

Графік залежностей оптимальної швидкості різання від бажаної шорсткості обробленої поверхні для різних значень радіусів вершини різця показані на рисунку 3.6. Дослідження проводилось за таких значень кутів у плані: $\varphi = 80^\circ$; $\varphi_1 = 20^\circ$. З графіків випливає, що збільшення радіуса вершини різця зменшує оптимальну швидкість різання.

Досліджено також вплив величини головного кута в плані φ на оптимальну швидкість різання для чистового і тонкого розточування. Графіки цих залежностей показані на рисунках 3.7 і 3.8. Величина кута φ_1 становила 20° . Для чистового розточування бажана шорсткість обмежувалась значенням 3,2 мкм, а для тонкого — відповідно 1,6 мкм. З графіків видно, що за прийнятих

технологічних умов зміна кута φ практично не впливає на оптимальні значення швидкості різання і подачі.

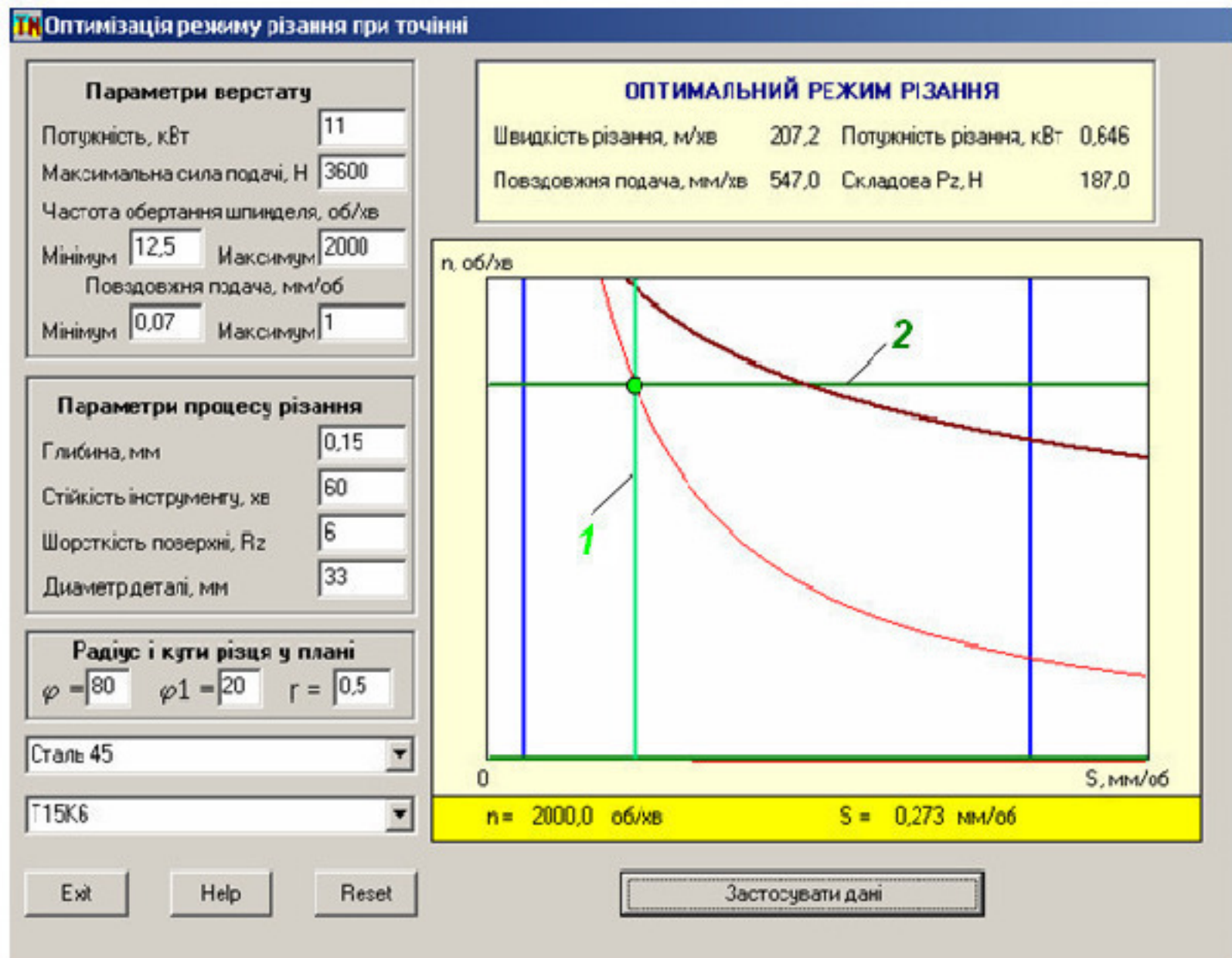


Рисунок 3.5 – Копія екрана комп'ютерного монітора з результатом вибору оптимальних швидкості різання й подачі для чистового точіння поверхні $\varnothing 33$ мм. Параметри процесу різання: $t = 0,15$ мм, $r = 0,5$ мм; $\varphi = 80^\circ$; $\varphi_1 = 20^\circ$.

Пряма 1 – обмеження за шорсткістю обробленої поверхні;

пряма 2 – обмеження за максимальною частотою обертання шпинделя

Встановлені також залежності оптимальної швидкості різання і подачі від бажаної шорсткості обробленої поверхні за різних значень радіусів вершини різця (рис. 3.8 і 3.9). Дослідження проводилось за таких значень кутів в плані: $\varphi = 80^\circ$; $\varphi_1 = 20^\circ$.

З графіків видно, що збільшення радіуса вершини різця зменшує оптимальну швидкість різання як для чистового, так і для тонкого розточування.

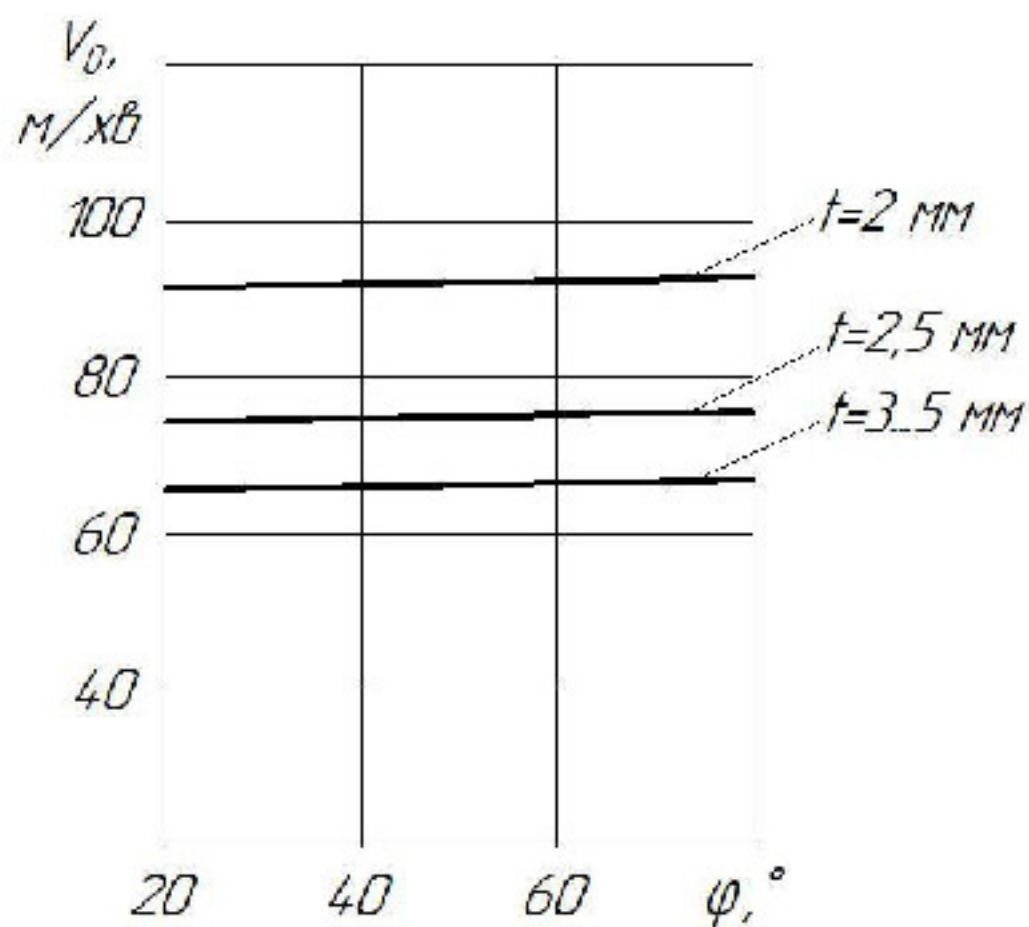


Рисунок 3.6 – Залежність оптимальної швидкості різання v_0 для чорнового точіння від головного кута в плані φ за різної глибини різання t

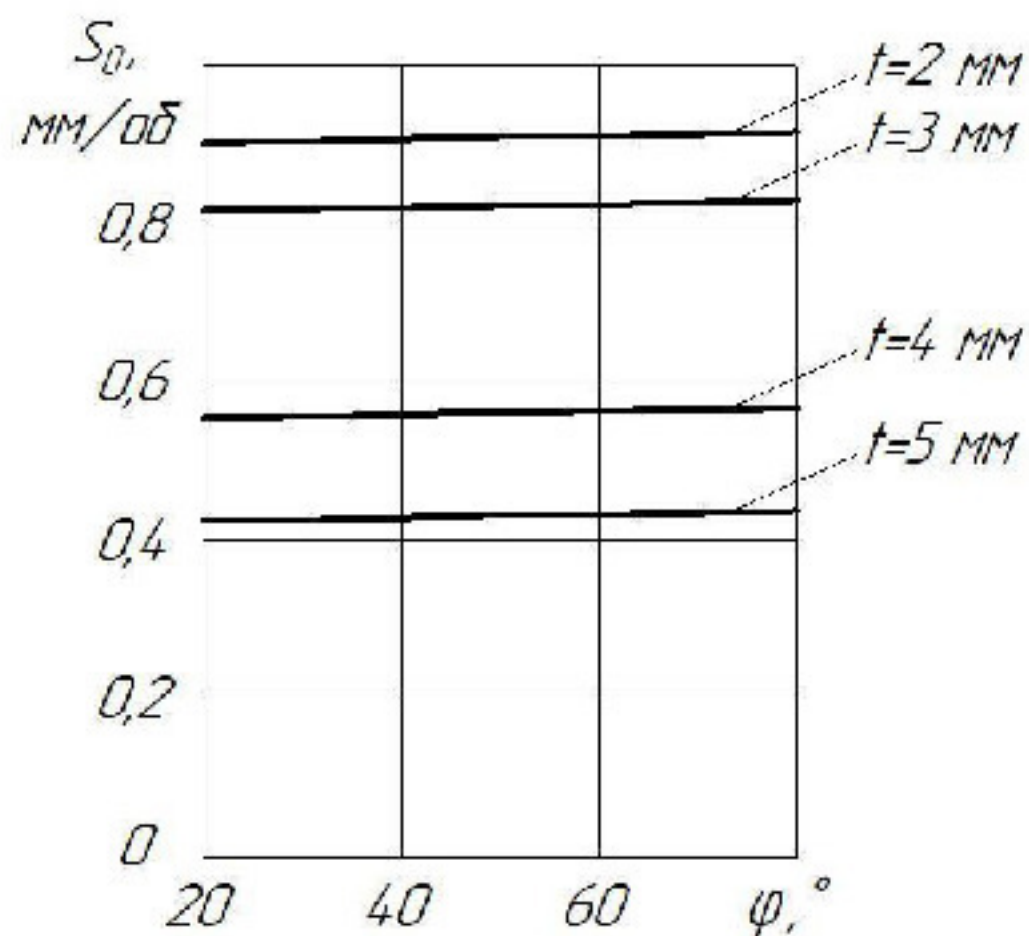


Рисунок 3.7 – Залежність оптимальної подачі s_0 для чорнового точіння від головного кута в плані φ за різної глибини різання t

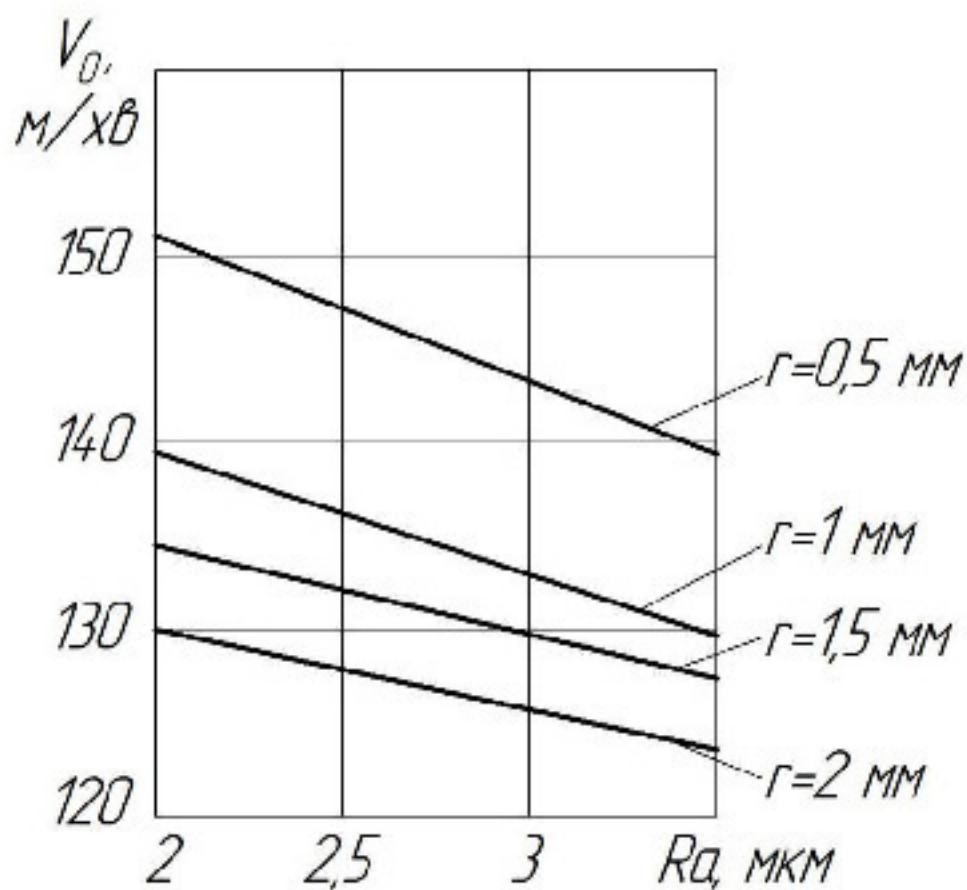


Рисунок 3.8 – Залежність оптимальної швидкості різання v_0 від бажаної шорсткості обробленої поверхні для чистового точіння за різних значень радіусу r заокруглення вершини різця ($\varphi = 80^\circ$; $\varphi_1 = 20^\circ$)

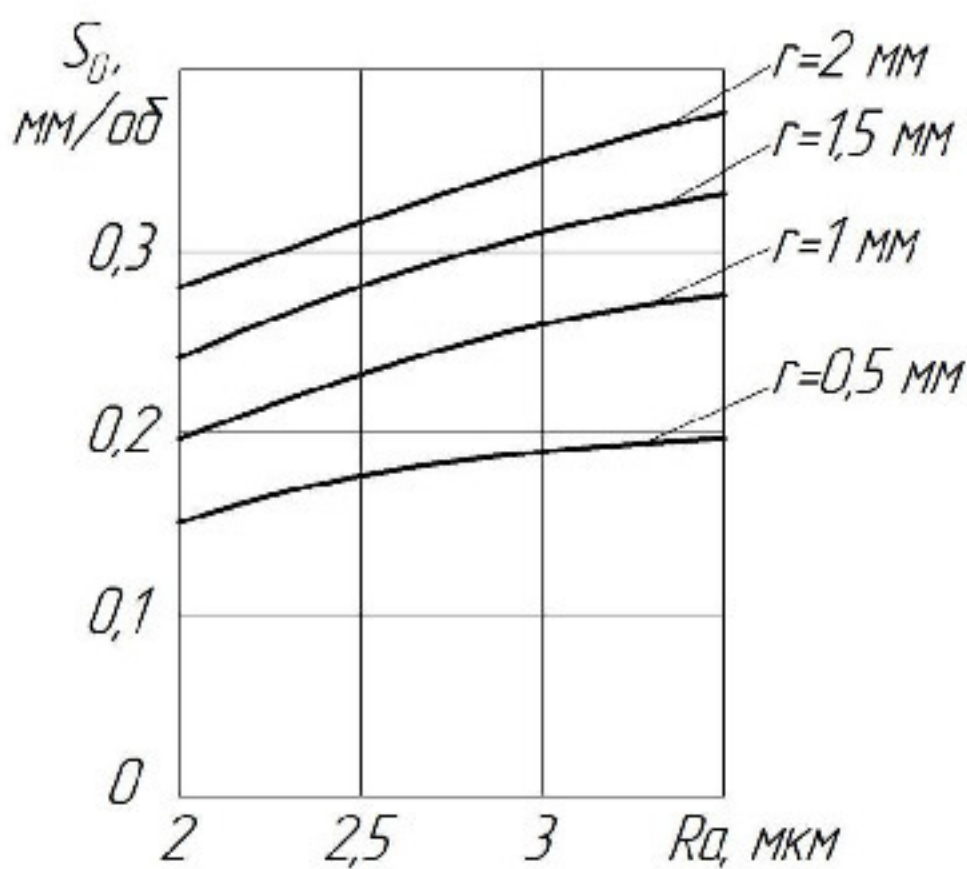


Рисунок 3.9 – Залежність оптимальної подачі s_0 для чистового точіння від бажаної шорсткості обробленої поверхні за різних значень радіусу r заокруглення вершини різця

Висновки.

1. За допомогою методу лінійного програмування досліджено вплив геометричних параметрів різця (радіуса заокруглення вершини різця, головного і допоміжного кутів в плані) та глибини різання на оптимальні значення режимів різання (швидкість різання і подачу) для чорнового і чистового точіння сталевих заготовок.

2. Встановлено, що за умови забезпечення сталої величини стійкості різця:

- для чорнового точіння збільшення глибини різання зменшує величину оптимальної подачі і величину оптимальної швидкості різання, що пояснюється обмеженими енергетичними властивостями приводу головного руху верстата і обмеженими силовими характеристиками приводу поздовжньої подачі;

- для чорнового точіння змінення головного кута в плані мало впливає на оптимальну швидкість різання і оптимальну подачу.

- для чистового точіння збільшення радіуса вершини різця дещо зменшує оптимальну швидкість різання, але збільшує оптимальну подачу.

3. Результати роботи можуть бути корисними для проектування операцій технологічних процесів механічної обробки у машинобудівному виробництві, а також у навчальному процесі.

4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ЦАПФА П.02.027»

4.1 Розрахунок приведеної програми

Використання приведеної програми дозволяє розробляти технічну документацію відразу на кілька виробів, тобто розробляється технологічний процес на одну деталь, а всі інші приводяться до неї за допомогою коефіцієнта приведення $K_{пр}$ [9, 19].

Приведена програма розраховується за формулою:

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

де N_i – річна програма випуску i -ї деталі;

$K_{пр}$ – коефіцієнт приведення.

При розробці технологічного процесу на деталь-представника, то всі інші вироби приводяться до неї саме за допомогою приведенного коефіцієнта $K_{пр}$, що визначається за формулою:

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

де K_1 – коефіцієнт приведення по масі;

K_2 – коефіцієнт приведення по серійності;

K_3 – коефіцієнт приведення по складності.

Для визначення коефіцієнтів K_1 , K_2 , та K_3 скористаємося даними таблиці 4.1, яка містить дані щодо деталі-представника та подібних деталей.

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

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

де m_i – маса i -ї деталі;

m_{np} – маса розрахункового представника.

Таблиця 4.1 – Дані для розрахунку приведеної програми

Деталі	Маса, кг	Програма, шт.	Показники ІТ / Ra, мкм									
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Цапфа П.02.027 (розрахунковий представник)	0,65	8000	4	1	4	6	-	-	40	-	-	
			0,63	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	20	-	
			4	1	6	-	-	43	-	-	-	
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Фланець	0,7	12000	-	2	4	-	12	-	35	-	-	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	-	-	3	6	35	9	-	-	
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Гільза	1,3	5000	-	2	3	-	10	-	18	-	-	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	-	1	-	10	18	4	-	-	
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Вал	1,2	8000	-	2	3	-	21	-	5	-	6	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			-	1	-	3	10	17	6	-	-	
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Цилиндр	1,1	9000	5	2	2	-	15	-	28	-	1	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-	
			1	1	2	-	-	43	6	-	-	
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	

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

- для фланця:

$$K_{1\text{фл}} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{\text{фл}}}{m_{\text{р.пр}}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{0,7}{0,65}\right)^2} = 1,05;$$

- для гільзи:

$$K_{1\text{ГЛ}} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{\text{ГЛ}}}{m_{\text{р.пр}}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{1,3}{0,65}\right)^2} = 1,59 ;$$

- для валу:

$$K_{1\text{ВАЛ}} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{\text{ВАЛ}}}{m_{\text{р.пр}}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{1,2}{0,65}\right)^2} = 1,5 ;$$

- для циліндра:

$$K_{1\text{ЦИЛ}} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{\text{ЦИЛ}}}{m_{\text{р.пр}}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{1,1}{0,65}\right)^2} = 0,42 .$$

Для визначення коефіцієнта K_2 скористаємося залежністю:

$$K_{2i} = \left(\frac{N_{\text{р.пр}}}{N_i}\right)^\alpha, \quad (4.4)$$

де N_i – річна програма випуску i -ї деталі;

$N_{\text{пр}}$ – річна програма випуску розрахункового представника;

α – показник степені, що для середнього машинобудування складає 0,15.

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

- для фланця:

$$K_{2\text{ФЛ}} = \left(\frac{N_{\text{р.пр}}}{N_{\text{ФЛ}}}\right)^\alpha = \left(\frac{8000}{12000}\right)^{0,15} = 1,06 ;$$

- для гільзи:

$$K_{2\text{ГЛ}} = \left(\frac{N_{\text{р.пр}}}{N_{\text{ГЛ}}}\right)^\alpha = \left(\frac{8000}{5000}\right)^{0,15} = 0,93 ;$$

- для валу:

$$K_{2\text{ВАЛ}} = \left(\frac{N_{\text{р.пр}}}{N_{\text{ВАЛ}}}\right)^\alpha = \left(\frac{8000}{8000}\right)^{0,15} = 1,0 ;$$

- для циліндра:

$$K_{2\text{ЦИЛ}} = \left(\frac{N_{\text{р.пр}}}{N_{\text{ЦИЛ}}}\right)^\alpha = \left(\frac{8000}{7000}\right)^{0,15} = 0,975 .$$

Коефіцієнт K_3 враховує точність, шорсткість, складність конструкції деталі та конструктивні показники. Розраховується а формулою:

$$K_{3i} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2}, \quad (4.5)$$

де $K_{3.1}^{\alpha_1}$ – коефіцієнт по точності;

$K_{3.2}^{\alpha_2}$ – коефіцієнт по шорсткості;

K_{3i} – коефіцієнт приведення по складності для і-ї деталі.

Знайдемо значення коефіцієнту $K_{3.1}$ для кожної деталі за формулою:

$$K_{3.1} = \left(\frac{\overline{K_T^i}}{K_{Tp.pr}} \right)^{\alpha_1}, \quad (4.6)$$

де K_T^i – коефіцієнт приведення по точності і-ї деталі;

$K_{Tp.pr}$ – коефіцієнт приведення по точності розрахункового представника.

- для розрахункового представника:

$$\overline{K_{Tp.pr}^{\Phi}} = \frac{\sum K_{\Phi} \cdot n_{\Phi}}{\sum n_{\Phi}} = \frac{6 \cdot 4 + 7 \cdot 1 + 8 \cdot 4 + 9 \cdot 6 + 12 \cdot 40}{4 + 1 + 4 + 6 + 40} = 10,85 \approx 11;$$

- для фланця:

$$\overline{K_T^{\Phi.Л}} = \frac{\sum K_{\Phi} \cdot n_{\Phi}}{\sum n_{\Phi}} = \frac{7 \cdot 2 + 8 \cdot 4 + 10 \cdot 12 + 12 \cdot 35}{2 + 4 + 12 + 35} = 11,06 \approx 11;$$

$$K_{3.1} = \left(\frac{\overline{K_T^{\Phi.Л}}}{K_{Tp.pr}} \right)^{\alpha_1} = \left(\frac{11}{11} \right)^{\alpha_1} = \frac{0,94}{0,94} = 1;$$

- для гільзи:

$$\overline{K_{Tp, np}^{ГЛ}} = \frac{\sum K_{\theta} \cdot n_{\kappa\theta}}{\sum n_{\kappa\theta}} = \frac{7 \cdot 2 + 8 \cdot 3 + 10 \cdot 10 + 12 \cdot 18}{2 + 3 + 10 + 18} = 10,73 \approx 11;$$

$$K_{3.1} = \left(\frac{\overline{K_T^{ГЛ}}}{\overline{K_{Tp, np}}} \right)^{\alpha_1} = \left(\frac{11}{11} \right)^{\alpha_1} = \frac{0,94}{0,94} = 1;$$

- для валу:

$$\overline{K_{Tp, np}^{BAL}} = \frac{\sum K_{\theta} \cdot n_{\kappa\theta}}{\sum n_{\kappa\theta}} = \frac{7 \cdot 2 + 8 \cdot 3 + 10 \cdot 21 + 12 \cdot 5}{2 + 3 + 21 + 5} = 9,94 \approx 10;$$

$$K_{3.1} = \left(\frac{\overline{K_T^{BAL}}}{\overline{K_{Tp, np}}} \right)^{\alpha_1} = \left(\frac{10}{11} \right)^{\alpha_1} = \frac{1}{0,94} = 1,064;$$

- для циліндра:

$$\overline{K_{Tp, np}^{ЦИЛ}} = \frac{\sum K_{\theta} \cdot n_{\kappa\theta}}{\sum n_{\kappa\theta}} = \frac{6 \cdot 5 + 7 \cdot 2 + 8 \cdot 2 + 10 \cdot 5 + 12 \cdot 18 + 14 \cdot 1}{5 + 2 + 2 + 5 + 18 + 1} = 10,3 \approx 10;$$

$$K_{3.1} = \left(\frac{\overline{K_T^{ЦИЛ}}}{\overline{K_{Tp, np}}} \right)^{\alpha_1} = \left(\frac{10}{11} \right)^{\alpha_1} = \frac{1}{0,94} = 1,064;$$

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

$$K_{3.2} = \left(\frac{\overline{R_a^{p, np}}}{\overline{R_a^i}} \right)^{\alpha_2}, \quad (4.7)$$

де $K_{3.2}$ – коефіцієнт приведення по шорсткості;

$\overline{R_a^{p, np}}$ – середнє значення шорсткості розрахункового представника;

$\overline{R_a^i}$ – середнє значення шорсткості i -ї деталі.

- для розрахункового представника:

$$\overline{R_a^{p.нр.}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{nos}}{\sum n_{nos}} = \frac{0,63 \cdot 4 + 1,25 \cdot 1 + 1,6 \cdot 6 + 6,3 \cdot 44}{4 + 1 + 6 + 44} = 5,28 \approx 5;$$

- для фланця:

$$\overline{R_a^{\Phi Л}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{nos}}{\sum n_{nos}} = \frac{2,5 \cdot 3 + 3,2 \cdot 6 + 6,3 \cdot 35 + 12,5 \cdot 9}{3 + 6 + 35 + 9} = 6,79 \approx 7;$$

$$K_{3.2} = \left(\frac{\overline{R_a^{p.нр.}}}{\overline{R_a^{\Phi Л}}} \right)^{\alpha_2} = \left(\frac{5}{7} \right)^{\alpha_2} = \frac{1}{1,08} = 0,926 .$$

- для гільза:

$$\overline{R_a^{\Gamma Л}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{nos}}{\sum n_{nos}} = \frac{1,6 \cdot 1 + 3,2 \cdot 10 + 6,3 \cdot 18 + 12,5 \cdot 4}{1 + 10 + 18 + 4} = 5,97 \approx 6;$$

$$K_{3.2} = \left(\frac{\overline{R_a^{p.нр.}}}{\overline{R_a^{\Gamma Л}}} \right)^{\alpha_2} = \left(\frac{5}{6} \right)^{\alpha_2} = \frac{1}{1,09} = 0,917 .$$

- для валу:

$$\overline{R_a^{BAL}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{nos}}{\sum n_{nos}} = \frac{1,25 \cdot 1 + 2,5 \cdot 3 + 3,2 \cdot 10 + 6,3 \cdot 17 + 12,5 \cdot 6}{1 + 3 + 10 + 17 + 6} = 6,02 \approx 6;$$

$$K_{3.2} = \left(\frac{\overline{R_a^{p.нр.}}}{\overline{R_a^{BAL}}} \right)^{\alpha_2} = \left(\frac{5}{6} \right)^{\alpha_2} = \frac{1}{1,09} = 0,917 .$$

- для циліндра:

$$\overline{R_a^{ЦМЛ}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{нов}}{\sum n_{нов}} = \frac{0,8 \cdot 1 + 1,25 \cdot 1 + 1,6 \cdot 2 + 6,3 \cdot 43 + 12,5 \cdot 6}{1 + 1 + 2 + 43 + 6} = 6,63 \approx 7;$$

$$K_{3.2} = \left(\frac{\overline{R_a^{р.пр.}}}{\overline{R_a^{ЦМЛ}}} \right)^{\alpha_2} = \left(\frac{5}{7} \right)^{\alpha_2} = \frac{1}{1,08} = 0,926 .$$

Знайдемо значення коефіцієнта K_3 для кожної деталі за формулою (4.5):

- для фланця: $K_{3ФЛ} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 1 \cdot 0,926 = 0,926 ;$

- для гільзи: $K_{3ГЛ} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 1 \cdot 0,917 = 0,917 ;$

- для валу: $K_{3ВАЛ} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 1,064 \cdot 0,917 = 0,976 ;$

- для циліндра: $K_{3ЦЛ} = K_{3.1}^{\alpha_1} \cdot K_{3.2}^{\alpha_2} = 0,926 \cdot 1,064 = 0,985 .$

Знайдемо значення коефіцієнта $K_{пр}$ для кожної деталі за формулою (4.2):

- для фланця: $K_{прФЛ} = 1,05 \cdot 1,06 \cdot 0,926 = 1,03 ;$

- для гільзи: $K_{прГЛ} = 1,59 \cdot 0,93 \cdot 0,917 = 1,36 ;$

- для валу: $K_{прВАЛ} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,976 = 1,46 ;$

- для циліндра: $K_{прЦЛ} = 1,42 \cdot 0,975 \cdot 0,985 = 1,36 .$

На основі приведених вище розрахунків приведена програма складатиме:

$$N_{пр} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{прi} = 8000 \cdot 1,0 + 12000 \cdot 1,03 + 5000 \cdot 1,36 + \\ + 8000 \cdot 1,46 + 7000 \cdot 1,36 \approx 48360 \text{ (шт.)}$$

Отримані дані розрахунків зводимо в таблицю 4.2.

Отже, при розрахунках кількості обладнання, працівників та інших складових ділянки використовуватимемо приведену програму. Також потрібно

врахувати те, що на спроектованій ділянці виготовлятиметься чотири подібних деталей.

Таблиця 4.2 – Розрахунок приведеної програми

Найменування виробу	Річний випуск, шт.	Маса одного виробу, кг	Коефіцієнт приведення				Приведена програма
			по масі	по серійності	по складності	загальний	на річний випуск
Цапфа П.02.027	8000	0,65	1,0	1,0	1,0	1,0	8000
Фланець	12000	0,7	1,05	1,06	0,926	1,03	12360
Гільза	5000	1,3	1,59	0,93	0,917	1,36	6800
Вал	8000	1,2	1,5	1,0	0,976	1,46	11680
Циліндр	7000	1,1	1,42	0,975	0,985	1,36	9520
Всього	48360						

4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

Кількість верстатів обчислюється за формулою [9, 19]:

$$C_p = \frac{T_{\text{сп}}}{F_d \cdot m} \text{ [год]}, \quad (4.8)$$

де $T_{\text{сп}}$ – сумарна трудомісткість деталей, год;

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

m – кількість робочих змін.

Враховуючи проведені раніше розрахунки, а саме нормування часу, розраховуємо сумарну трудомісткість деталей:

Трудомісткість фрезерно-центрувальної операції 005 складає:

$$T_{\text{пр}} = \frac{1,38 \cdot 48360}{60} = 112,28 \text{ (год)}.$$

Трудовісткість токарних з ЧПК операцій 010 та 015 складає:

$$T_{\text{пр}} = \frac{(5,44 + 2,18) \cdot 48360}{60} = 6141,72 \text{ (год)}.$$

Трудовісткість вертикально-свердильної з ЧПК операції 020 складає:

$$T_{\text{пр}} = \frac{1,53 \cdot 48360}{60} = 1233,2 \text{ (год)}.$$

Трудовісткість вертикально-фрезерної з ЧПК операції 025 складає:

$$T_{\text{пр}} = \frac{1,62 \cdot 48360}{60} = 1305,72 \text{ (год)}.$$

Трудовісткість довбальної операції 030 складає:

$$T_{\text{пр}} = \frac{1,59 \cdot 48360}{60} = 1281,54 \text{ (год)}.$$

Трудовісткість торцекруглошліфувальної операції 040 складає:

$$T_{\text{пр}} = \frac{1,52 \cdot 48360}{60} = 1225,12 \text{ (год)}.$$

Трудовісткість внутрішньошліфувальної операції 045 складає:

$$T_{op} = \frac{1,78 \cdot 48360}{60} = 1434,68 \text{ (год)}.$$

Отже, кількість фрезерно-центрувальних верстатів на операції 005 становитиме:

$$C_p = \frac{1112,28}{4060} = 0,27 \text{ (верстатів)}.$$

Приймаємо 1 верстат МР73М.

Кількість токарних верстатів з ЧПК на операціях 010 та 015:

$$C_p = \frac{6141,72}{3890} = 1,58 \text{ (верстатів)}.$$

Приймаємо 2 верстати 16К20Т1.

Кількість вертикально-свердлильних верстатів з ЧПК на операції 020:

$$C_p = \frac{1233,2}{3890} = 0,32 \text{ (верстатів)}.$$

Приймаємо 1 верстат 2Р135Ф3.

Кількість вертикально-фрезерних верстатів з ЧПК на операції 025:

$$C_p = \frac{1305,72}{3890} = 0,34 \text{ (верстатів)}.$$

Приймаємо 1 верстат 6Р13РФ3.

Кількість довбальних верстатів на операції 030:

$$C_p = \frac{12181,54}{4060} = 0,32 \text{ (верстатів)}.$$

Приймаємо 1 верстат 7402.

Кількість торцекруглошліфувальних верстатів на операції 040:

$$C_p = \frac{1225,12}{4060} = 0,3 \text{ (верстатів).}$$

Приймаємо 1 верстат ОШ-650Ф3.

Кількість внутрішньошліфувальних верстатів на операції 045:

$$C_p = \frac{1438,68}{4060} = 0,35 \text{ (верстатів).}$$

Приймаємо 1 верстат 3К225В.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання:

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

де C_p – кількість розрахункового обладнання;

C_{np} – кількість прийнятого обладнання.

$$\text{Операція 005: } \eta_z = \frac{0,27}{1} = 0,27 ; \text{ операції 010-015: } \eta_z = \frac{1,58}{2} = 0,79 ;$$

$$\text{операція 020: } \eta_z = \frac{0,32}{1} = 0,32 ; \text{ операція 025: } \eta_z = \frac{0,34}{1} = 0,34 ;$$

$$\text{операція 030: } \eta_z = \frac{0,32}{1} = 0,32 ; \text{ операція 040: } \eta_z = \frac{0,3}{1} = 0,3 ;$$

$$\text{операція 045: } \eta_z = \frac{0,35}{1} = 0,35 .$$

Отримані результати зводимо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок кількості обладнання

№ оп.	Назва операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Коефіцієнт завантаження	Середній коефіцієнт завантаження	Коефіцієнт завантаження за основним часом
005	Фрезерно-центрувальна	0,27	1	0,27	0,38	0,18
010 015	Токарна з ЧПК	1,58	2	1,58		0,6
020	Вертикально-свердлильна з ЧПК	0,32	1	0,32		0,2
025	Вертикально-фрезерна з ЧПК	0,34	1	0,34		0,28
030	Довбальна	0,32	1	0,32		0,26
040	Торцекруглошліфувальна з ЧПК	0,3	1	0,3		0,24
045	Внутрішньошліфувальна	0,35	1	0,35		0,08

Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання за основним часом:

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

де $T_{осн}$ – основний час;

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

$$\text{Операція 005: } \eta_{ос} = \frac{0,252}{1,38} = 0,18 ; \text{ операції 010 та 015: } \eta_{ос} = \frac{4,548}{7,62} = 0,6 ;$$

$$\text{операція 020: } \eta_{ос} = \frac{0,243}{1,53} = 0,2 ; \text{ операція 025: } \eta_{ос} = \frac{0,455}{1,62} = 0,28 ;$$

$$\text{операція 030: } \eta_{ос} = \frac{0,42}{1,59} = 0,26 ; \text{ операція 040: } \eta_{ос} = \frac{0,371}{1,52} = 0,24 ;$$

$$\text{операція 045: } \eta_{ос} = \frac{0,139}{1,78} = 0,08 .$$

4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

Графік завантаження обладнання показаний на рисунку 4.1.

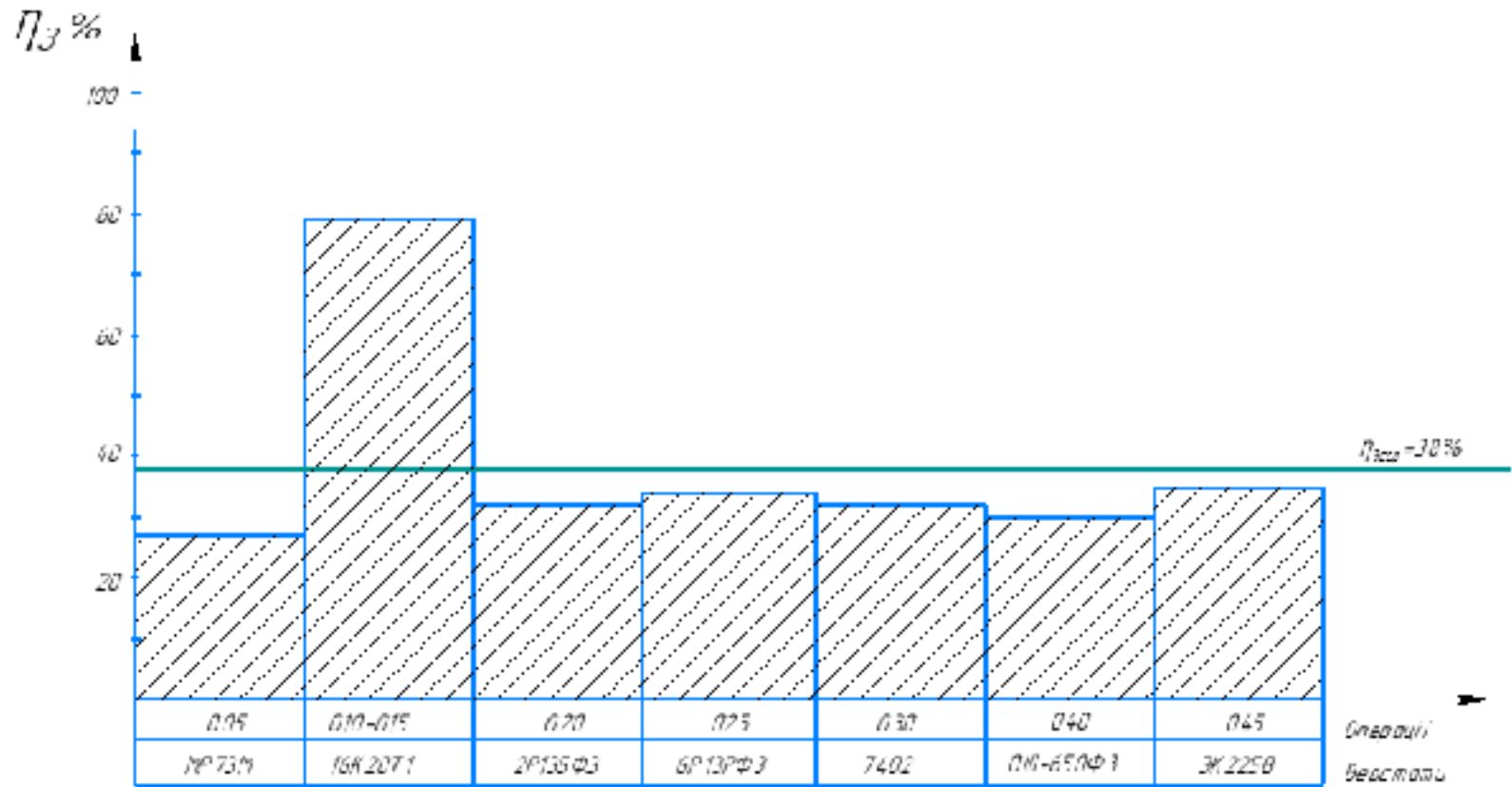


Рисунок 4.1 – Графік завантаження обладнання

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

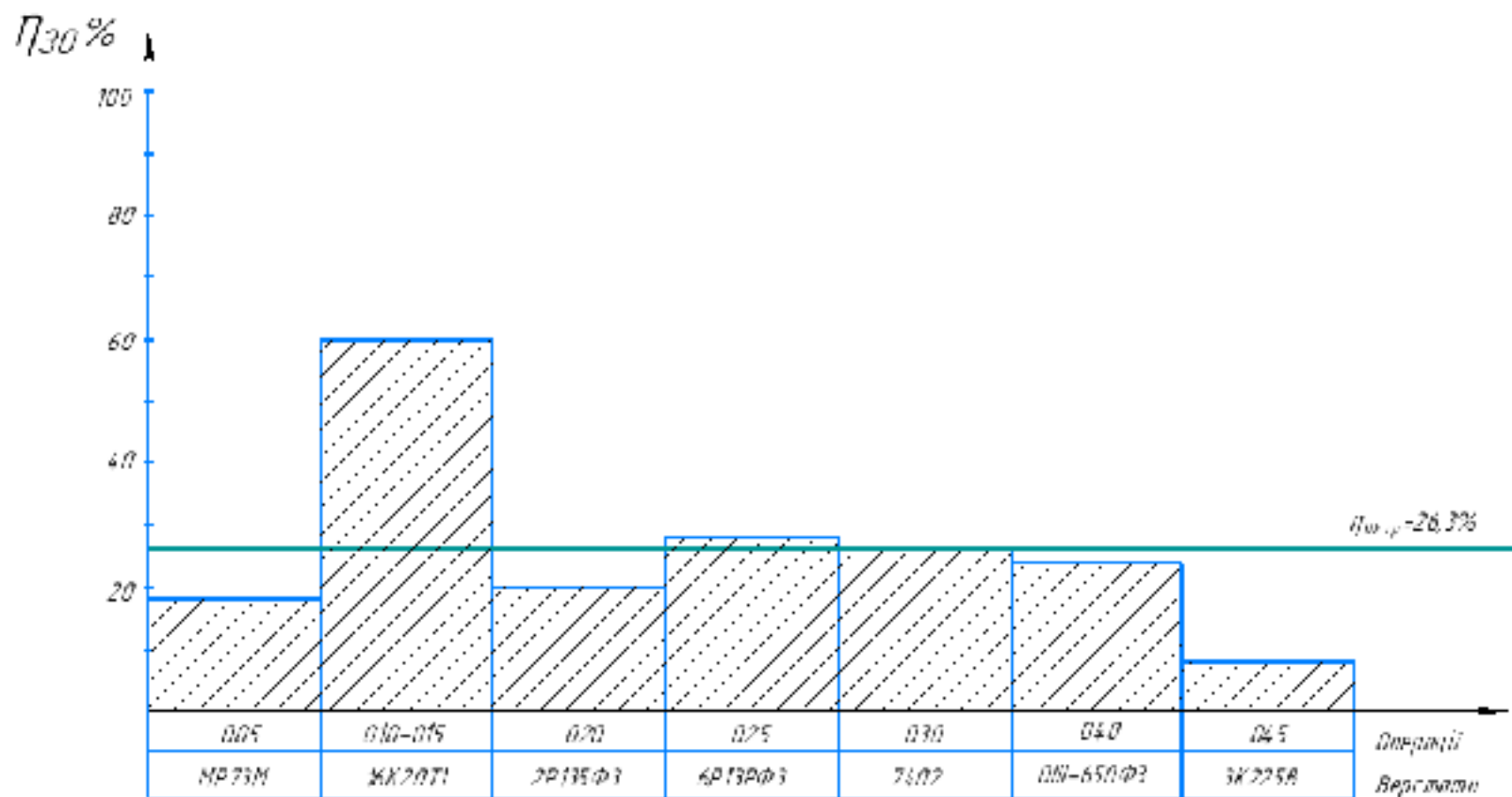


Рисунок 4.2 – Графік використання обладнання за основним часом

Висновок. Для серійного виробництва коефіцієнт завантаження обладнання η_z складає 75-85%. В даному випадку він становить 38%, що свідчить про можливість довантажувати обладнання іншими деталями крім наведених в приведеній програмі.

Коефіцієнт використання обладнання за основним часом є досить низьким, що вимагає введення засобів механізації та автоматизації з метою скорочення $T_{\text{дов}}$ та $T_{\text{обс}}$.

4.4 Розрахунок кількості працівників на ділянці

Визначаємо необхідну кількість основних робітників на ділянці за формулою:

$$P_i = \frac{\Phi_{\text{д}} \cdot C_{\text{пр}} \cdot K_z}{\Phi_{\text{в}} \cdot K_{\text{м}}}, \quad (4.11)$$

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

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

$\Phi_{\text{д}}$ – ефективний фонд роботи верстата;

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

K_z – коефіцієнт завантаження.

Розрахуємо кількість робітників на фрезерно-центрувальному верстаті МР73М:

$$P_i = \frac{4060 \cdot 1 \cdot 0,27 \cdot 0,18}{1840 \cdot 1} = 0,1 \text{ (робітників)}.$$

Отже, для виконання робіт на даному обладнанні вистачить одного основного робітника.

Аналогічно проводимо розрахунки для всіх інших операцій. Дані розрахунків зводимо в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Кількість робітників-верстатників

Назви верстатів	Прийнята кількість верстатів, $C_{пр}$	Φ_d , год	K_z	K_m	P , робітників	$P_{пр}$, робітників
Фрезерно-центрувальні	1	4060	0,27	1,0	0,1	1
Токарні з ЧПК	2	3890	0,79	2,0	0,5	1
Вертикально-свердлильні з ЧПК	1	3890	0,32	1,0	0,2	1
Вертикально-фрезерні з ЧПК	1	3890	0,34	1,0	0,2	1
Довбальні	1	4060	0,32	1,0	0,18	1
Торцекруглошліфувальні	1	4060	0,3	1,0	0,16	1
Внутрішньокруглошліфувальні	1	4060	0,35	1,0	0,06	1

Згідно проведених розрахунків загальна кількість основних робітників становить – 7 робітників.

Кількість допоміжних робітників визначається за формулою:

$$P_{др} = (0,2 \dots 0,25) \cdot P_{ор}, \quad (4.12)$$

$$P_{др} = 0,25 \cdot 7 = 1,75 \text{ (робітника).}$$

Приймаємо два допоміжних робітника

Кількість ІТР:

$$P_{ІТР} = (0,16 \dots 0,22) \cdot P_{ор}, \quad (4.13)$$

$$P_{ІТР} = 0,2 \cdot 8 = 1,6 \text{ (робітника).}$$

Приймаємо двох ІТР, один з яких буде ще обслуговувати сусідню ділянку оскільки на даній ділянці він працює лише на 80%.

Кількість службовців (СКП):

$$P_{СКП} = (0,009 \dots 0,019) \cdot P_{ор}, \quad (4.14)$$

$$P_{СКП} = 0,01 \cdot 7 = 0,07 \text{ (робітника).}$$

Приймаємо одного службовця, який також працюватиме на сусідніх ділянках.

Кількість молодшого обслуговуючого персоналу:

$$P_{\text{МОП}} = 0,02 \cdot (P_{\text{ор}} + P_{\text{др}} + P_{\text{ІТР}} + P_{\text{СКП}}), \quad (4.15)$$

$$P_{\text{МОП}} = 0,02 \cdot (7 + 2 + 2 + 1) = 0,24 \text{ (робітник).}$$

Приймаємо одного робітника, який обслуговуватиме сусідні ділянки також.

Отримані дані заносимо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Відомість складу працюючих ділянки

Категорії працюючих	Спосіб визначення	Розрахункова кількість	Прийнята кількість
Основні робітники-верстатники	$P_i = \frac{\Phi_{\text{д}} \cdot C_{\text{пр}} \cdot K_{\gamma}}{\Phi_{\text{в}} \cdot K_{\text{в}}}$	-	7
Допоміжні робітники	$(20 \dots 25\%) \cdot P_{\text{ор}}$	1,75	2
ІТР	$(16 \dots 22\%) \cdot P_{\text{ор}}$	1,6	2
СКП	$(0,9 \dots 1,9\%) \cdot P_{\text{ор}}$	0,07	1
МОП	$2\% \cdot (P_{\text{ор}} + P_{\text{др}} + P_{\text{СКП}} + P_{\text{ІТР}})$	0,24	1

5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ЦАПФА П.02.027»

5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки 110

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

Для проведення технологічного аудиту залучено 3-х незалежних експертів, які оцінили комерційний потенціал розробки за 12-ма критеріями, наведеними в таблиці 5.1 [20].

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

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

Продовження таблиці 5.1

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

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

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Експерти		
	Експерт № 1	Експерт № 2	Експерт № 3
	Бали, виставлені експертами:		
1	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			30%
Середній розряд робітників		8		15%
Середній коефіцієнт завантаження обладнання		7		15%
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом		7		15%

Визначимо абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

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

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

$$K_{\text{я.о.}} = 10 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,3 + 8 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,15 = 10,3.$$

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

Таблиця 5.4 – Основні параметри інноваційного рішення та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий	Новий (інноваційне рішення)		
Кількість верстатів, шт.	12	8	1,5	0,4
Кількість основних робітників, чол.	12	7	1,71	0,3
Середній розряд робітників	4	3	1,33	0,15
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,29	0,38	1,31	0,15
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом	0,22	0,263	1,2	0,15
Собівартість заготовки, грн.	69,48	67,6	-	-

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

$$q_i = \frac{P_{ni}}{P_{bi}}, \quad (5.2)$$

або

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

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

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

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

$$K_{к.к.} = 1,5 \cdot 0,4 + 1,71 \cdot 0,3 + 1,33 \cdot 0,15 + 1,31 \cdot 0,15 + 1,2 \cdot 0,15 = 1,69.$$

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:

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

де P_{Hel} , P_{Bel} – 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 1,69. За формулою (5.6) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I_{e.n.} = \frac{69,48}{67,6} = 1,03.$$

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

$$K = \frac{1,69}{1,03} = 1,64.$$

Оскільки $K > 1$, то запропонована нова технологія виготовлення деталі «Цапфа П.02.027» є більш доцільнішою і конкурентноспроможною, ніж базова.

5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027»

5.2.1 Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу

Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу K , складаються з відповідних витрат і розраховують за такою формулою [20]:

$$K = Z_o + Z_{доd} + Z_{н} + B_{бзд} + B_{обз} + B_{лр} + B_{осн} + B_{инв} + B_{пу} + B_{пе} + B_{оз} \text{ [грн.]}, \quad (5.7)$$

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.;

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

$Z_{н}$ – нарахування на заробітну плату розробників, грн.;

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

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

$B_{лр}$ – 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.;

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

5.2.2 Основна заробітна плата розробників

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

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

де k – кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

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

t_i – число днів роботи конкретного розробника, грн.;

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

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.	Прим.
Керівник проекту	18000	818,18	10	8181,82	
Інженер-технолог	16000	727,27	8	5818,16	
Інженер-конструктор	16000	727,27	8	5818,16	
Економіст	16000	727,27	8	5818,16	
Всього				z_o	31454,46

5.2.3 Додаткова заробітна плата розробників

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

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

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

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

5.2.4 Єдиний страховий внесок розробників (ЄСВ)

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

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

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

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

5.2.5 Вартість будівлі, що її займає дільниця

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

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

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

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

$$B_{\text{буд.}} = 1000 \cdot 200 = 200000 \text{ (грн.)}$$

5.2.6 Початкова вартість технологічного обладнання

Балансову вартість нового обладнання розраховуємо за формулою:

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

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

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

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

k – кількість найменувань обладнання встановленого на дільниці.

Таблиця 5.6 – Вартість обладнання

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	K_i	Вартість, грн.
1	Токарний з ЧПК 16K20T1	550000	2	1,1	1210000
2	Вертикально-фрезерний з ЧПК 6P13PФ3	400000	1	1,1	400000
Всього					1650000

Придбані верстати були у використанні.

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

Реалізуємо верстати, що були на базовій дільниці:

- 2 верстати 16K20 по ціні 100000 грн.: $2 \cdot 50000 = 200000$ (грн.)

- верстат 6P12 по ціні 60000 грн.

Всього реалізовано верстатів на 260000 грн.

Отже, витрати на обладнання

$$B_{\text{обл}} = 1650000 - 260000 = 1390000 \text{ (грн.)}$$

5.2.7 Початкова вартість транспортних засобів

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

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

При укрупнених розрахунках витрати на інструмент і інше технологічне оснащення приймаються у відсотках від вартості основного технологічного обладнання і складають у серійному виробництві загального машинобудування – 10...15%.

Вартість інструментів і технологічного оснащення ($B_{\text{мо}}$) розраховують за формулою:

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

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

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

$$B_{\text{мо}} = 1390000 \cdot 0,10 = 139000 (\text{грн.})$$

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

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

$$B_{\text{осв}} = 139000 \cdot 0,25 = 34750 (\text{грн.})$$

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

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

$$B_{\text{ксп}} = 0,1 \cdot 139000 = 13900 (\text{грн.})$$

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

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

$$B_{\text{осн}} = 139000 + 34750 + 13900 = 187650 (\text{грн.})$$

5.2.9 Вартість виробничого та господарчого інвентарю

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

5.2.10 Вартість програм керування

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

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

$$B_{\text{пк}} = 0,1 \cdot 1390000 = 139000 \text{ (грн.)}$$

5.2.11 Величина передвиробничих витрат

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

5.2.12 Величина оборотних засобів

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

Отже, величина капітальних вкладень на удосконалення технологічного процесу складе:

$$\begin{aligned} K &= 31454,46 + 3145,45 + 7611,98 + 200000 + 1390000 + 187650 + 139000 = \\ &= 1958861,89 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції

5.3.1 Сировина та матеріали

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

Вартість витрат на матеріал заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027» складає 67,6 грн. (див. розділ 2).

5.3.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховують за формулою:

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

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

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

Π_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, $\Pi_e = 7,5$ грн.;

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

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.
1	2	3	4
005 Фрезерно-центрувальний МР73М	13	0,252/60	0,38
010 Токарний з ЧПК 16K20T1	16	3,867/60	7,25

Продовження таблиці 5.7

1	2	3	4
015 Токарний з ЧПК 16K20T1	16	0,681/60	1,28
020 Вертикально-свердильний з ЧПК 2P135Ф2	9,8	0,243/60	0,28
025 Вертикально-фрезерний з ЧПК 6P13PФ3	16,87	0,455/60	0,9
030 Довбальний 7402	4,7	0,42/60	0,23
040 Торцекруглошліфувальний з ЧПК ОШ-650Ф3	17	0,371/60	0,74
045 Внутрішньошліфувальний 3K225B	3,76	0,139/60	0,06
Всього			Σ 11,12

5.3.3 Основна заробітна плата робітників

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

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

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

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

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

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

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

K_p – 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_{zm} – тривалість зміни, год.

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

Таблиця 5.8 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування операцій, верстат	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
005 Фрезерно-центрувальний МР73М	0,252/60	3	1,35	92,05	0,39
010 Токарний з ЧПК 16K20T1	3,867/60	3	1,35	92,05	5,93
015 Токарний з ЧПК 16K20T1	0,681/60	3	1,35	92,05	1,04
020 Вертикально-свердлильний з ЧПК 2P135Ф2	0,243/60	3	1,35	92,05	0,37
025 Вертикально-фрезерний з ЧПК 6P13PФ3	0,455/60	3	1,35	92,05	0,7
030 Довбальний 7402	0,42/60	3	1,35	92,05	0,64
040 Торцекругло-шліфувальний з ЧПК ОШ-650Ф3	0,371/60	3	1,35	92,05	0,57
045 Внутрішньо-шліфувальний 3K225B	0,139/60	3	1,35	92,05	0,21
Всього					Σ 9,85

5.3.4 Додаткова заробітна плата робітників

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

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

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

$$Z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 9,85 = 0,99 \text{ (грн.)}$$

5.3.5 Єдиний страховий внесок робітників (ЄСВ)

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

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

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

$$Z_{\text{є}} = (9,85 + 0,99) \cdot 0,22 = 2,38 \text{ (грн.)}$$

5.3.6 Розрахунок загальновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

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

$$B_{\text{заг}} = 2,5 \cdot 9,85 = 24,63 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Таблиця 5.9 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.	Примітка
Витрати на матеріали на одиницю продукції, грн.	M	67,6	
Витрати на силову електроенергію, грн.	B_e	11,12	
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	$З_p$	9,85	
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	$З_{дод}$	0,99	
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	$З_{\kappa}$	2,38	
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{\text{вир}}$	24,63	
Всього	S_e	116,57	

5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу

5.4.1 Нижня межа ціни

Ціна реалізації виробу розраховується за формулою:

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

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

S_e – виробнича собівартість виробу, грн.;

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

w – ставка податку на додану вартість, за станом на 01.01.2024 року, $w = 20\%$.

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

$$Ц_{\text{нир}} = 116,57 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 167,86 \text{ (грн.)}$$

5.4.2 Верхня межа ціни

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

Параметри якості продукції закладено в конструкторській документації, тому, при удосконаленні технологічного процесу, якість кінцевого продукту не змінюється $C_{\text{вир}} = 167,86$ 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.

$$\begin{aligned} \Pi &= \left\{ \left[167,86 - \frac{(167,86 - 67,6) \cdot 16,67}{100} - 116,57 - \frac{10 \cdot 116,57}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 48360 = \\ &= 908883,62 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{908883,62}{(1+0,2)^1} + \frac{908883,62}{(1+0,2)^2} + \frac{908883,62}{(1+0,2)^3} + \frac{908883,62}{(1+0,2)^4} - 1958861,89 = \\ &= 393996,56 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

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.

$$IRR_{MIN} = \sqrt[4]{\frac{908883,62 + 908883,62 + 908883,62 + 908883,62}{1958861,89}} - 1 = 0,17 \text{ .}$$

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.

$$T_o = \frac{1958861,89}{908883,62} = 2,16 \text{ (року)}.$$

5.7 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027», 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 1958861,89 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 908883,62 грн., термін окупності 2,16 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027» доцільне для впровадження.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі виконано удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027». При цьому можна зробити такі висновки.

1. Проведено огляд технології виготовлення деталей типу «Фланець»; проаналізовано базовий технологічний процес; запропоновано шляхи удосконалення базового технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027».

2. Варіантним вибором встановлено, що найбільш доцільними способами виготовлення заготовки «Цапфа П.02.027» є штампування на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ) та прокат. Техніко-економічні розрахунки показали, що економічно доцільніше виготовляти заготовку на ГКМ, оскільки вартість виготовлення заготовки при цьому складає 40,35 грн., що менше у порівнянні з прокатом – 40,67 грн.

3. Розроблений удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027». Запропоновано два варіанти технології механічної обробки, проведено їх техніко-економічне порівняння, вибрано оптимальний варіант. Виконане розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу механічної обробки. Вибрані припуски на механічну обробку, режими різання, норми часу, встановлені розряди робітників-верстатників.

4. Методом лінійного програмування досліджено вплив геометричних параметрів різця (радіуса заокруглення вершини різця, головного і допоміжного кутів в плані) та глибини різання на оптимальні значення режимів різання (швидкість різання і подачу) для чорнового і чистового точіння сталеві заготовки «Цапфа П.02.027».

5. Для визначення необхідної кількості верстатів для виконання механічної обробки та забезпечення їх нормального завантаження підібрані аналогічні (за технологією обробки) деталі та розраховано приведену програму. Встановлено кількість працюючих, які забезпечать роботу верстатів на дільниці механічної обробки деталі типу «Цапфа П.02.027».

6. Проведені економічні розрахунки, які підтвердили доцільність впровадження удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Цапфа П.02.027», визначені капітальні вкладення, одержаний прибуток, термін окупності вкладень.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Пурдик В. П. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 123 с.
2. Дерібо О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. Вінниця : ВНТУ, 2023. 116 с. Електронний ресурс : https://iq.vntu.edu.ua/method/getfile.php?fname=5927.pdf&card_id=1949&id=5927.
3. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Репінський С. В. Основи технології машинобудування. Частина 1: практикум. Вінниця: ВНТУ, 2017. 106 с.
4. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Сухоруков С. І. Основи технології машинобудування. Частина 2 : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2015. 116 с.
5. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013. 125 с.
6. Веселовська Н. Р., Шаргородський С. А., Руткевич В. С., Моторна О. О. Практикум з навчальної дисципліни «Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування» : навчальний посібник. Вінниця : ТВОРИ, 2020. 354 с.
7. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. К. : Вища школа, 1993. 414 с.
8. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування. К. : ІСДО, 1996. 300 с.
9. Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Савуляк В. В., Сердюк О. В. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2016. 148 с.
10. Дусанюк Ж. П., Сивак І. О., Дусанюк С. В., Репінський С. В. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Гаряче об'ємне штампування : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2006. 105 с.

11. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів : Світоч, 1996. 348 с.
12. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М., Пуховський Є. С. Проектування і виробництво заготовок : підручник. К. : НТУУ «КПІ», 2014. 353 с.
13. Булига Ю. В., Веселовська Н. Р., Міськов В. П. Теорія різання. Розрахунок режимів різання : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2019. 67 с.
14. Кирилович В. А., Мельничук П. П., Яновський В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ. Під заг. ред. В. А. Кириловича. Житомир : ЖІТІ, 2001. 600 с.
15. Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
16. Мазур М. П. Основи теорії різання матеріалів: Підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, А. І. Грабченко та ін. — Львів : Новий світ. — 2018. — 471 с.
17. Аверченков В. І. Збірник задач і вправ з технології машинобудування: навч. посібник / В. І. Аверченков, О. О. Горленко, В. Б. Ільцький. — Житомир: ЖІТІ, 2001. — 314.
18. Репінський С. В., Даценко В. В., Мондьяк В. Є., Мазуренко Я. В. Вплив глибини різання на оптимальні режими різання для точіння зовнішньої циліндричної поверхні. Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)», м. Вінниця, ВНТУ, 15-16 червня 2025 р. Електрон. текст. дані. — 2025. — Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/22923>.
19. Джур Є. О., Бондаренко О. В. Проектування машинобудівних заводів та цехів. Загальна частина: навч. посіб. Д. : «Інновація», 2011. 109 с.
20. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. Вінниця : ВНТУ, 2021. 42 с.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Цапфа П.02.027»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

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

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

Показники звіту подібності

Turnitin	
Оригінальність	84%
Загальна схожість	16%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований системою щодо роботи (додається)

Автор _____ Мазуренко Я. В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

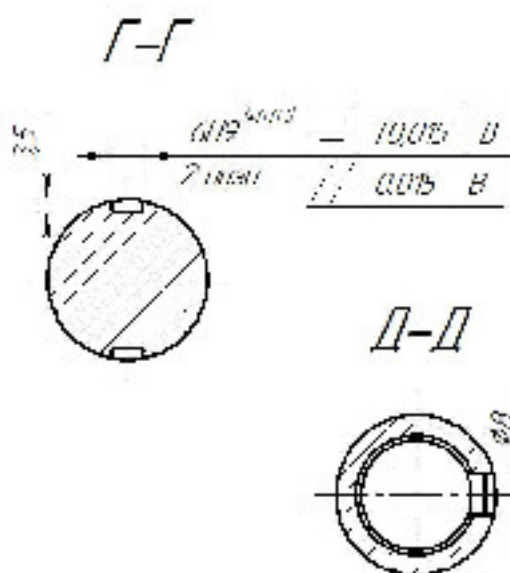
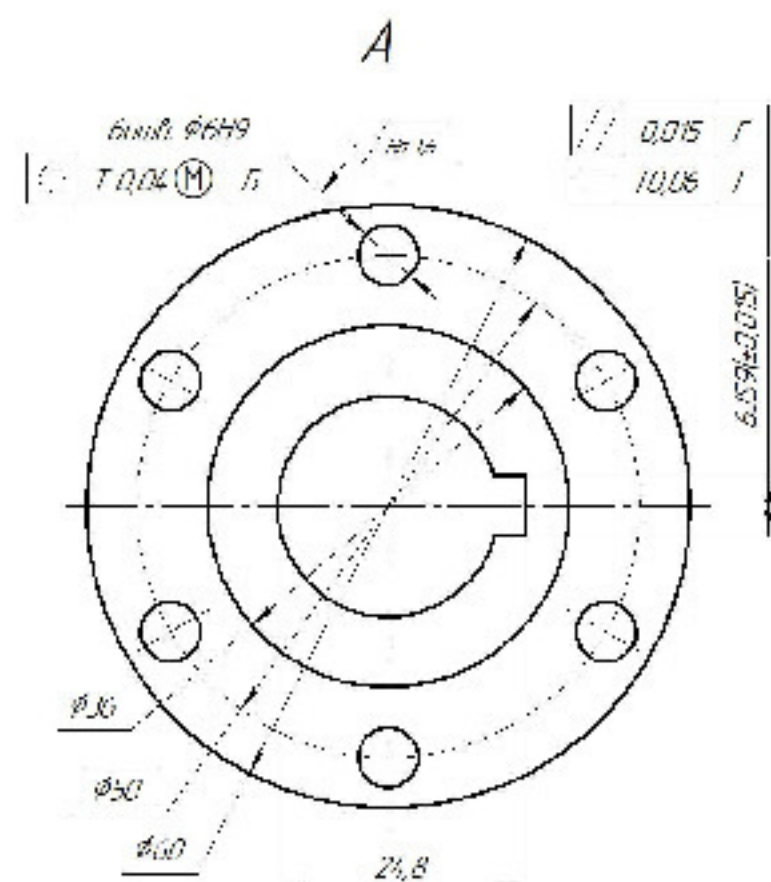
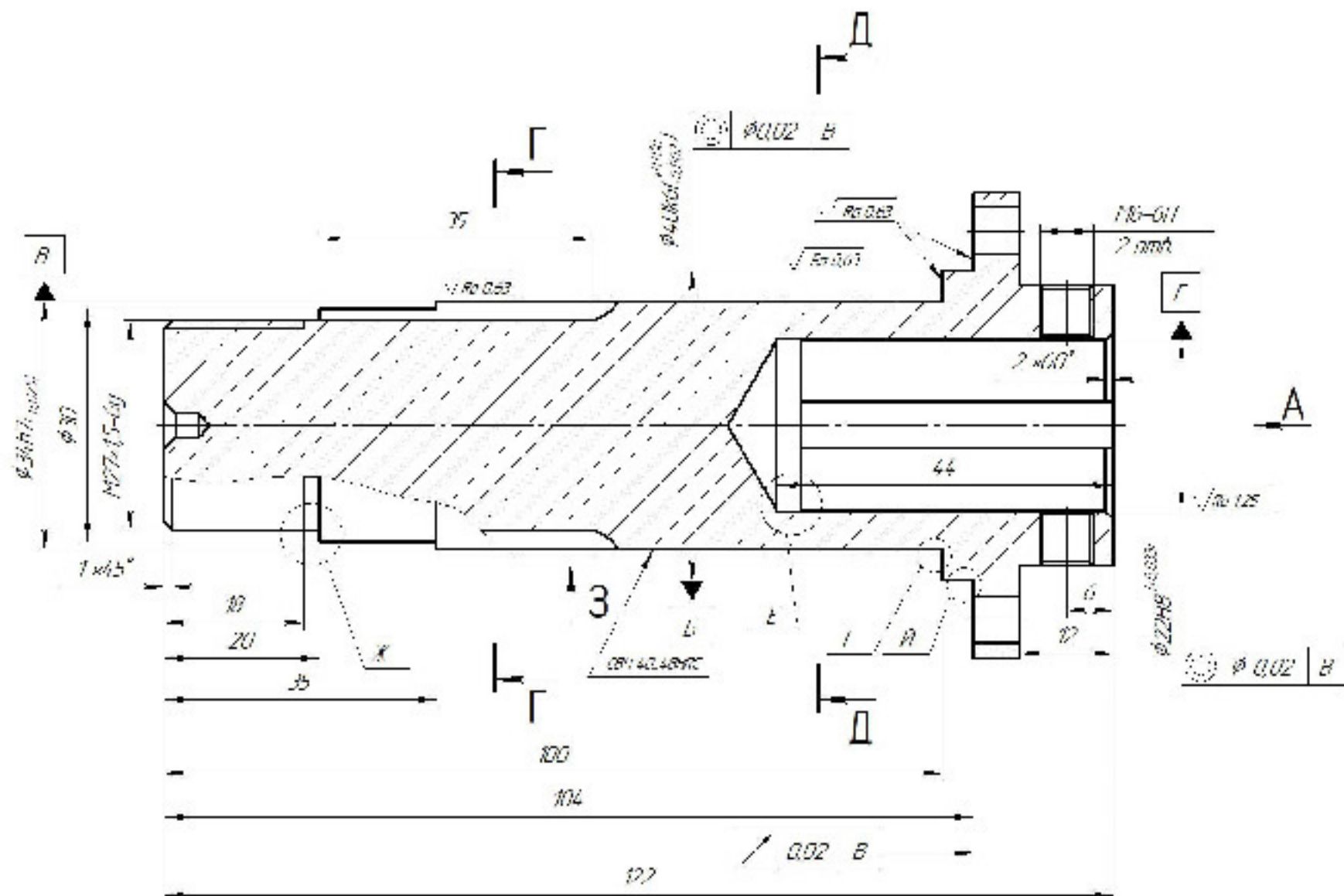
Особа, відповідальна за перевірку _____ Сердюк О. В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Експерт _____ Козлов Л. Г., д.т.н., проф., зав. каф. ТАМ
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Додаток

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

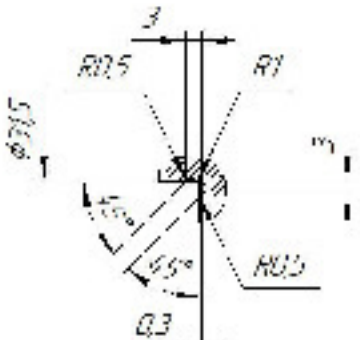
**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ
ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ЦАПФА П.02.027»**



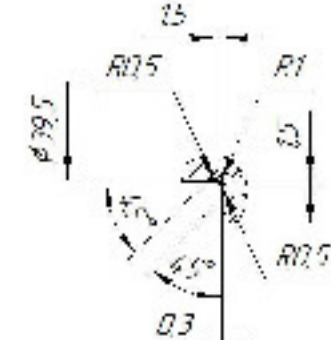
Ж (2:1)



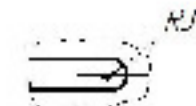
I (1:1)



II (1:1)



3 (1:1)



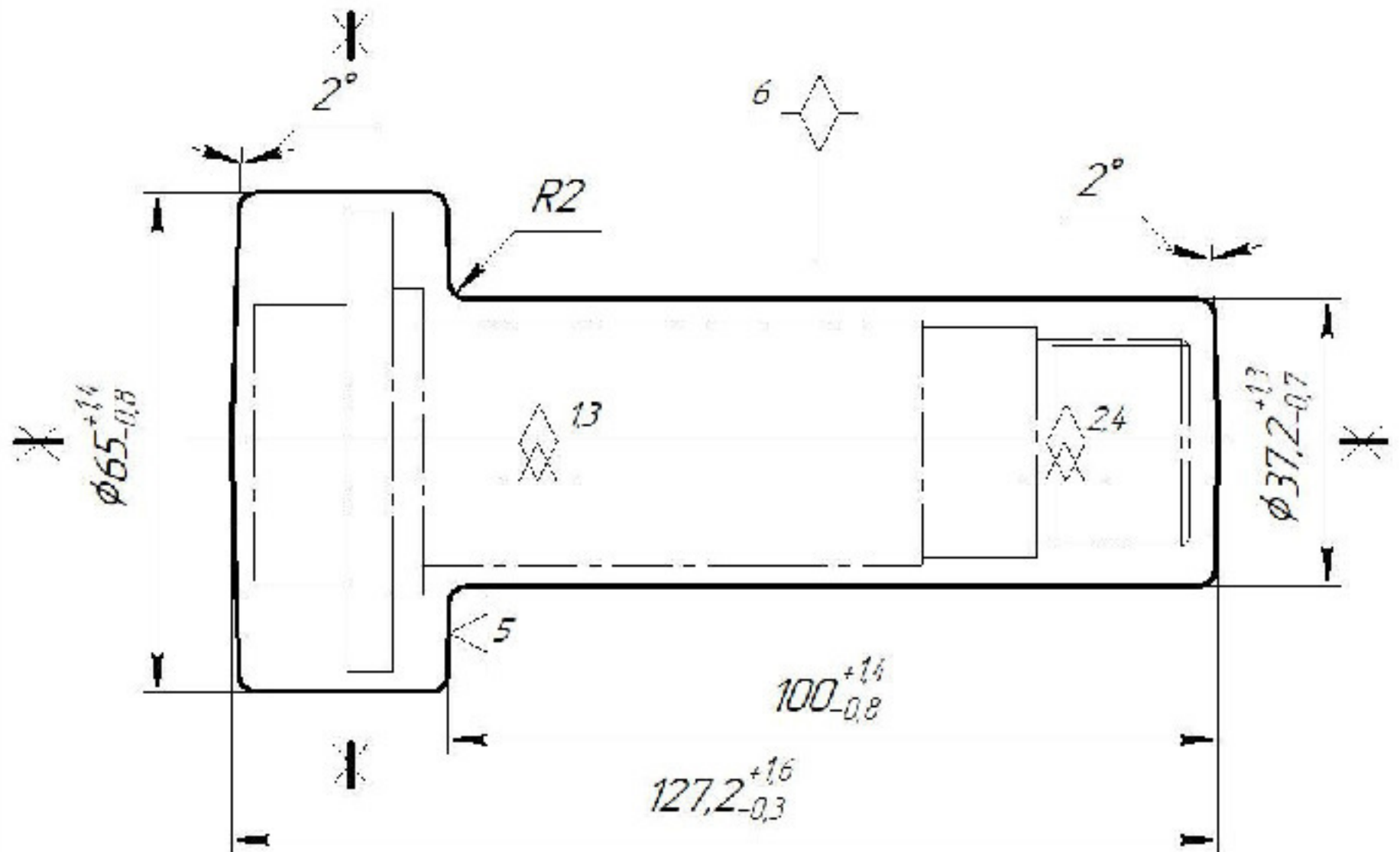
E (4:1)



1. HB 260-280.
2. I остр. кромки притупити фаскою 0,5x45°.
3. Нахиланні проміжні лінійлення H14, H14, з T14/2.

08-64.MKP.009.00.001					
Вид	Деталь	ІФ Деталь	Лист	Лист	
Вид	Деталь	Вид	Вид	Вид	
Вид	Деталь	Вид	Вид	Вид	
Вид	Деталь	Вид	Вид	Вид	
Цапфа П.02.027					
[матр. 40X ГОСТ 4543 71]					
ВНТЛ					
ст. зр. ТП1 23м					
Контракт					

✓ Rz 80 (✓)

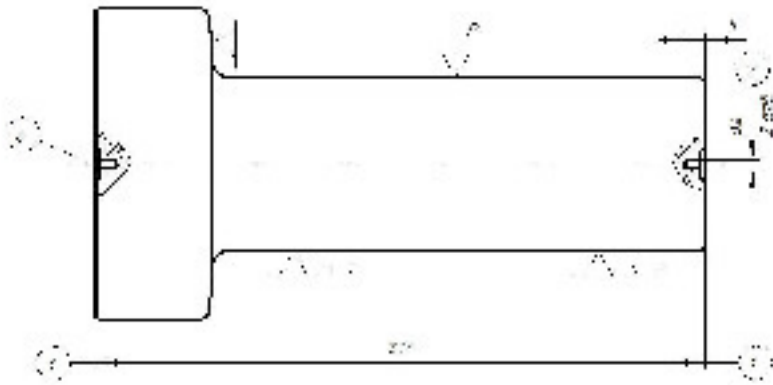
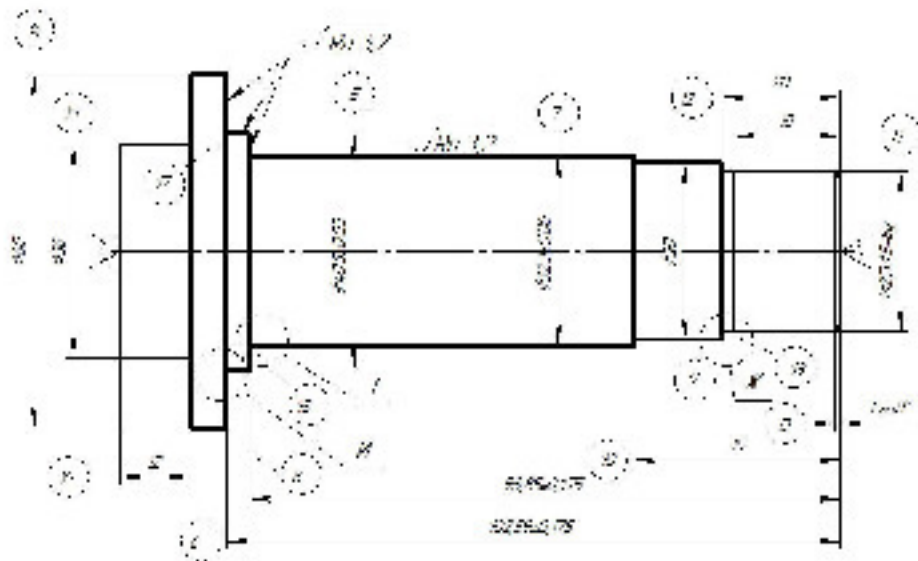


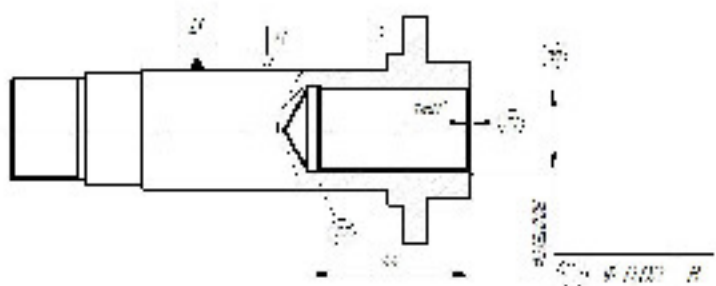
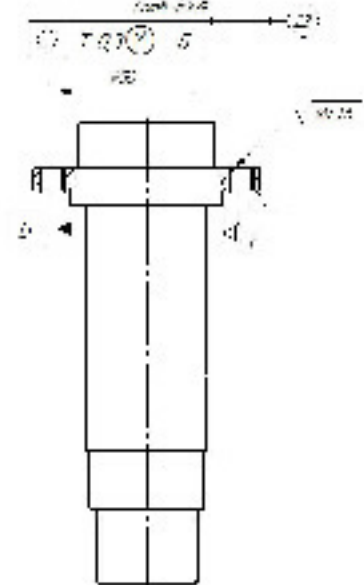
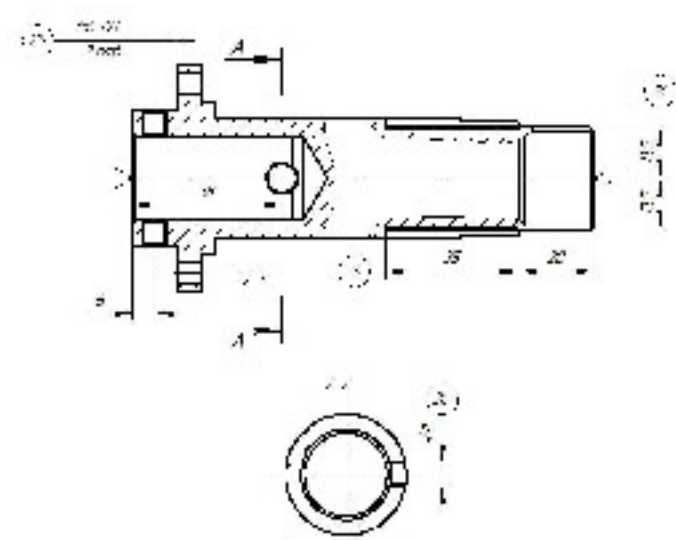
1. Клас точності – Т5, група сталі – М2, ступінь складності – С2.
2. Невказані штампувальні нахили 2° , радіуси 2 мм.
3. Допустима величина залишкового облою 0,8 мм.
4. Невказані допуски радіусів заокруглень 2,0 мм.
5. Допустиме відхилення від вигнутості, відхилення від площинності, і прямолінійності 1,0 мм.
6. Допустимі зміщення по площині роз'єму штампів до 0,6 мм.
7. Допуск радіального биття 2,0 мм.

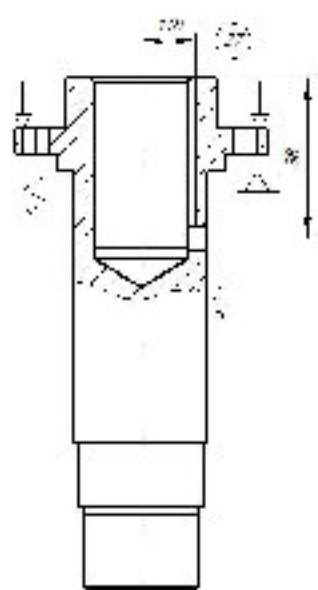
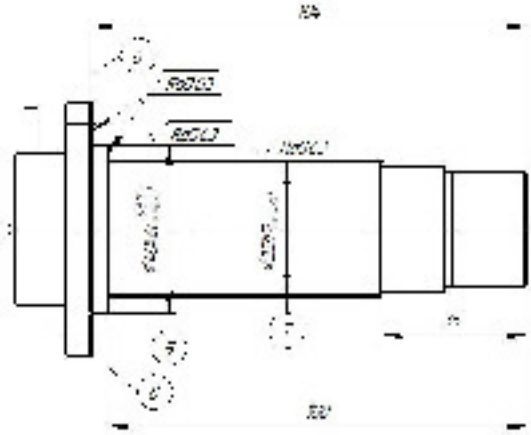
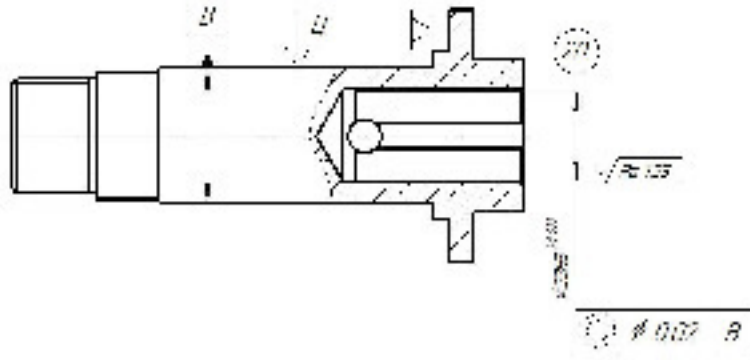
Лист и дата					08-64.МКР.009.00.002			
					Цапфа П.02.027 (штамповка на ГКМ)	Лист	Масса	Масштаб
							1,36	1:1
Инв. № подл.	Изм. / лист	№ докум.	Подп.	Итого				
	Разраб.	Мазуренко Я.В.						
	Пров.	Дерібо О.В.						
	Т.контр.					Лист 1	Листов 1	
	Н.контр.	Сердюк О.В.			Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	ВНТУ, ст. гр. 1ПМ-23М		
	Утв.	Козлов ЛГ.						

Формат А4

Маршрут механічної обробки

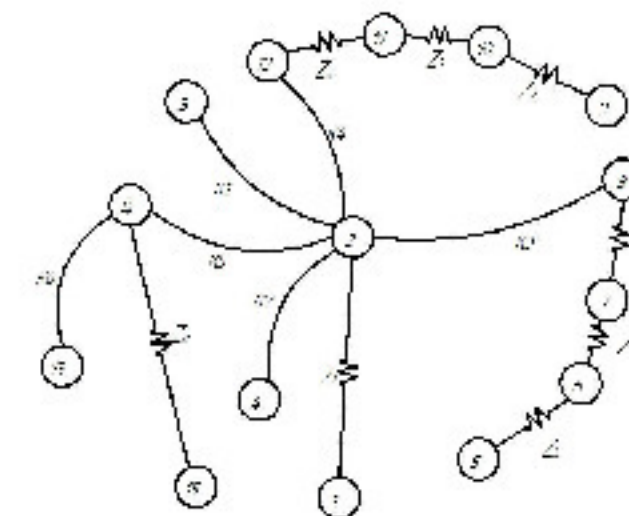
№ операції	Зміст операції	Ескіз обробки, схема установки	Обладнання
005	Фрезерно-центрувальна 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Фрезерувати торці 1 і 3 до розміру 122 мм однократно. 3) (верстати) центрувальні отвори 2 і 4. 5) Зняти заготовку.	$\sqrt{Ra 6,3 \pm 0,3}$  Невказані граничні відхилення $h12$, $H12$, $\pm IT12/2$.	Фрезерно-центрувальний верстат МР73М
010	Токарна з ЧПК 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Точити поверхні: 5 до розміру $\phi 41 \pm 0,15$ мм, 6 до розміру $100,92 \pm 0,435$ мм, 7 до розміру $\phi 32,6 \pm 0,31$ мм, 8 до розміру $97,7 \pm 0,175$ мм попередньо, поверхні 9 до розміру $\phi 30$ мм, 10 до розміру 35 мм, 11 до розміру $\phi 27$ мм, 12 до розміру 20 мм, 13 до розміру $1 \times 60^\circ$, однократно. 3) Точити остаточно поверхні: 5 до розміру $\phi 40,5 \pm 0,03$ мм, 6 до розміру $102,59 \pm 0,175$ мм, 7 до розміру $\phi 32,3 \pm 0,06$ мм, 8 до розміру $\phi 98,85 \pm 0,175$ мм. 4) Точити поверхні: 14 до розміру $\phi 60$ мм, 15 до розмір $\phi 36$ мм, 16 до розміру 12 мм однократно. 5) Точити канавки 17, 18, 19. 6) Нарізати різь М27$\times$1,5 на поверхні 11 на довжину 18 мм. 7) Зняти заготовку.	$\sqrt{Ra 0,1 \pm 0,1}$  Невказані граничні відхилення $h12$, $H12$, $\pm IT12/2$.	Токарний верстат з ЧПК 16K20T1

№ операції	Зміст операції	Ескіз обробки, схема установки	Обладнання
015	Токарна з ЧПК 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Центрувати отвір 20 розміром $\phi 5$ мм на довжину 5 мм. 3) Свердлити отвір 20 розміром $\phi 20,5 \pm 0,31$ мм на довжину 11 мм. 4) Розточити отвір 20 до розміру $\phi 21,5 \pm 0,06$ мм однократно. 5) Точити фаску 21 розміром $1 \times 60^\circ$ однократно. 6) Точити канавку 22 однократно. 7) Зняти заготовку.	Ескіз 1  Невказані граничні відхилення $h12$, $H12$, $\pm IT12/2$.	Токарний верстат з ЧПК 16K20T1
020	Вертикально свердлильна з ЧПК 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Центрувати 6 отворів 23. 3) Свердлити 6 отворів 23 розміром $\phi 6$ мм. 4) Зенкерувати 6 отворів 23 розміром 6H9. 5) Зняти заготовку.	Ескіз 2  Невказані граничні відхилення $h12$, $H12$, $\pm IT12/2$.	Вертикально-свердильний верстат з ЧПК 2P135Ф3
025	Вертикально-фрезерна з ЧПК 1) Встановити і закріпити заготовку. Позиція I 1) Фрезерувати паз 24. 2) Центрувати отвір 25. 3) Свердлити отвір 25 розміром $\phi 5$ мм. 4) Нарізати різь $M6-6H$ в отворі 25. 5) Повернути заготовку на 180°. Позиція II 1) Фрезерувати паз 24. 2) Центрувати отвір 25. 3) Свердлити отвір 25 розміром $\phi 5$ мм. 4) Нарізати різь $M6-6H$ в отворі 25. 5) Повернути заготовку на 90°. Позиція III 1) Центрувати отвір 26. 2) Свердлити отвір 26 розміром $\phi 8$ мм. 3) Зняти заготовку.	Ескіз 3  Невказані граничні відхилення $h12$, $H12$, $\pm IT12/2$.	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК 6P13PФ3

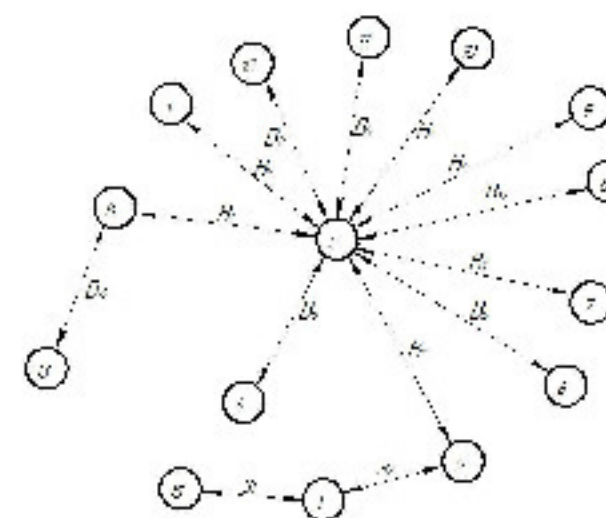
№ операції	Зміст операції	Ескіз обробки, схема установки	Обладнання
030	Довбальна 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Довбати паз 27 розміром 6H8мм на довжину 38мм. 3) Зняти заготовку.	 Невказані граничні відхилення І12, Н12, ±ІТ12/2.	Довбальний верстат 7402
035	Термічна обробка	Струм високої частоти	
040	Торцекруглошліфувальна з ЧПК 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Шліфувати поверхні: 5 в розмір $\phi 40h7$ мм, 6 в розмір 103,5 мм, 7 в розмір $\phi 32,5h8$ мм, 8 в розмір 99,5 мм попередньо. 3) Шліфувати поверхні: 5 в розмір $\phi 40k6$мм, 6 в розмір 104мм, 7 в розмір $\phi 32h7$ мм, 8 в розмір 100 мм остаточно. 4) Зняти заготовку.	 Невказані граничні відхилення І12, Н12, ±ІТ12/2.	Торцекруглошліфувальний верстат з ЧПК ОШ-650Ф3
045	Внутрішньошліфувальна 1) Встановити і закріпити заготовку. 2) Шліфувати поверхню 20 в розмір $\phi 22H8$ мм однократно. 3) Зняти заготовку.	 Невказані граничні відхилення І12, Н12, ±ІТ12/2.	Внутрішньошліфувальний верстат 3К225В

Розмірний аналіз технологічного процесу

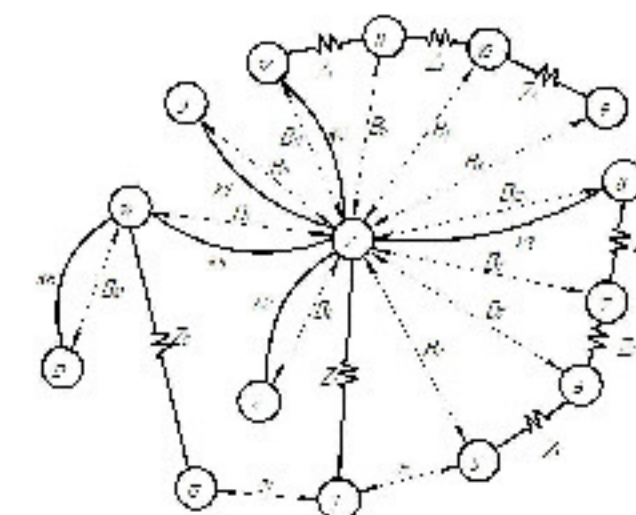
Розмірна схема технологічного процесу



Вихідний граф-дерево



Похідний граф-дерево

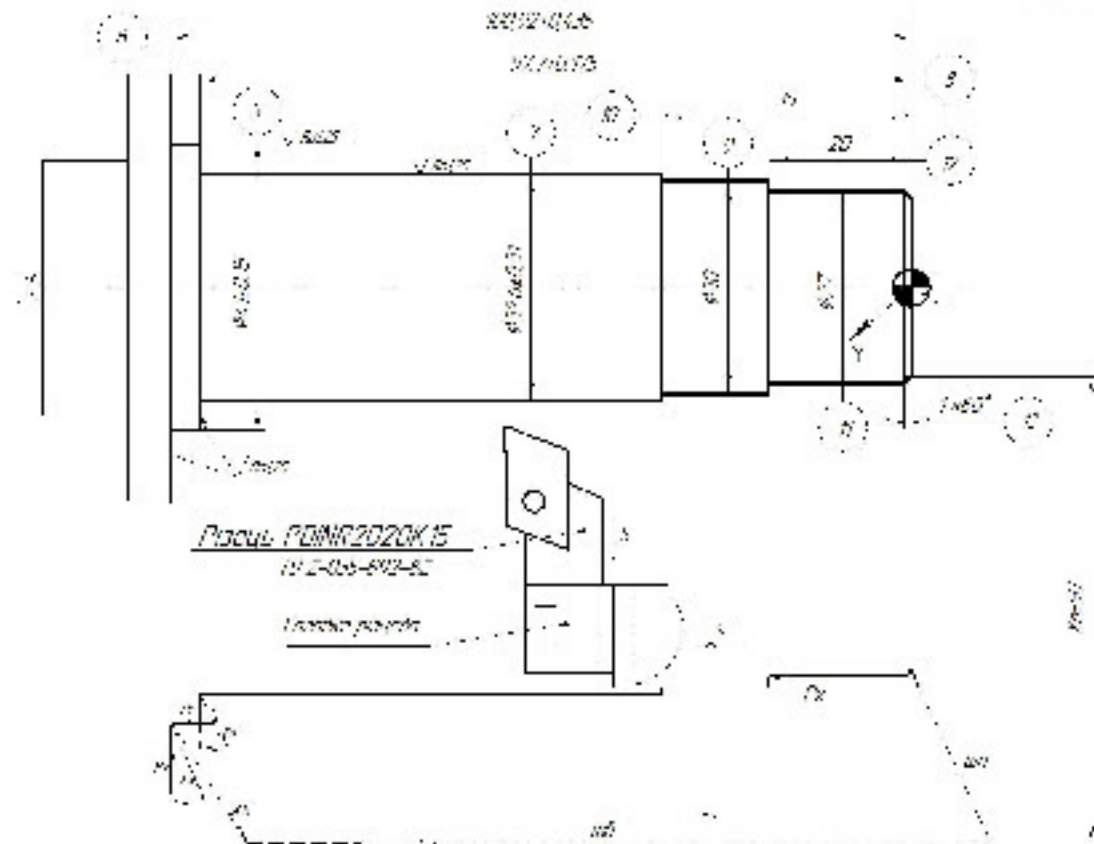


Суміщений граф

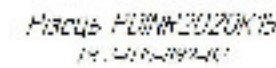
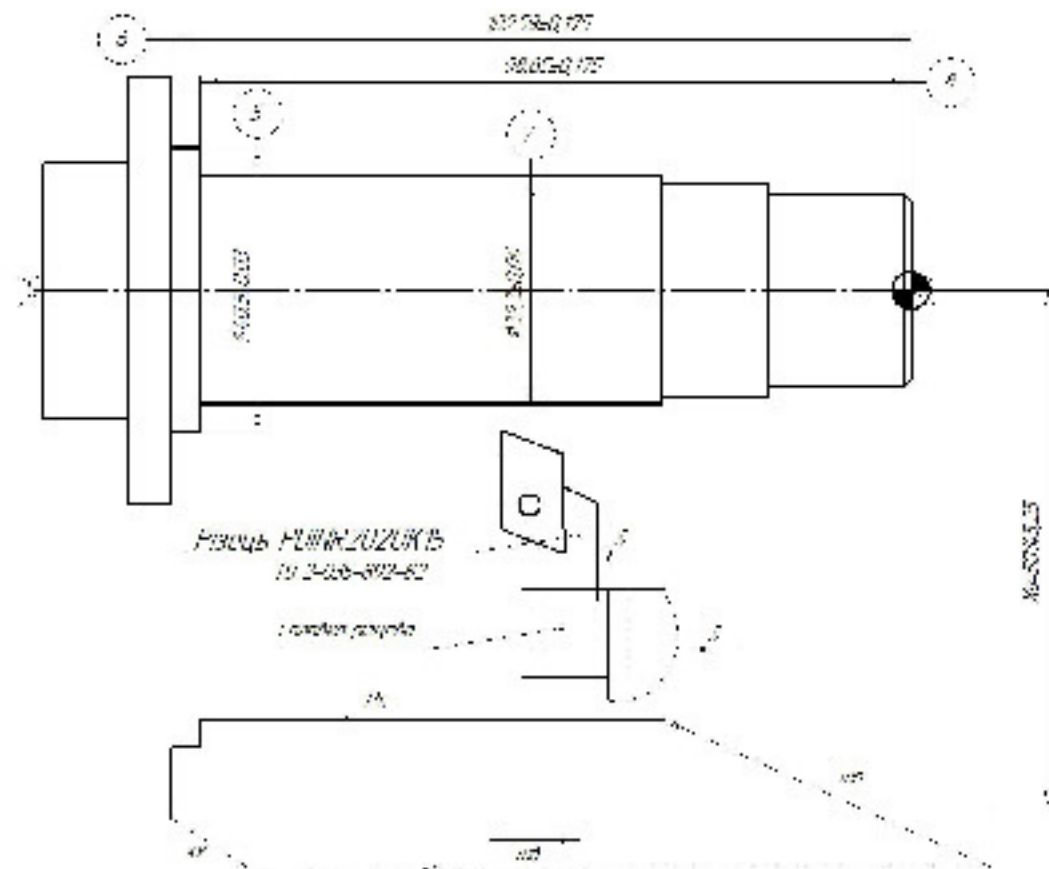
Значення технологічних розмірів, розмірів заготовки, припусків

Рассуд	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Расс	022	045	064	079	093	099	099	097	097	097	096	096
	22	45	64	79	93	99	99	97	97	97	96	96
Расс	076	087	086	087	075	071	066	063	064	061	058	057
	76	87	86	87	75	71	66	63	64	61	58	57
Рассуд	12	17	17	16	15	16	17	16				
Расс	1	1	08	16	1	09	16	1				
Расс	007	027	027	007	17	17	15	04				

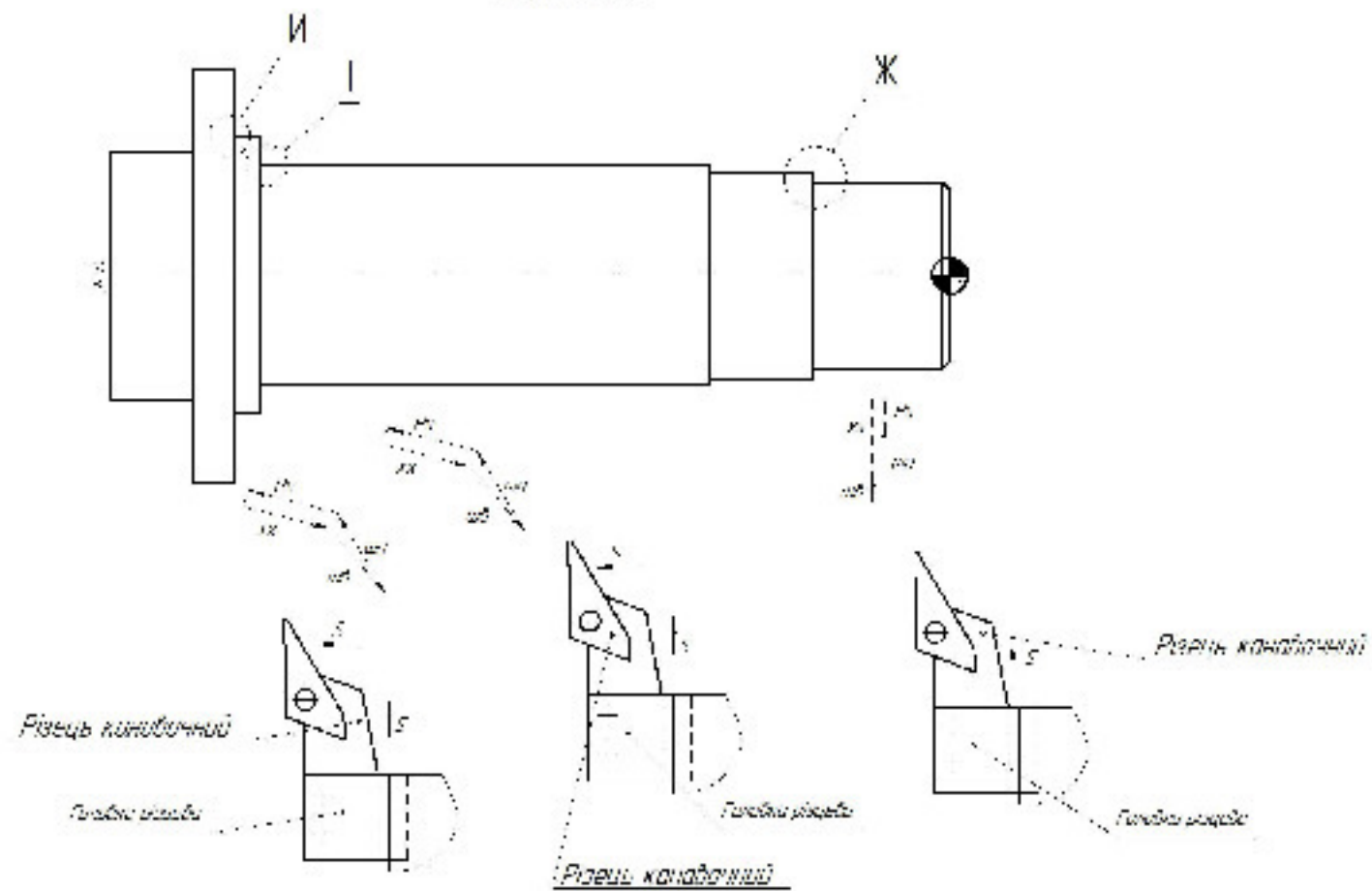
1222



44-2745-5

[illegible]

Перехід 5



И (11)



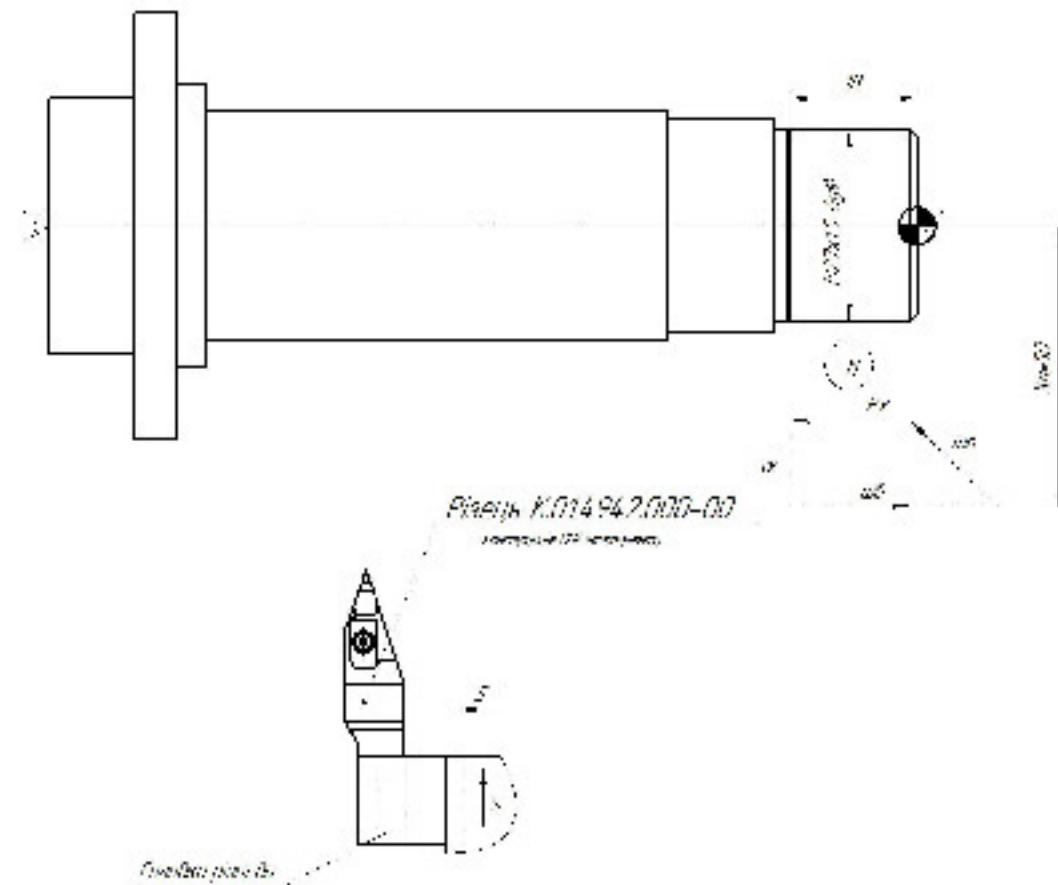
І (11)



Ж (21)



Перехід 6



Різець К.014.942.000-00
конічний (21) конічний

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗЦЯ НА ОПТИМАЛЬНІ РЕЖИМИ РІЗАННЯ ДЛЯ ЧОРНОВОГО Й ЧИСТОВОГО ТОЧІННЯ ЗАГОТОВОК СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ

Метою роботи є виявлення ступенів впливу геометричних параметрів різця (радіуса заокруглення вершини різця, головного і допоміжного кутів в плані) на оптимальні значення режимів різання для чорнового і чистового точіння заготовок сталевих деталей, які мають форму тіла обертання.

Для досягнення мети роботи сформовані такі **завдання**:

- спроектувати технологічну операцію механічної обробки заготовки деталі;
- сформулювати обмеження стосовно вибору режимів різання (подачі і швидкості різання) для прийнятих технологічних умов;
- встановити залежності оптимальної швидкості різання для чорнового і чистового розточування від геометричних параметрів різця;
- проаналізувати отримані залежності, зробити висновки і сформулювати рекомендації.

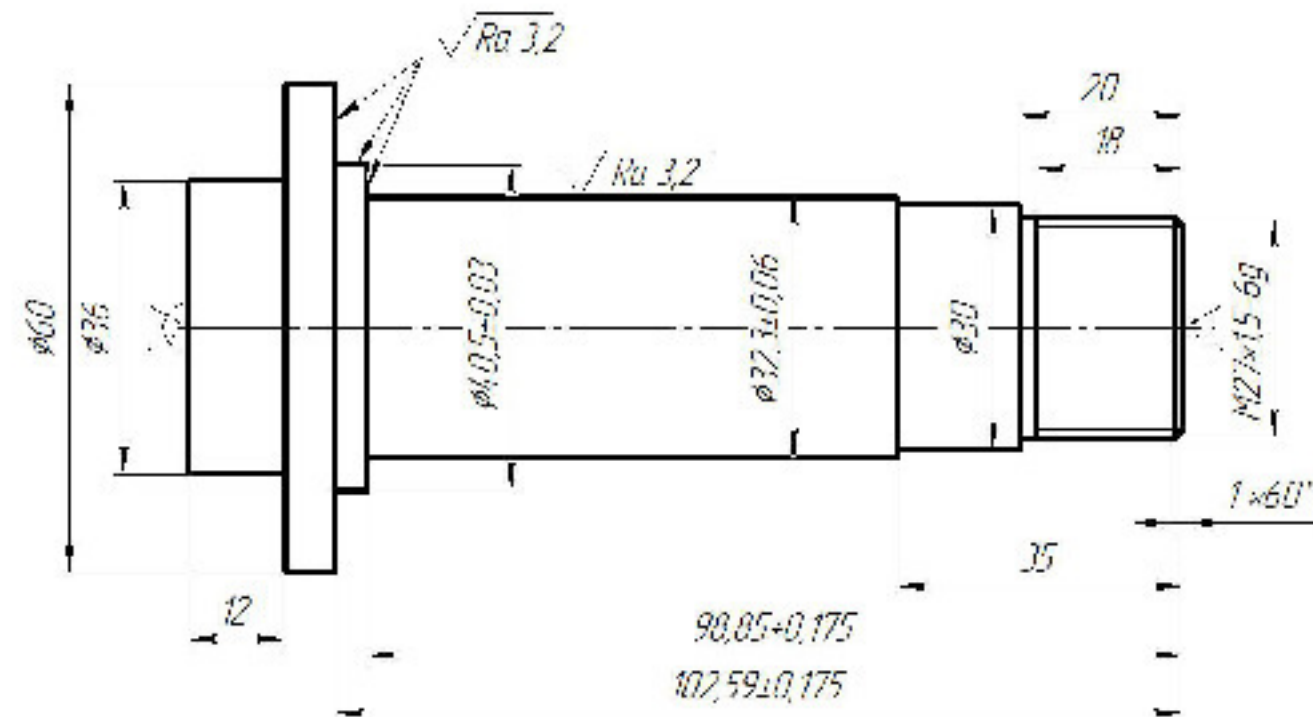


Рисунок 1 – Ескіз обробки

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗЦЯ НА ОПТИМАЛЬНІ РЕЖИМИ РІЗАННЯ ДЛЯ ЧОРНОВОГО Й ЧИСТОВОГО ТОЧІННЯ ЗАГОТОВОК СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ (продовження)

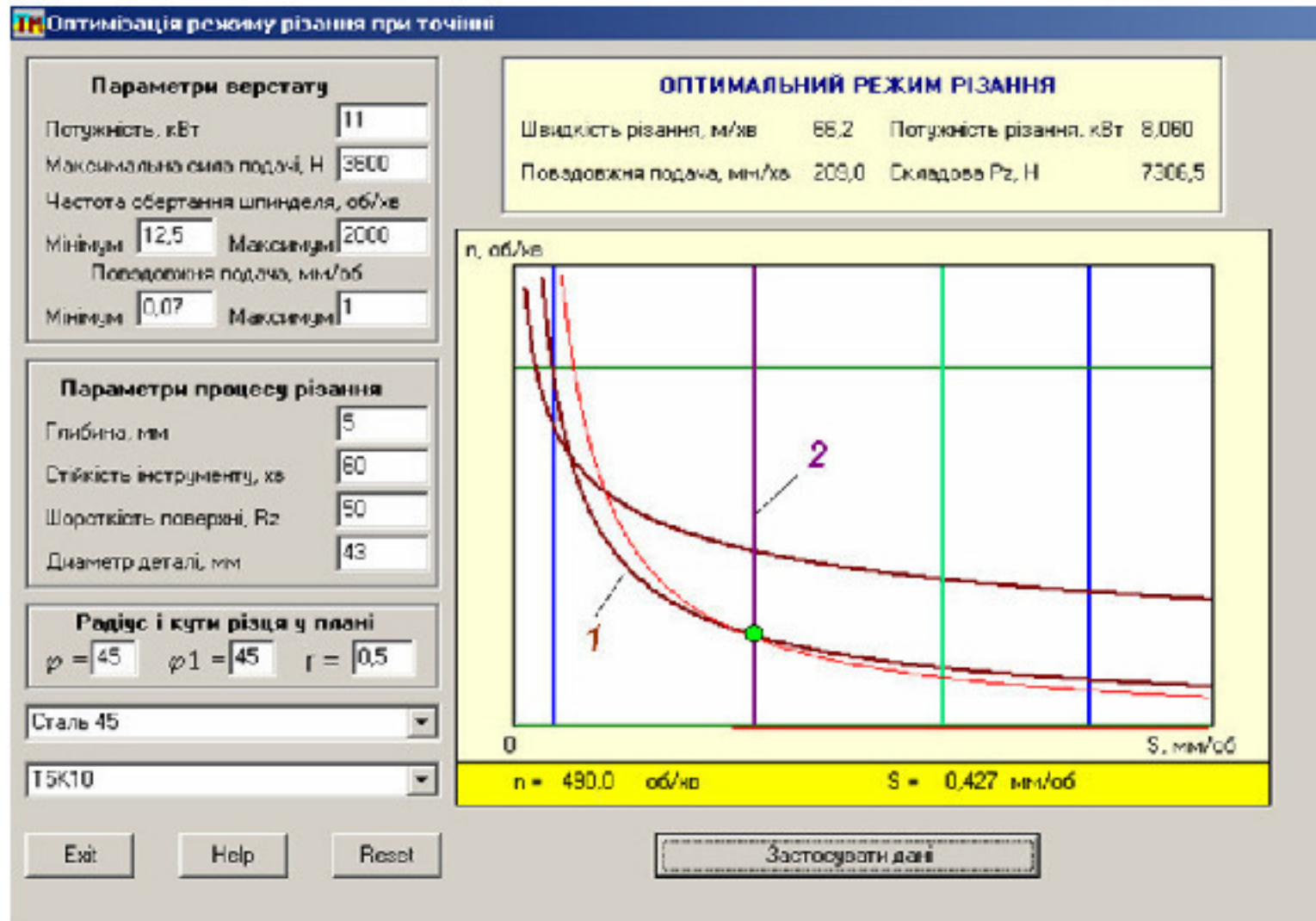


Рисунок 2 – Копія екрана комп'ютерного монітора з результатом вибору оптимальних швидкості різання й подачі для чорнового точіння поверхні Ø33 мм.

Параметри процесу різання: $t = 5 \text{ мм}$, $r = 0,5 \text{ мм}$; $\varphi = 80^\circ$; $\varphi_1 = 20^\circ$.
Крива 1 – обмеження за потужністю різання; пряма 2 – обмеження за максимально допустимою силою поздовжньої подачі

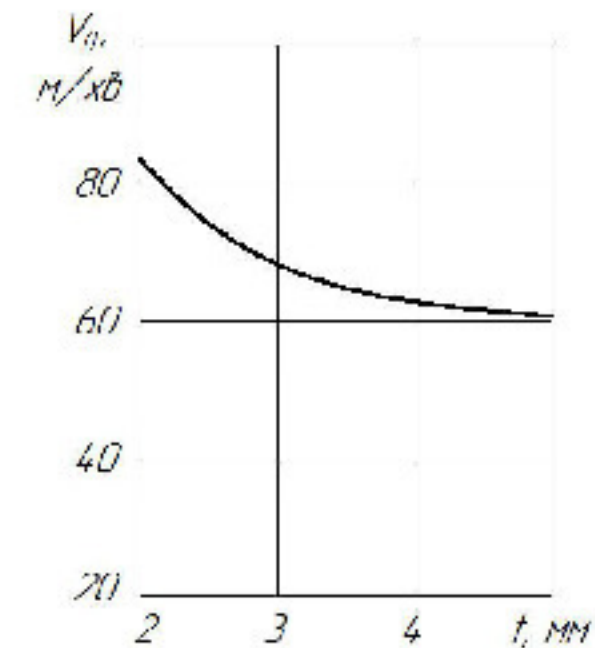


Рисунок 3 – Залежність оптимальної швидкості різання v_0 для чорнового точіння від глибини різання t

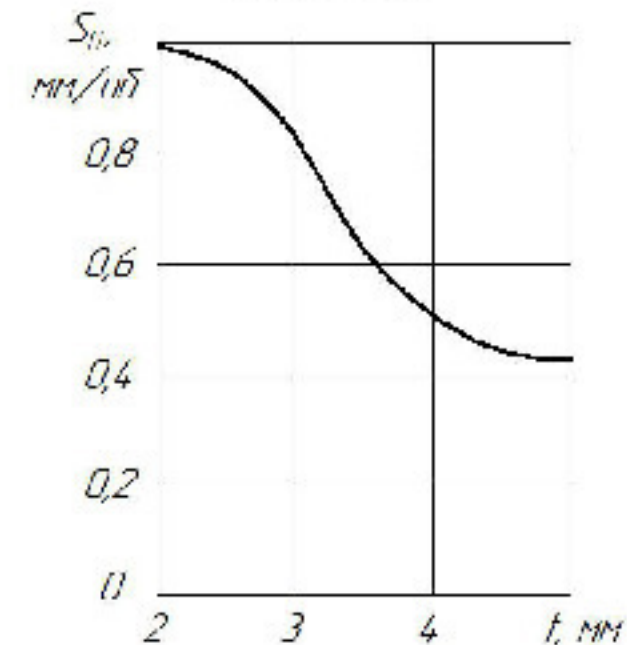


Рисунок 4 – Залежність оптимальної подачі s_0 для чорнового точіння від глибини різання t

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗЦЯ НА ОПТИМАЛЬНІ РЕЖИМИ РІЗАННЯ ДЛЯ ЧОРНОВОГО Й ЧИСТОВОГО ТОЧІННЯ ЗАГОТОВОК СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ (продовження)

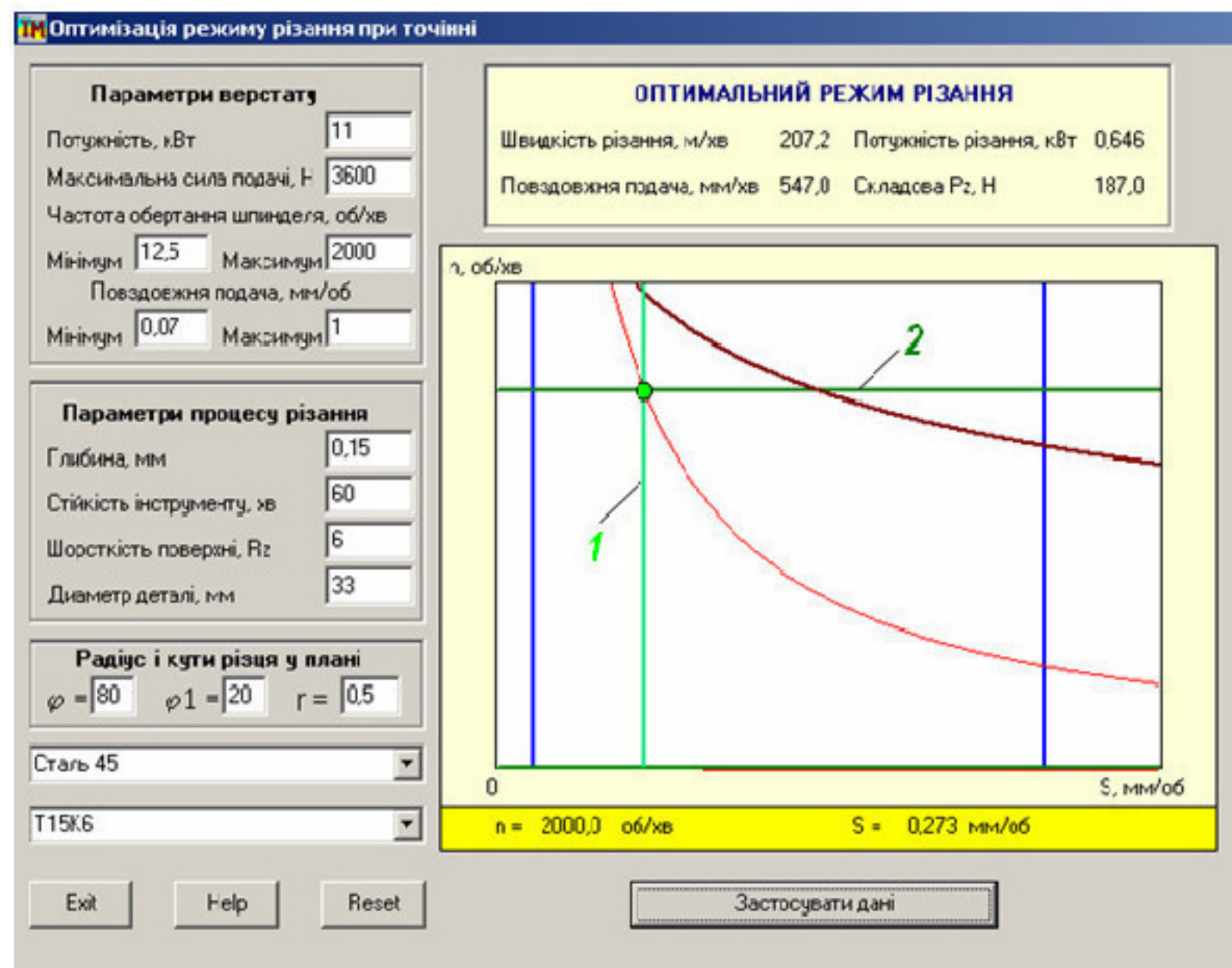


Рисунок 5 – Копія екрана комп'ютерного монітора з результатом вибору оптимальних швидкості різання й подачі для чистового точіння поверхні Ø33 мм.

Параметри процесу різання: $t = 0,15$ мм, $r = 0,5$ мм; $\varphi = 80^\circ$; $\varphi_1 = 20^\circ$.

Пряма 1 – обмеження за шорсткістю обробленої поверхні;
пряма 2 – обмеження за максимальною частотою обертання шпинделя

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗЦЯ НА ОПТИМАЛЬНІ РЕЖИМИ РІЗАННЯ ДЛЯ ЧОРНОВОГО Й ЧИСТОВОГО ТОЧІННЯ ЗАГОТОВОК СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ (продовження)

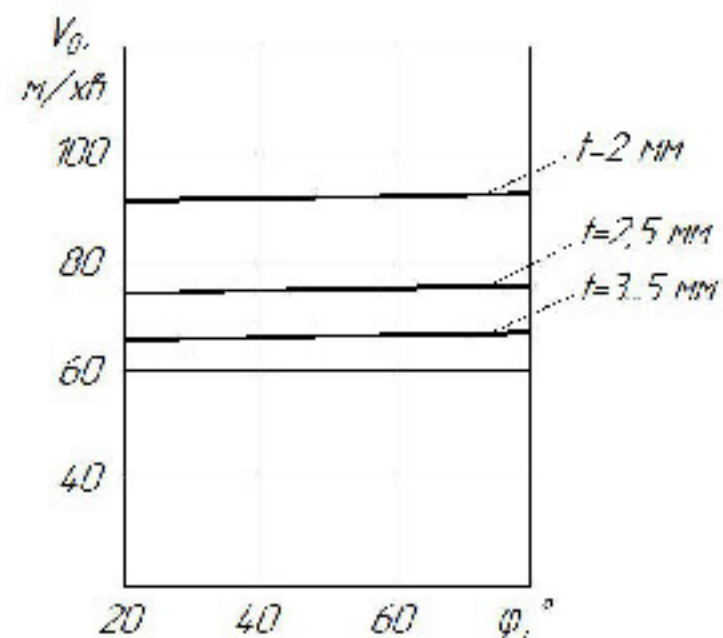


Рисунок 6 – Залежність оптимальної швидкості різання v_0 для чорнового точіння від головного кута в плані φ за різної глибини різання t

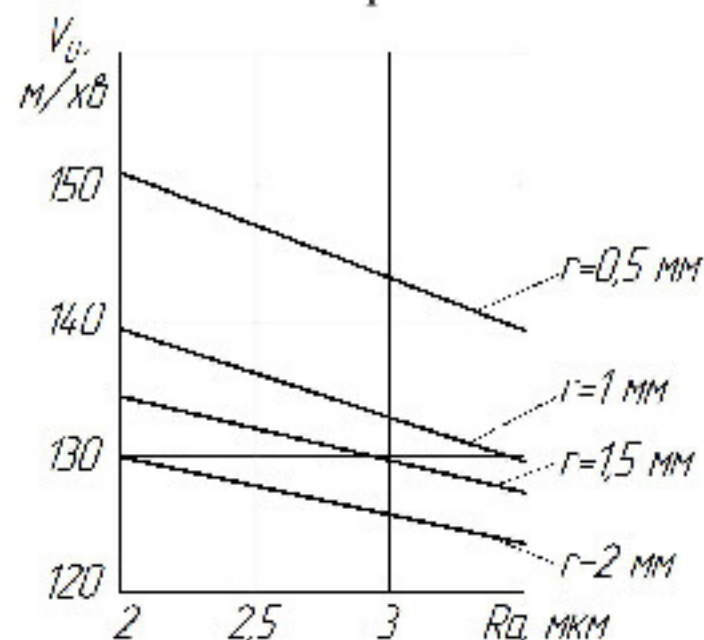


Рисунок 8 – Залежність оптимальної швидкості різання v_0 від бажаної шорсткості обробленої поверхні для чистового точіння за різних значень радіусу r заокруглення вершини різця ($\varphi = 80^\circ$; $\varphi_1 = 20^\circ$)

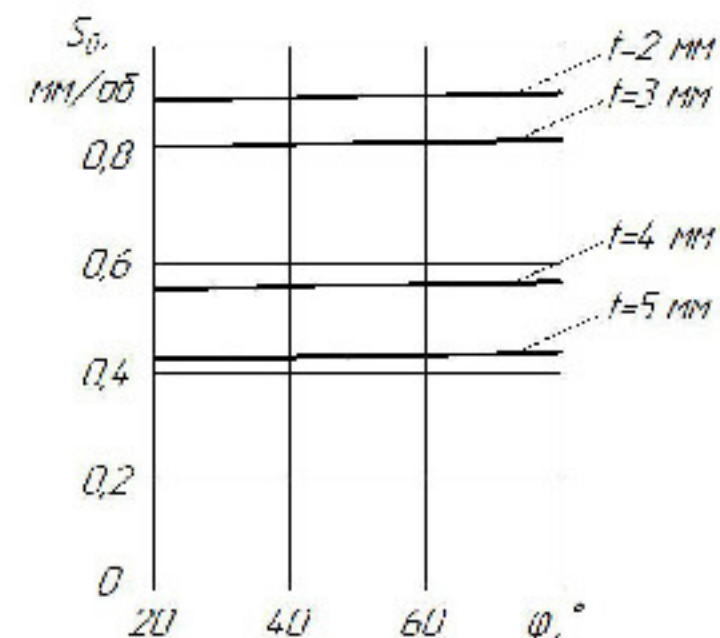


Рисунок 7 – Залежність оптимальної подачі s_0 для чорнового точіння від головного кута в плані φ за різної глибини різання t

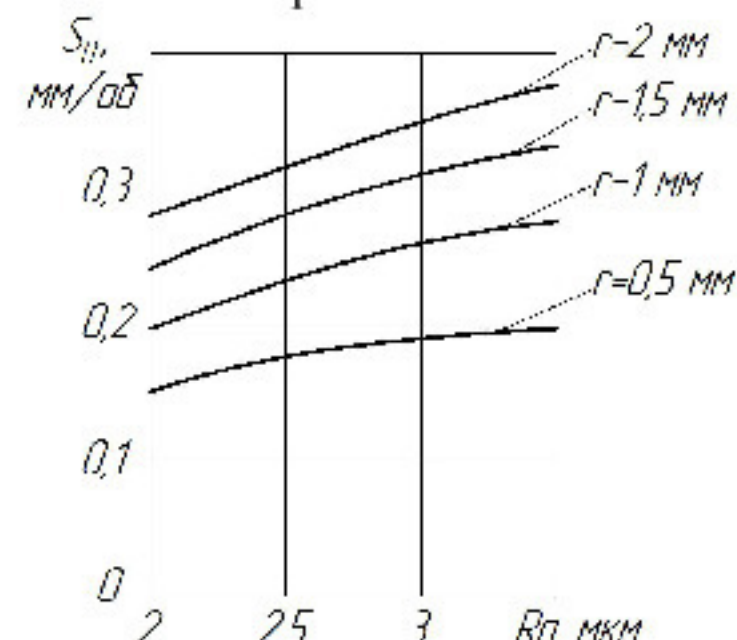


Рисунок 9 – Залежність оптимальної подачі s_0 для чистового точіння від бажаної шорсткості обробленої поверхні за різних значень радіусу r заокруглення вершини різця

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗЦЯ НА ОПТИМАЛЬНІ РЕЖИМИ РІЗАННЯ ДЛЯ ЧОРНОВОГО Й ЧИСТОВОГО ТОЧІННЯ ЗАГОТОВОК СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ (продовження)

Висновки

1. За допомогою методу лінійного програмування досліджено вплив геометричних параметрів різця (радіуса заокруглення вершини різця, головного і допоміжного кутів в плані) та глибини різання на оптимальні значення режимів різання (швидкість різання і подачу) для чорнового і чистового точіння сталевих заготовок.

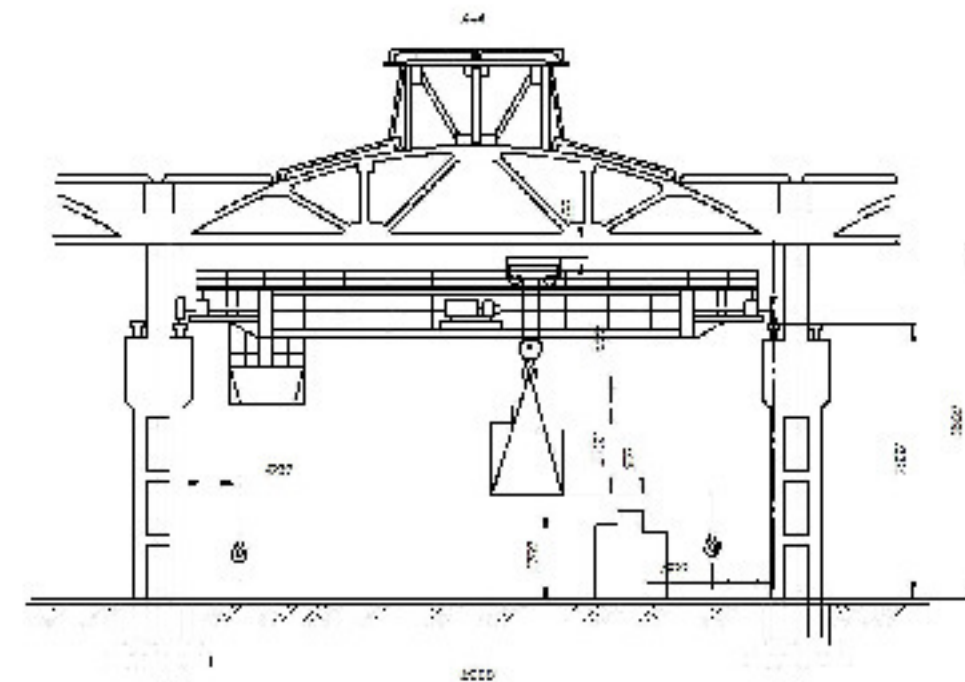
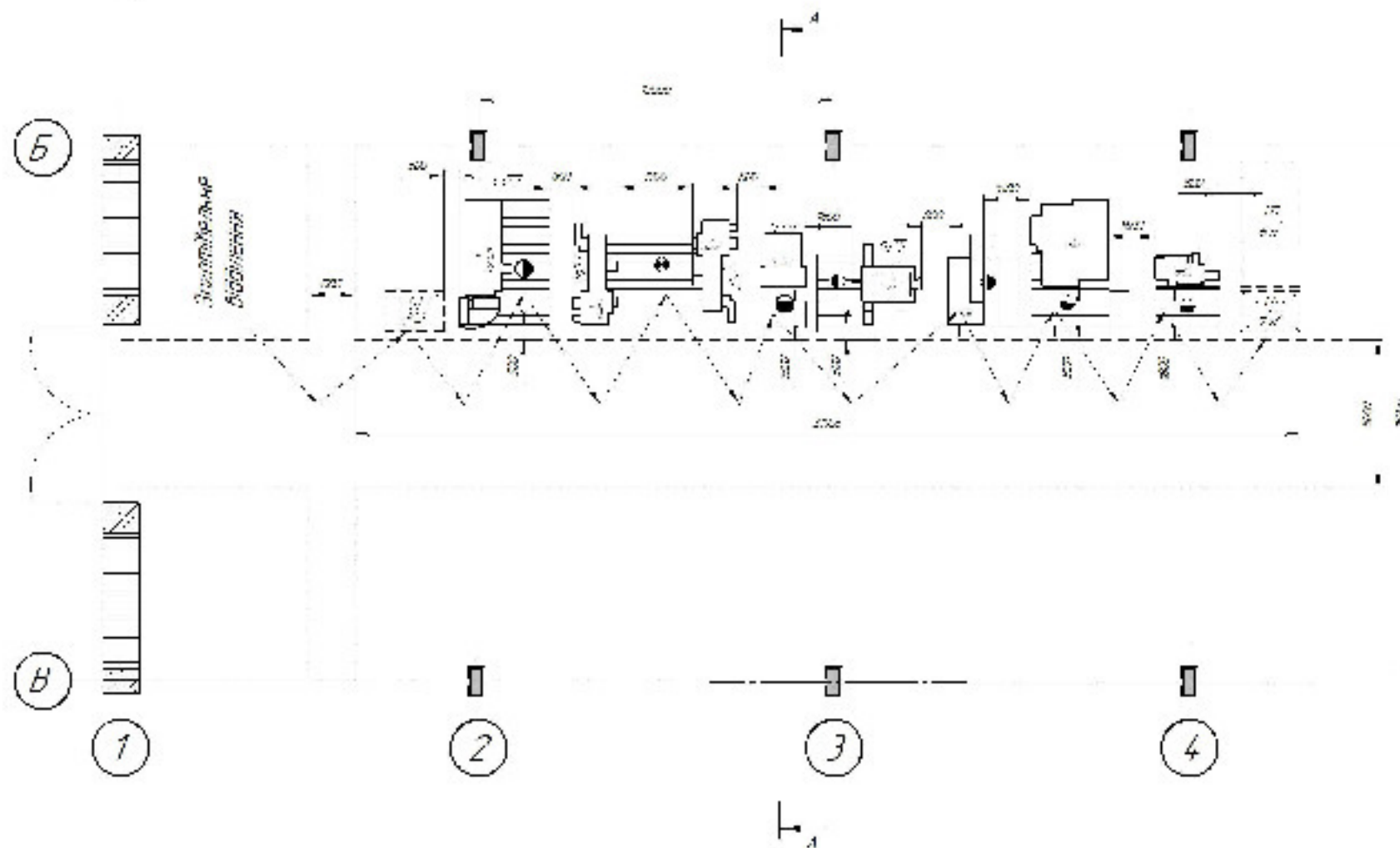
2. Встановлено, що за умови забезпечення сталої величини стійкості різця:

- для чорнового точіння збільшення глибини різання зменшує величину оптимальної подачі і величину оптимальної швидкості різання, що пояснюється обмеженими енергетичними властивостями приводу головного руху верстата і обмеженими силовими характеристиками приводу поздовжньої подачі;

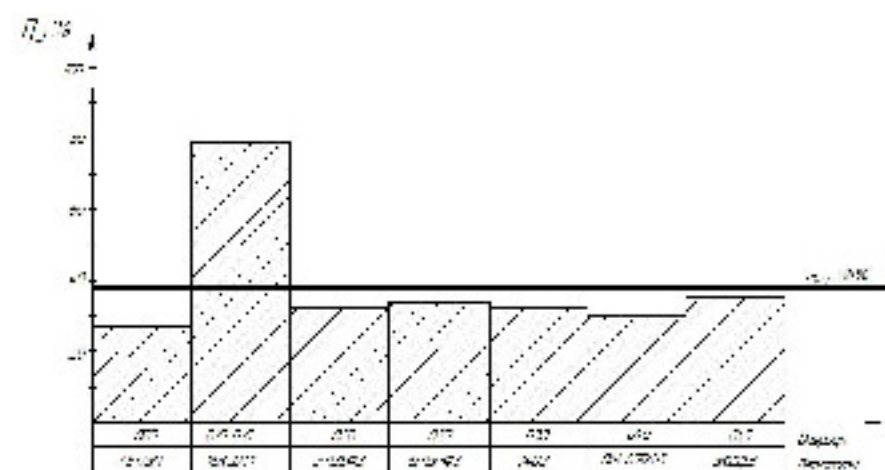
- для чорнового точіння змінення головного кута в плані мало впливає на оптимальну швидкість різання і оптимальну подачу.

- для чистового точіння збільшення радіуса вершини різця дещо зменшує оптимальну швидкість різання, але збільшує оптимальну подачу.

3. Результати роботи можуть бути корисними для проектування операцій технологічних процесів механічної обробки у машинобудівному виробництві, а також у навчальному процесі.



Група зобов'язання відшкодування



Графік зображення області визначення на площині xOy



Технічні заходи зменшення впливу

1. *Получить данные* (№ 1)

возобнови — 20 м

2. Количество проходов (чел.)

ප්‍රවේශනයක් ලෙසින් 7

Дополнение - 2

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ - 2

சங்கராஜன் !

ASST - 7

А. Барсегянц, *дир.* - 8

				06.64.МНР.009.00500.8.3		
№ п/п	№ документа	Дата	№	Полученная информация об объекте	Акт	Протокол
№ п/п	№ документа	Дата	№			
№ п/п	№ документа	Дата	№		1	2
№ п/п	№ документа	Дата	№		1	2

Техніко-економічні показники удосконаленого технологічного процесу та діляниці механічної обробки

Показники	По базовому варіанту	По удосконаленому технологічному процесу
Маса деталі, кг	0,65	0,65
Спосіб виготовлення заготовки	прокат	штампування на горизонтально- кувальних машинах
Маса заготовки, кг	3,21	1,36
Коефіцієнт використання матеріалу заготовки	0,2	0,48
Вартість заготовки, грн.	69,48	67,6
Середній розряд робітників	4	3
Кількість верстатів, шт.	12	8
Площа, зайнята верстатами, м ²	300	200
Кількість основних робітників, чел.	12	7
Кількість працюючих на ділянці, чел.	18	13
Капітальні вкладення, грн.	–	1958861,89
Собівартість деталі, грн.	116,57	167,86
Прибуток за рік, грн./рік	–	908883,62
Термін окупності капітальних вкладень, років	–	2,16