

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування виду навчального закладу)

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

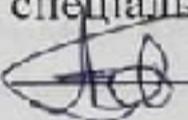
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

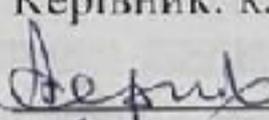
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

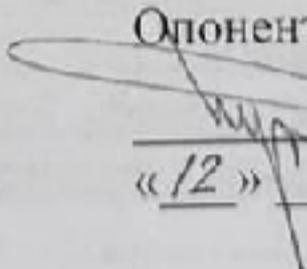
на тему:

«Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки
деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005»»

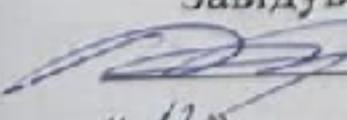
08-64.МКР.023.00.000 ПЗ

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

Керівник: к.т.н., професор каф. ТАМ
 Олександр ДЕРІБО
«12» 12 2025 р.

Опонент: к.т.н., професор каф. АТМ
 Юрій БУРЄННІКОВ
«12» 12 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТАМ

 д.т.н., проф. Леонід КОЗЛОВ
«12» 12 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

«07» 10 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Левіщенку Артему Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-03.05»

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

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

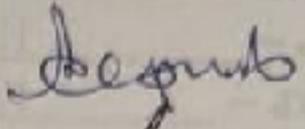
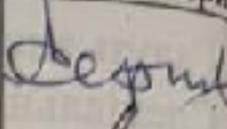
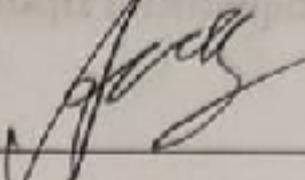
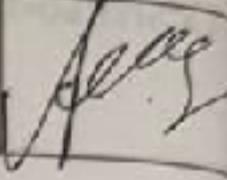
2. Строк подання студентом роботи: 17 лютого 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі «Вал-шестерня 32-03.05»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 20 000 шт.; довідкова література

4. Зміст текстової частини: анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталі типу «Вал»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-03.05»; аналіз особливостей застосування методу групової взаємозамінності (селективного складання) для забезпечення нормативних параметрів шестеренних насосів; розрахунок елементів дільниці механічної обробки деталі типу «Вал-шестерня 32-03.05»; економічне обґрунтування удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-03.05»; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): деталь «Вал-шестерня 32-03.05» (A2); заготовка деталі «Вал-шестерня 32-03.05» (A2); маршрут механічної обробки (3A1); розмірний аналіз технологічного процесу (A1); карта налагоджень на 010 операцію (A1); аналіз особливостей застосування методу групової взаємозамінності (селективного складання) для забезпечення нормативних параметрів шестеренних насосів (3A1); план дільниці механічного цеху (A1); техніко економічні показники (A1)

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання « 07 » 10 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

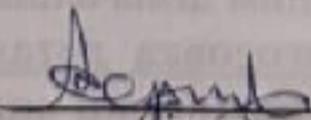
№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітки
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	до 25.10.2025	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	до 25.10.2025	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	до 30.10.2025	
4	Розв'язання поставлених задач	до 20.11.2025	
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	до 22.11.2025	
6	Виконання розділу «Економічна частина»	до 25.11.2025	
7	Попередній захист МКР	до 02.12.2025	
8	Перевірка роботи на плагіат	до 09.12.2025	
9	Нормоконтроль МКР	до 13.12.2025	
10	Опонування МКР	до 13.12.2025	
11	Захист МКР	до 25.12.2025	

Студент


(підпис)

Артем ЛЕВІЩЕНКО

Керівник роботи


(підпис)

Олександр ДЕРІБО

АНОТАЦІЯ

УДК 621.9

Левіщенко А. П. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – Прикладна механіка, освітня програма – Технології машинобудування. Вінниця : ВНТУ, 2025. 127 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 23 назв; рис.: 21; табл. 39.

У магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005». У загальній частині роботи проведено огляд технологій виготовлення деталі типу «Вал», обґрунтована доцільність удосконалення існуючого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005».

В технологічній частині виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005» 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; виконано аналіз особливостей застосування методу групової взаємозамінності (селективного складання) для забезпечення нормативних параметрів шестеренних насосів; розраховано приведену програму, кількість обладнання та працівників для удосконаленої дільниці механічної обробки.

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

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

ABSTRACT

Levishchenko A. P. Improvement of the technological process of mechanical processing of the workpiece of the «Shaft-gear 32-3.005» type part. Master's qualification work in specialty 131 – applied mechanics, educational program – mechanical engineering technology. Vinnytsia : VNTU, 2025. 127 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 23 titles; fig.: 21; tabl. 39.

In the master's qualification work, the technological process of machining a workpiece of the type «Shaft-gear 32-3.005» was improved. In the general part of the work, a review of the technologies for manufacturing parts of the type «Shaft » was conducted, the feasibility of improving the existing technological process of machining a workpiece of the type «Shaft-gear 32-3.005» 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 machining route for the part of the «Shaft-gear 32-3.005» type were developed using CNC machines and the best one was selected based on the minimum reduced costs; dimensional and precision modeling of the improved technological process of machining was performed; cutting modes and technical time standards were determined; an analysis of the features of the application of the group interchangeability method (selective assembly) to ensure the regulatory parameters of gear pumps was performed; the reduced program, the number of equipment and workers for the improved machining section were calculated.

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

Keywords: technological process, machining, workpiece, part, dimensional and precision analysis, machining area.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ»	11
1.1 Характеристика об'єкту виробництва, його службове призначення та технічних умов на виготовлення.....	11
1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Вал».....	12
1.3 Вибір та критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі.....	14
1.4 Основні пропозиції щодо побудови удосконалених технологічних процесів.....	20
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ 32-3.005» ...	23
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі.....	23
2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт.....	28
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки.....	31
2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь.....	41
2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чистових і чорнових технологічних баз.....	43
2.6 Розробка варіантів удосконаленого маршруту механічної обробки.....	44
2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат.....	50
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу.....	54
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів.....	61
2.10 Призначення режимів різання.....	65
2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання.....	67

2.12	Визначення технічних норм часу.....	68
3	АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ГРУПОВОЇ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ (СЕЛЕКТИВНОГО СКЛАДАННЯ) ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШЕСТЕРЕННИХ НАСОСІВ.....	71
3.1	Постановка задачі дослідження.....	71
3.2	Результати дослідження.....	72
3.3	Висновки.....	76
4	РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ 32-3.005».....	77
4.1	Розрахунок приведеної програми.....	77
4.2	Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження.....	79
4.3	Побудова графіків завантаження обладнання.....	80
4.4	Розрахунок кількості працівників на ділянці	81
5	ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ 32-3.005».....	86
5.1	Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки.....	86
5.2	Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал- шестерня 32-3.005».....	93
5.3	Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції.....	99
5.4	Розрахунок ціни реалізації нового виробу.....	103
5.5	Розрахунок величини чистого прибутку.....	104
5.6	Оцінювання ефективності інноваційного рішення.....	105
	ВИСНОВКИ.....	109
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	111
	Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної роботи.....	114
	Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина.....	115

ВСТУП

Актуальність. На даний час все більше зростає потреба у високопродуктивному виробництві точних деталей з використанням гнучких технологічних процесів. Такий підхід до виробництва дозволяє переходити з одного типорозміру деталі на інший з мінімальними затратами часу на переналадку пристосувань та обладнання. При досить значних обсягах виробництва та розширеній номенклатурі виробів використання таких технологічних процесів стає все більш актуальним.

Мета і завдання дослідження. Метою магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) є удосконалення технологічного процесу та дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005» з урахуванням сучасних досягнень, передових технологій та нових методів обробки подібних заготовок, що забезпечує необхідну якість та знижує вартість продукції.

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

- варіантний вибір способу виготовлення заготовки;
- розробка варіантів маршруту механічної обробки з використанням сучасних верстатів з ЧПК та вибір кращого з них;
- призначення оптимальних режимів різання;
- визначення технічних норм часу;
- аналіз особливостей застосування методу групової взаємозамінності (селективного складання) для забезпечення нормативних параметрів шестеренних насосів;
- розрахунок кількості обладнання та працівників дільниці;
- проектування дільниці механічної обробки;
- розрахунок економічної доцільності впровадження удосконаленого ТП;
- розробка заходів з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – технологія виготовлення деталей типу «Вал-шестерня».

Предмет дослідження – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі «Вал-шестерня 32-3.005».

Методи дослідження. Метод лінійного програмування (симплекс-метод) з метою визначення оптимальних режимів різання. Аналітичні методи розрахунку розмірних ланцюгів і допусків, методи теорії ймовірностей і математичної статистики для аналізу розподілу розмірів деталей, а також метод групової взаємозамінності (селективного складання) з метою забезпечення нормативних параметрів шестеренних насосів і зменшення обсягів незавершеного виробництва.

Наукова новизна одержаних результатів. Дістали подальший розвиток підходи до застосування методу групової взаємозамінності (селективного складання) для шестеренних насосів шляхом обґрунтованого визначення допусків ширини зубчастих вінців шестерень, кількості сортувальних груп та меж їх розмірних відхилень з урахуванням форм кривих розподілу розмірів, що дозволяє зменшити обсяги незавершеного виробництва та підвищити ефективність процесу складання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005» та дільниці для його реалізації. При цьому запропоновані такі нові рішення:

- обґрунтовано вибрано оптимальний варіант виготовлення заготовки деталі «Вал-шестерня 32-3.005»;

- розроблено технологічний процес механічної обробки, економічні розрахунки підтвердили доцільність впровадження удосконаленого технологічного процесу;

- проведено аналіз особливостей застосування методу групової взаємозамінності (селективного складання) для забезпечення нормативних параметрів шестеренних насосів

- для удосконаленого ТП встановлено кількість необхідного обладнання, працюючих.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням математичних методів під час проведення наукових досліджень, строгим виведенням аналітичних співвідношень, порівнянням результатів, отриманих за допомогою розроблених у роботі методів.

Апробація результатів роботи. Основні положення й результати роботи доповідалися й обговорювалися на Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)», м. Вінниця, ВНТУ, 20 жовтня 2025 р. – 26 червня 2026 р.

У співавторстві опубліковано тезу доповіді.

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ»

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

Об'єктом виробництва є деталь типу «Вал-шестерня 32-3.005» гідронасосу. Деталь «Вал-шестерня 32-3.005» є однією із деталей шестеренного насоса, що використовується в гідроприводі різноманітних мобільних машин та стаціонарного обладнання. Оскільки від точності виготовлення деталі в значній мірі залежить точність роботи вузла, то необхідно, щоб вона відповідала всім вимогам, які зазначені на кресленні.

Через дану деталь до гідронасоса підводиться обертовий момент за допомогою шліцевого з'єднання та передається на ведену шестерню. Маса деталі становить 0,78 кг. Конструкція деталі технологічна, усі поверхні – легкодоступні для механічної обробки.

Конструкція деталі не особливо складна, однак до більшості поверхонь ставляться високі вимоги щодо точності, взаємного розташування та шорсткості обробки. Також розглядувана деталь працює у вузлі під дією значних циклічних та статичних навантажень, тому досить високі вимоги ставляться до матеріалу та виникає потреба застосування термообробки. Основними конструкторськими базами є шийки під підшипники ковзання. В якості допоміжних конструкторських баз виступає шліцева поверхня.

Враховуючи характеристики деталі, які потрібно забезпечити, слід призначити наступні технічні вимоги на виготовлення.

- 54...62 HRC_e.
- * Розміри забезпечуються інструментом.
- h14; ±IT 14/2.
- Гострі кромки по профілю евольвенти і впадинам зубців округлити до R 0,05...0,15 мм.
- Деталі розбити на 8 груп по ширині вінця.
- Допуск овальності і конусоподібності шийок 0,005 мм.

- Допуск неплоскостності торців зубчастого вінця 0,005 мм в сторону піднутріння.

Дана деталь отримує досить значні циклічні навантаження і тому повинна мати високі вимоги стосовно втомної міцності. Особливо витривалими мають бути зубці шестерні, яким окрім того слід надати достатньої твердості для запобігання втомного викришування. Також слід запобігти зношуванню опорних цапф шестерні для забезпечення сталої величини міжосьової відстані. Для забезпечення таких високих механічних характеристик використовують леговану маловуглецеву сталь 18ХГТ ГОСТ 2590-2006 з подальшою цементацією.

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

Задану деталь «Вал-шестерня 32-3.005» можна віднести до класу валів. В машинобудуванні широко поширені деталі типу «Вали ступінчасті» з різними перепадами діаметрів. Існують розроблені типові технологічні процеси механічної обробки валів [1-10].

Типовий процес механічної обробки деталей типу «Вал» наведено в таблиці 1.1 [1-10].

Таблиця 1.1 – Технологічна схема виготовлення деталей класу «Вал»

Номер операції	Назва і короткий зміст операції, технологічні бази	Верстат
1	2	3
005	Фрезерно-центрувальна Фрезерування торців валу і свердління центрових отворів з двох сторін. Технологічна база – зовнішні поверхні двох шийок.	Фрезерно-центрувальний напівавтомат
010	Токарна Точіння поверхонь шийок валу з одної сторони і підрізання торцевих поверхонь ступіней валу. Технологічна база – центрові отвори валу.	Токарний багатошпиндельний чи багатоінструментальний напівавтомат

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
015	Токарна Точіння поверхонь шийок валу з іншої сторони, а також підрізання оброблюваних шийок валу. Технологічна база – центрові отвори валу.	Токарний багатшпиндельний чи багатшпиндельний напівавтомат
020	Токарна Точіння поверхонь шийок валу під шліфування і кінцеве підрізання торців ступіней валу . Технологічна база – центрові отвори валу.	Токарний багаторізцевий, гідрокопіювальний багатшпиндельний
025	Фрезерна Фрезерування пазових поверхонь.	Фрезерний напівавтомат
030	Свердлильна Свердління кріпильних та проміжних отворів в торцях вала	Свердлильний з кондукторним пристроєм
030	Проміжний контроль.	
035	Термічна обробка.	
040	Шліфувальна Попереднє шліфування шийок валу в залежності від вимог креслення.	Круглошліфувальний напівавтомат
045	Шліфувальна Кінцеве шліфування поверхонь шийок валу відповідно до розмірів на робочому кресленні і шорсткостей поверхонь. Технологічна база – центрові отвори.	Круглошліфувальний напівавтомат
050	Кінцевий контроль.	

Аналіз типового технологічного процесу механічної обробки деталей типу «Вал», дозволяє зробити висновок про те, що схема обробки може бути прийнята за основу, але враховуючи тип виробництва доцільно застосовувати верстати універсальні та верстати з ЧПК.

Багатшпиндельні та багатшпиндельні верстати використовувати недоцільно, оскільки обробка ведеться партіями, йде зміна оброблюваних деталей одного найменування на інше, тому необхідна постійна переналадка верстатів. Крім того верстати приведені в типовому технологічному процесі є високопродуктивними, призначеними для вузької номенклатури виробів.

1.3 Вибір та критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

В якості базового ТП прийнято діючий на базовому підприємстві (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Базовий технологічний процес

Операція	Зміст операцій і переходів	Тип обладнання
1	2	3
005	<p>Токарна напівавтоматна</p> <p>Позиція I</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Центрувати торець шийки. 3. Точити шийку. 4. Точити торець вінця. <p>Позиція II</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Точити вінець. 2. Точити торець шийки. <p>Позиція III</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Точити фаску. <p>Позиція IV</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Свердли́ти отвір. 2. Точити шийку. <p>Позиція V</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Центрувати торець шийки. 2. Зняти деталь. 	Шестишпindelний токарний напівавтомат 1Б240П-6
010	<p>Токарна напівавтоматна</p> <p>Позиція I</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Центрувати торець. 3. Точити шийку. 4. Точити торець вінця. <p>Позиція II</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Точити торець шийки. <p>Позиція III</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Точити фаску. 2. Точити шийку. <p>Позиція IV</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Свердли́ти отвір. 2. Точити шийку. 	Шестишпindelний токарний напівавтомат 1Б240П-6

Продовження таблиці 1.2

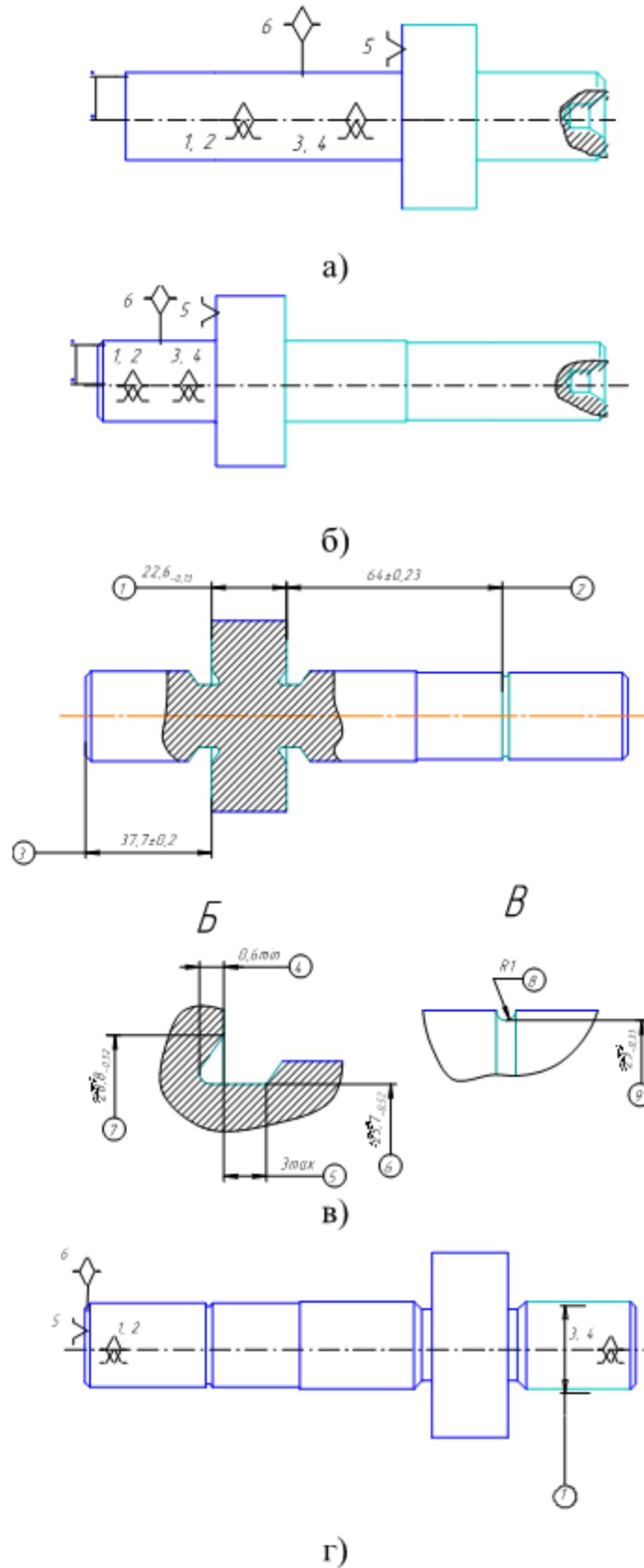
1	2	3
	Позиція V 1. Центрувати торець. 2. Точити шийку. 3. Зняти деталь.	
015	Токарно-гвинторізна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Точити торці вінця з обох сторін і точити штопорну канавку одночасно, послідовно точити одночасно дві галтельні канавки. 3. Зняти деталь.	Токарний верстат 1К62 з наладкою
020	Токарно-гвинторізна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Точити шийку. 3. Зняти деталь.	Токарний верстат 1А616
025	Токарно-гвинторізна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Точити одночасно дві шийки. 3. Зняти деталь.	Токарний верстат 1К62
030	Зубофрезерна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Фрезерувати 8 зубців. 3. Зняти деталь.	Зубофрезерний верстат 5В312
035	Зубодовбальна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Довбати 8 зубців. 3. Зняти деталь.	Зубодовбальний верстат 5122
040	Зачистка	НО-1785-1
045	Шліцефрезерна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Фрезерувати 6 шліців. 3. Зняти деталь.	Шліцефрезерний верстат 5К301ПС
050	Шевінгувальна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Фрезерувати 6 шліців. 3. Зняти деталь.	Зубодовбальний верстат АБС-03В-1771
055	Промивка	07Н105
060	Контроль	Стіл ВТК
065	Термообробка	ББН87

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
070	Круглошліфувальна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати вінець. 3. Зняти деталь.	Круглошліфувальний верстат 3A151
075	Круглошліфувальна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати шліцеву шийку. 3. Зняти деталь.	Круглошліфувальний верстат 3M151B
080	Торцекруглошліфувальна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати одночасно коротку шийку і торець вінця. 3. Зняти деталь.	Торце- круглошліфувальний верстат SASE AM-8201
085	Торцекруглошліфувальна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати одночасно коротку шийку і торець вінця. 3. Зняти деталь.	Торце- круглошліфувальний верстат SASE AM-8201
090	Зубозаокруглювальна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. притупити гострі кромки по профілю евольвенти і впадин зубів з двох сторін. 3. Зняти деталь.	Зубозаокруг- лювальний верстат НОШ-161
095	Суперфінішна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Суперфінішувати три шийки одночасно. 3. Зняти деталь.	Суперфінішний верстат 3879БН19
100	Доводочна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Довести торець вінця. 3. Зняти деталь.	Шліфувальний верстат 3Б12
105	Доводочна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Довести торець вінця. 3. Зняти деталь.	Шліфувальний верстат 3Б12

Базовий технологічний процес має ряд недоліків зумовлених використанням застарілого обладнання, завищеними припусками, відсутністю комбінованого інструменту з прогресивних матеріалів, використанням неточних пристосувань. Зокрема ряд недоліків має токарна обробка з

використанням токарних шестишпindelних напівавтоматів та універсальних токарних верстатів (рис. 1.1). Виникає складність переналагодження верстатів на обробку деталей інших типорозмірів, а також не забезпечується принцип співпадання технологічних та вимірювальних баз.



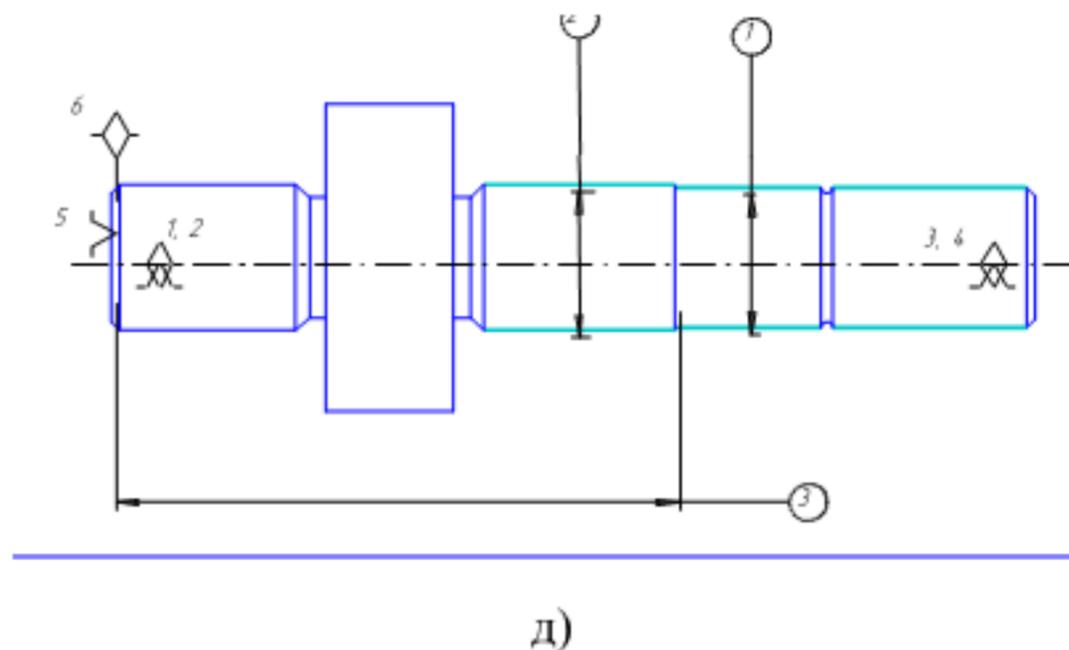


Рисунок 1.1 – Схеми базування та обробки на верстатах токарної групи:
 а – операція 005 (токарна напівавтоматна); б – операція 010 (токарна напівавтоматна); в – операція 015 (токарно-гвинторізна); г – операція 020 (токарно-гвинторізна); д – операція 025 (токарно-гвинторізна)

Також виникає проблема при обробці на зубодовбальній операції, оскільки пристосування для орієнтування і фіксації заготовки не забезпечує достатньої точності (виникає неспіввісність осі обертання заготовки та осі верхнього центра). Внаслідок цього деталь виготовляється з невиправним браком, або із завищеними припусками для зубошевінгувальної операції, що негативно впливає на ріжучий інструмент (шевер) і призводить до його передчасного зносу. Схема базування та обробки на зубодовбальній операції показані на рис. 1.2.

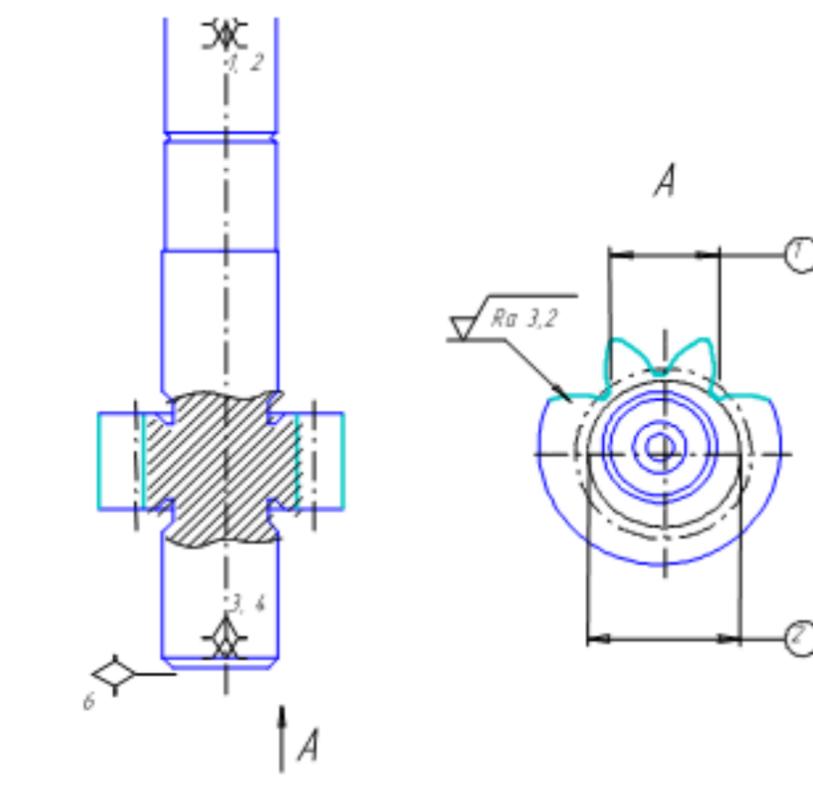


Рисунок 1.2 – Схема базування та обробки на зубодовбальній операції

Окрім того на зубошевінгувальній операції (рис. 1.3) значна частина штучного часу витрачається на зняття та установку заготовки. Тому слід замінити однопозиційний маніпулятор на двопозиційний, щоб сумістити більшу частину допоміжного часу з основним часом.

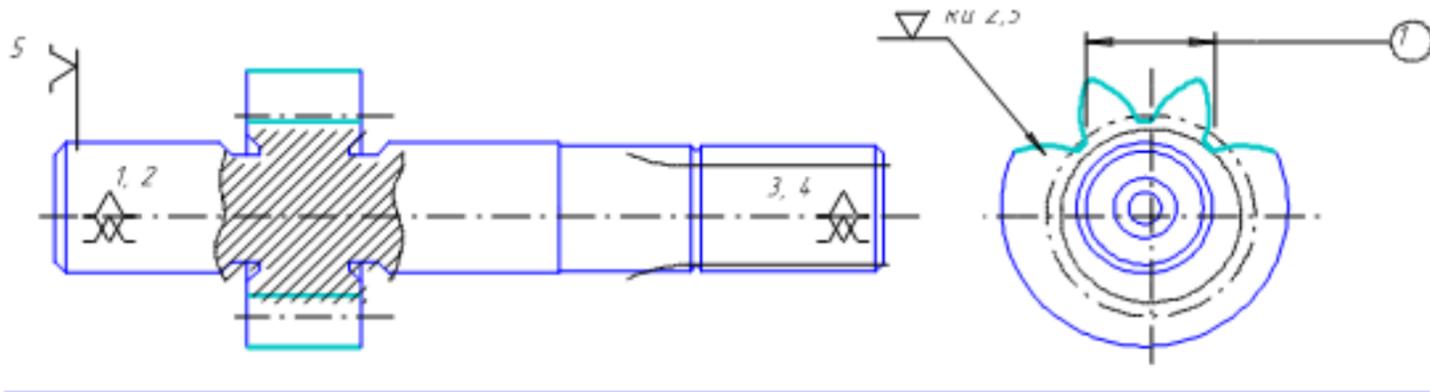


Рисунок 1.3 – Схема базування та обробки на зубошевінгувальній операції

Подібна проблема виникає на доводчій операції, де потрібно доводити кожен торець окремо на доводочних напіваавтоматах ЗБ12 (рис. 1.4).

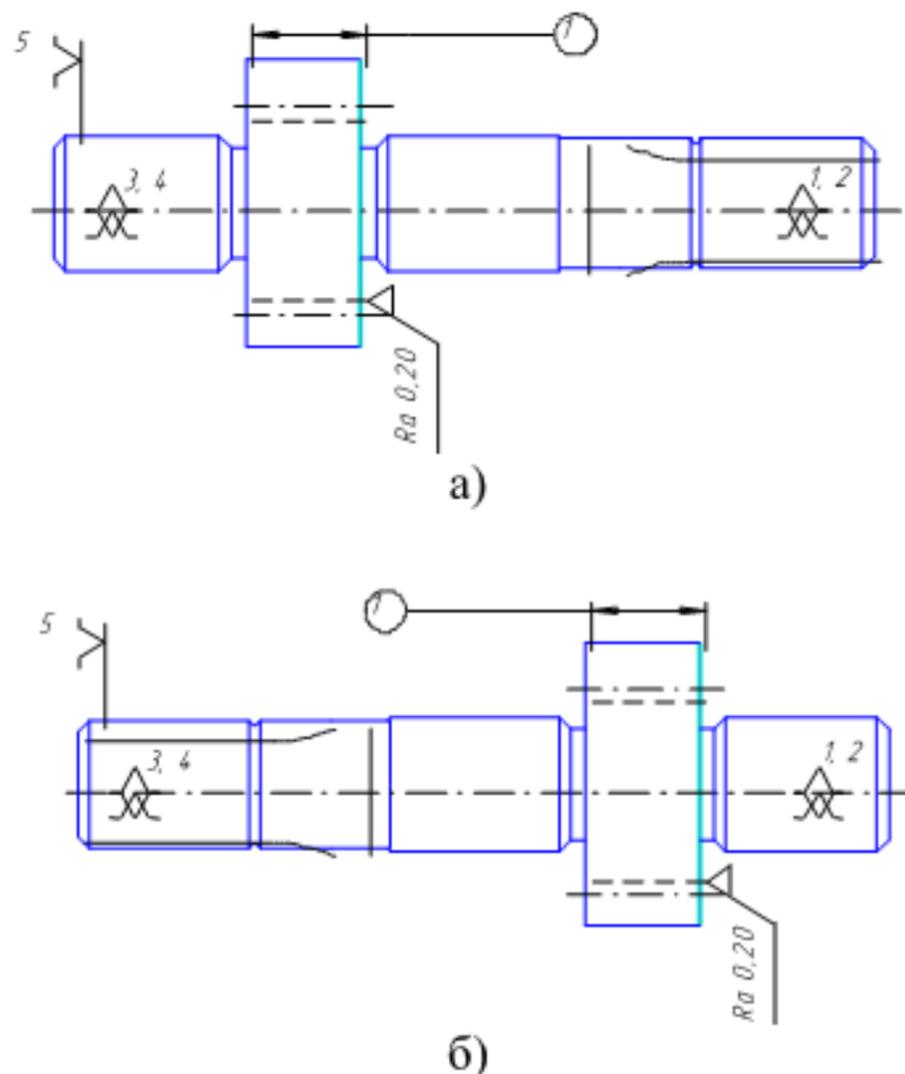


Рисунок 1.4 – Схеми базування та обробки на доводочних операціях:

а – операція 100; б – операція 105

Окрім того обладнання, яке використовується в базовому ТП займає великі виробничі площі та використовує споживає надто багато електроенергії. Також для роботи на верстатах токарної групи потрібні кваліфіковані робітники, що також призводить до зайвих витрат.

1.4 Основні пропозиції щодо побудови удосконалених технологічних процесів

Для усунення вказаних проблем та недоліків базового ТП необхідно розробити нові технологічні процеси механічної обробки і на їх основі провести удосконалення дільниці. Перш за все слід використати більш гнучке, з можливістю швидкої переналадки на випуск нової продукції технологічне обладнання. Для забезпечення високої продуктивності обробки дане обладнання повинно працювати в автоматичному чи напівавтоматичному режимі. Такі вимоги задовольняють верстати з ЧПК. Тому в даному випадку слід всю токарну обробку виконати на токарно-гвинторізному верстаті з ЧПК із використанням ріжучого інструменту з прогресивних матеріалів. На зубодовбальній операції слід використати більш точне пристосування або взагалі замінити її на зубофрезерування. На шевінгувальній операції слід замінити однопозиційний маніпулятор на двопозиційний. Це дозволить суттєво скоротити витрати допоміжного часу на зняття та установку деталі. Також можна замінити доводочні напівавтомати на автомат, однак доцільність такого рішення потребує додаткового обґрунтування. Побудова удосконалених ТП на основі перерахованих пропозицій показана в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Варіанти удосконалених технологічних процесів

№ операції	Назва операції	Обладнання
Варіант №1		
005	Фрезерно-центрувальна	MP76M
010	Токарно-гвинторізна з ЧПК	16K20Ф3
015	Зубофрезерна (2 верстати)	5B312
020	Зубодовбальна (2 верстати)	5122
025	Зачистка	HO 1785-01
030	Шліцефрезерна (2 верстати)	5350B
035	Шевінгувальна	АВС-03В-1771
055	Круглошліфувальна	3А151
060	Круглошліфувальна	3М151В
065	Торцекруглошліфувальна	SASE AM-8201
070	Торцекруглошліфувальна	SASE AM-8201
075	Зубозаокруглювальна	НОШ-161
080	Суперфінішна	3879БН19
085	Доводочна	3Б12
090	Доводочна	3Б12
Варіант №2		
005	Фрезерно-центрувальна	MP76M
010	Токарно-гвинторізна з ЧПК	16K20Ф3
015	Зубофрезерна (2 верстати)	5B312
020	Шліцефрезерна (2 верстати)	5350B
025	Шевінгувальна	АВС-03В-1771
045	Круглошліфувальна	3А151
050	Круглошліфувальна	3М151В
055	Торцекруглошліфувальна	SASE AM-8201
060	Торцекруглошліфувальна	SASE AM-8201
065	Зубозаокруглювальна	НОШ-161
070	Суперфінішна	3879БН19
075	Доводочна	НОШ-225

Таким чином варіант №2 містить меншу кількість технологічних операцій. Попередньо прийmemo варіант №2 як більш оптимальний.

На основі попередньо прийнятого варіанту удосконаленого ТП і базового ТП можна порівняти характеристики дільниці. Технічні та економічні показники аналогу та дільниці, що проектується наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Орієнтовні характеристики дільниці механічної обробки

Параметр	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Кількість верстатів, шт.	18	14
Кількість основних робітників, чол.	23	19
Час на обробку однієї деталі, хв.	18,19	15,1
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,40	0,506
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом	0,46	0,708
Витрати на заробітну плату основних робітників для обробки однієї деталі, грн.	52,12	31,62
Виробнича площа, м ²	360	280
Собівартість деталі, грн.	270,62	187,93

Таким чином, дільниця спроектована на основі удосконаленого ТП має кращі параметри ніж дільниця спроектована на основі базового ТП. Отриманий результат доводить ефективність прийнятих рішень в удосконаленому ТП.

Аналіз техніко-економічних показників, що наведені в таблиці 1.4 дозволяє зробити висновки про доцільність проектуємої дільниці, так як:

- зменшується кількість верстатів, робітників, площі, загальна потужність верстатів;
- зменшується трудомісткість одиниці продукції;
- зменшується собівартість одиниці продукції.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ 32-3.005»

2.1 Аналіз конструкції і технологічності деталі

2.1.1 Якісний аналіз технологічності деталі

Службове призначення деталі «Вал-шестерня 32-3.005» полягає у передачі обертального моменту (рис. 2.1).

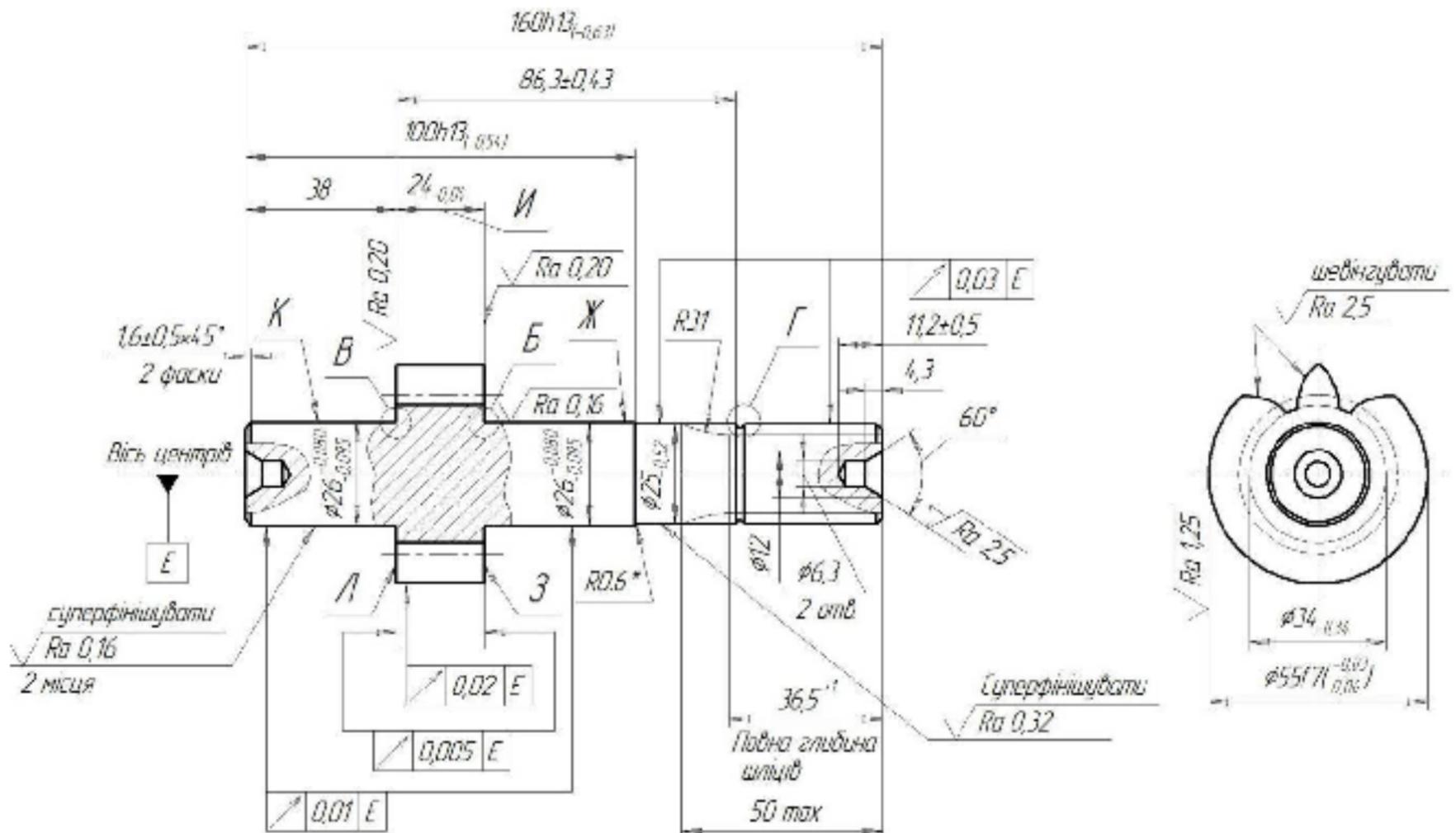


Рисунок 2.1 – Ескіз деталі «Вал-шестерня 32-3.005»

Матеріал деталі – легувана маловуглецева сталь 18ХГТ ГОСТ 2590-2006 з подальшою цементацією.

Механічні властивості та хімічний склад сталі 18ХГТ ГОСТ 2590-2006 наведені відповідно в таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Механічні властивості сталі 18ХГТ

σ_B , МПа	σ_T , МПа	ψ , %	δ , %	E, МПа	G, МПа
980	880	50	9	$2,11 \cdot 10^{11}$	$8,4 \cdot 10^{10}$

Таблиця 2.2 – Хімічний склад сталі 18ХГТ, %

C	Cr	Ti	P	S	Mn	Ni
0,17-0,23	1-1,30	0,03-0,09	0,035	0,035	0,8-1,1	0,30

Враховуючи серійний характер виробництва даний матеріал є економічно доцільним для використання.

Оскільки в даному випадку розглядається середньосерійний тип виробництва, то доцільно застосовувати високопродуктивні методи обробки з можливістю швидкого переналагодження обладнання. Більшість розмірів (в економічно виправданих) необхідно отримати на попередньо настроєних верстатах.

В конструктивному відношенні деталь є досить технологічною без наявності важкодоступних для обробки місць.

Розглядувана деталь має можливість для створення зручної схеми базування за допомогою центрових отворів, що дає можливість суміщення для всіх відповідальних розмірів, технологічної та вимірювальної баз.

Для всіх відповідальних поверхонь, які обробляються з високою точністю існує відповідність вказаних на кресленні допустимих відхилень розмірів, шорсткості та відхилень геометричної форми і взаємного розміщення поверхонь, тобто поверхні з малими відхиленнями розмірів мають високу шорсткість та незначні відхилення геометричної форми. Також виконується наступна умова: значення допустимої шорсткості мають меншу величину за значення відхилень геометричної форми та взаємного розміщення поверхонь, а вони в свою чергу є меншими за допустимі відхилення розмірів.

Існує можливість безпосереднього вимірювання вказаних на кресленні розмірів. Найбільш зручним є якісний контроль за допомогою калібрів.

В якості базових поверхонь можна використовувати торці зубчастого вінця, опорні цапфи та габаритні розміри торці деталі. Також необхідно використати штучні технологічні бази – центрові отвори.

Існує необхідність у таких додаткових технологічних операціях як зачистка заусенців після зубодовбання, правка центрових отворів та зачистка зубців після термообробки.

Враховуючи тип виробництва необхідно отримати заготовки, які б дозволили оптимально поєднати собівартість виготовлення заготовки та вартість механічної обробки. В зв'язку з цим є доцільним отримання заготовок за допомогою гарячого поперечно-клинового прокатування, яке забезпечує достатню продуктивність та точність при мінімальних витратах.

Конструкція даної деталі є досить стійкою щодо жолоблення в процесі нагрівання, окрім того введення додаткових елементів для зменшення жолоблення може завадити функціональному призначенню деталі. Маловуглецева легована сталь 18ХГТ ГОСТ 2590-2006 добре підходить до такої термообробки як цементация.

Під час попередньої обробки всі циліндричні поверхні можна обробляти прохідними різцями. Діаметральні розміри шийок вала-шестерні зменшуються в напрямку його кінців. Закриті шліцеві канавки зробити відкритими неможливо. Жорсткість вала допускає отримання високої точності обробки ($L/d=160/19,5=8,21$) та дозволяє призначити високопродуктивні режими різання.

2.1.2 Кількісний аналіз технологічності конструкції

Коефіцієнт уніфікації [1, 3]:

$$K_y = \frac{Q_y}{Q_c}, \quad (2.1)$$

де Q_y – кількість уніфікованих елементів;

Q_c – загальна кількість елементів.

Таблиця 2.3 – Дані для розрахунку коефіцієнта уніфікації

Лінійні розміри, мм	Діаметральні розміри, мм	Радіуси R	Кутові розміри, °	Шорсткість Ra
160h13 _(-0,63) * 100h13 _(-0,54) * 86,3±0,43 38* 24 _{-0,04} * 1,6±0,5 (2 розм.)* 11,2±0,5 (2 розм.) 4,3 (2 розм.) 36,5 ⁺¹ 50* 48±0,125* 0,5 (2 розм.)* 2 (2 розм.)* 1 (2 розм.)* 0,3 ^{+0,2} (12 розм.)* 5 _{-0,2} ^{-0,035} (6 розм.)*	∅26 _{-0,095} ^{-0,080} (2 розм.)* ∅55h8 _(-0,046) * ∅25 _{-0,52} * ∅12 (2 розм.)* ∅6,3 (2 розм.)* ∅25,7 _{-0,5} ∅23h13 _(-0,33) ∅21 _{-1,5} ^{-0,2} * ∅25 _{-0,092} ^{-0,04} *	R0,6* R0,3 (2 розм.)* R0,2 (12 розм.)* R1*	30° (4 розм.)* 45° (12 розм.)* 60° (2 розм.)*	Ra 12,5 (24 пов.)* Ra 6,3* Ra 3,2 (13 пов.)* Ra 2,5 (2 пов.)* Ra 0,32* Ra 0,2 (2 пов.)* Ra 0,16 (2 пов.)*
Σ _{заг} = 38 Σ _{уніф} = 32	Σ _{заг} = 12 Σ _{уніф} = 10	Σ _{заг} = 16 Σ _{уніф} = 16	Σ _{заг} = 18 Σ _{уніф} = 18	Σ _{заг} = 45 Σ _{уніф} = 45

Примітка. Позначення «*» мають уніфіковані розміри.

$$K_y = \frac{121}{129} = 0,94 > 0,6 \text{ – деталь технологічна.}$$

При $K_y \geq 0,6$ деталь відноситься до технологічних.

Коефіцієнт точності обробки [1, 3]:

$$K_r = 1 - \frac{1}{T_\sigma}, \quad (2.2)$$

де T_σ – середній квалітет точності;

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

Таблиця 2.4 – Кількість розмірів відповідного квалітету

Квалітет IT	6	8	9	10	11	13	14	15	16	17
Кількість поверхонь, шт.	2	1	4	-	-	9	45	1	3	2

$$T_{\varphi} = \frac{6 \cdot 2 + 8 \cdot 1 + 9 \cdot 4 + 13 \cdot 9 + 14 \cdot 45 + 15 \cdot 1 + 16 \cdot 3 + 17 \cdot 2}{2 + 1 + 4 + 9 + 45 + 1 + 3 + 2} = 13,43 ;$$

$$K_{\tau} = 1 - \frac{1}{13,43} = 0,926 > 0,8 \text{ – деталь технологічна.}$$

При $K_{\tau} \geq 0,8$ деталь відноситься до технологічних.

Коефіцієнт шорсткості [1, 3]:

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

де $Ш_{\varphi}$ – середній клас шорсткості;

$$Ш_{\varphi} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i}. \quad (2.5)$$

Таблиця 2.5 – Кількість поверхонь з відповідною шорсткістю

Шорсткість Ra, мкм	0,16	0,20	0,32	2,5	3,2	6,3	12,5
Кількість поверхонь, шт.	2	2	1	2	13	1	46

$$Ш_{\varphi} = \frac{0,16 \cdot 2 + 0,20 \cdot 2 + 0,32 \cdot 1 + 2,5 \cdot 2 + 3,2 \cdot 13 + 6,3 \cdot 1 + 12,5 \cdot 46}{2 + 2 + 1 + 2 + 13 + 1 + 46} = 9,4 ;$$

$$K_{ш} = \frac{1}{9,4} = 0,11 < 0,32 \text{ – деталь технологічна.}$$

При $K_{ш} \leq 0,32$ деталь відноситься до технологічних.

Висновок. Проаналізувавши всі фактори, можна зробити висновок, що деталь досить технологічна, однак для її обробки необхідно використовувати верстати підвищеної та високої точності з використанням стандартних та спеціальних пристосувань.

2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт

2.2.1 Визначення типу виробництва

Визначення типу виробництва виконується за коефіцієнтом закріплення операцій згідно методики, що приведена [1, 3]:

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

де $\sum O_i$ – сумарна кількість операцій, які виконуються на робочих місцях дільниці; $\sum P_i$ – сумарна кількість робочих місць для виконання операцій.

Усі дані розрахунків занесено в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій

Переходи механічної обробки	T_o , хв.	φ_k	$T_{\text{нов-к}}$, хв.	C_p	$P_{\text{оп}}$	$\eta_{з.ф.}$	$\eta_{з.н.}$	O	$K_{з.о.}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Точити поверхню $\varnothing 55f7 \begin{smallmatrix} -0,03 \\ -0,06 \end{smallmatrix}$ попередньо	$0,000075 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,000075 \cdot 55 \cdot 24 =$ $= 0,099$	1,17	0,674	0,08	1	0,08	0,75	10	10,25
2. Точити поверхню $\varnothing 55f7 \begin{smallmatrix} -0,03 \\ -0,06 \end{smallmatrix}$ остаточно	$0,000175 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,000175 \cdot 55 \cdot 24 =$ $= 0,23$								

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3. Точити поверхню $\varnothing 26_{-0,096}^{-0,080}$ попередньо ($\ell = 38$)	$0,000075 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,000075 \cdot 26 \cdot 38 =$ $= 0,074$								
4. Точити поверхню $\varnothing 26_{-0,096}^{-0,080}$ остаточно ($\ell = 38$)	$0,000175 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,000175 \cdot 26 \cdot 38 =$ $= 0,173$								
5. Шліфувати поверхню $\varnothing 26_{-0,096}^{-0,080}$ попередньо ($\ell = 38$)	$0,00023 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,00023 \cdot 26 \cdot 38 =$ $= 0,23$	1,35	0,805	0,092	1	0,092	0,75	9	
6. Шліфувати поверхню $\varnothing 26_{-0,096}^{-0,080}$ остаточно ($\ell = 38$)	$0,00036 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,00036 \cdot 26 \cdot 38 =$ $= 0,366$								
7. Точити поверхні $\varnothing 25_{-0,52}, \varnothing 26_{-0,096}^{-0,080}$ попередньо ($\ell = 98$)	$0,000075 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,000075 \cdot (25 \cdot 60 +$ $+ 26 \cdot 38) = 0,187$	1,17	0,523	0,06	1	0,06	0,75	13	
8. Точити поверхні $\varnothing 25_{-0,52}, \varnothing 26_{-0,096}^{-0,080}$ остаточно ($\ell = 98$)	$0,000175 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,000175 \cdot (25 \cdot 60 +$ $+ 26 \cdot 38) = 0,26$								
9. Шліфувати поверхню $\varnothing 26_{-0,096}^{-0,080}$ попередньо ($\ell = 38$)	$0,00023 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,00023 \cdot 26 \cdot 38 =$ $= 0,23$	1,35	0,805	0,092	1	0,092	0,75	9	
10. Шліфувати поверхню $\varnothing 26_{-0,096}^{-0,080}$ остаточно ($\ell = 38$)	$0,00036 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,00036 \cdot 26 \cdot 38 =$ $= 0,366$								

Отже, коефіцієнт закріплення

$$K_{30} = \frac{10 + 9 + 13 + 9}{1 + 1 + 1 + 1} = 10,25 .$$

Так як $10 < K_{30} < 20$, то тип даного виробництва середньосерійний.

2.2.2 Визначення форми організації роботи

Заданий добовий випуск виробів [1, 3]:

$$N_d = \frac{N}{254} \text{ [шт.]}, \quad (2.7)$$

де 254 – кількість робочих днів в році.

$$N_o = \frac{20000}{254} = 78,74 \approx 79 \text{ (шт.)}$$

Розрахункова добова продуктивність потокової лінії [1, 3]:

$$Q_o = \frac{F_o}{T_{\text{шт}} - \kappa_{\text{оп}}} \cdot \eta_s \text{ [шт.],} \quad (2.8)$$

де $T_{\text{шт}} - \kappa_{\text{оп}}$ – середній штучно-калькуляційний час виконуваних операцій;

$F_o = 952$ хв. – добовий фонд часу роботи обладнання;

$\eta_s = 0,75$ – добовий коефіцієнт завантаження потокової лінії.

$$T_{\text{шт}} - \kappa_{\text{оп}} = \frac{0,674 + 0,805 + 0,523 + 0,805}{4} = 0,7 \text{ (хв.);}$$

$$Q_o = \frac{952}{0,7} \cdot 0,75 = 1020 \text{ (шт.)}$$

Оскільки потрібний добовий випуск виробів значно менший добової продуктивності лінії $N_o = 79$ шт. < $Q_o = 1020$ шт., то організація потокової лінії недоцільна.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску:

$$n = \frac{N \cdot t}{254} \text{ [шт.],} \quad (2.9)$$

де t – періодичність запуску деталей на обробку в днях (для серійного виробництва прийнято 6 днів).

$$n = \frac{20000 \cdot 6}{254} = 472,4 \text{ (шт.)}, \text{ приймаємо } n = 473 \text{ шт.}$$

Розрахункова кількість змін на обробку партії деталей

$$C_{\text{зм}} = \frac{T_{\text{зм-к.сп}} \cdot n}{476 \cdot \eta_2} = \frac{0,7 \cdot 47,3}{476 \cdot 0,75} = 0,93 \text{ (зміни);}$$

де 476 – ефективний фонд часу роботи обладнання в зміну, хв.

Розрахункова кількість змін округляється до прийнятого цілого числа, після чого визначається кількість деталей в партії, яка необхідна для завантаження обладнання протягом цілого числа змін

$$n = \frac{C_{\text{зм}} \cdot 476 \cdot \eta_2}{T_{\text{зм-к.сп}}} = \frac{1 \cdot 476 \cdot 0,75}{0,7} = 510 \text{ (шт.)}$$

Приймаємо кількість деталей в партії $n = 510$ шт.

Висновок. Тип виробництва – середньосерійний (наближений до великосерійного), форма організації роботи – групова, кількість деталей в партії, що запускається на обробку одночасно $n = 510$ шт.

2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

2.3.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки

Вихідні дані: матеріал – сталь 18ХГТ ГОСТ 2590-2006; маса деталі – 0,78 кг; тип виробництва – середньосерійний.

Матеріал деталі легована сталь, метод виготовлення заготовки – пластичне деформування, через те, що матеріал має добрі пластичні властивості.

Враховуючи конфігурацію деталі, матеріал деталі і тип виробництва в якості можливих способів виготовлення заготовки пластичним деформуванням (обробкою тиском) можна розглядати [10-12]:

- штампування на молотах;
- штампування на кривошипно-гарячештампвальних пресах (відкрите, закрите, витискуванням);
- штампування на гвинтових або гідравлічних пресах;
- штампування на горизонтально-кувальних машинах;
- штампування на гарячештампвальних автоматах.

Оптимальним варіантом виготовлення заготовки є штампування на кривошипних гарячештампвальних пресах: відкрите і закрите. Основна причина – це можливість штампування заготовок типу тіл обертання, невелика вага дозволяє використати закрите штампування. Також перевагами даного способу є висока точність форми та розмірів кованок, коефіцієнт точності маси, продуктивність праці, коефіцієнт корисної дії основного устаткування, менша вартість кованок, відсутність ударних навантажень, ліпші умови праці, менші навантаження на виробничі будівлі, можливість використання складних (універсальних) штампів замість суцільних, придатність до механізації та автоматизації виробничих процесів.

2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки для двох варіантів її виготовлення

Вибір норм точності заготовки [10]

Клас точності. Так, як основним технологічним обладнанням є кривошипні гарячо-штампвальні преси (КГШП) з закритим та відкритим штампуванням і серійність виробництва (середньо-серійне), то клас точності вибрано відповідно: для КГШП (В) – (Т4-Т5) та на КГШП (З) – (Т2-Т3). Приймаємо, що для КГШП (В) – Т5 та на КГШП (З) – Т3.

Група сталі. Для вказаної сталі встановлюється масова доля вуглецю. Так, як матеріалом є сталь 18ХГТ то прийнято М1 (масова доля вуглецю до 0,18%, легуючих елементів – 3%).

Ступінь складності. Ступінь складності визначається за співвідношенням маси (об'єму) штампованої заготовки Q_n (поковки) до маси (об'єму) найпростішої геометричної фігури Q_ϕ , в яку вписується форма штампованої заготовки. Орієнтовно масу штампованої заготовки (поковки) можна розрахувати за формулою:

$$Q_n = Q_{det} \cdot k_p \text{ [кг]}, \quad (2.10)$$

де Q_{det} – маса деталі, кг;

k_p – коефіцієнт для визначення орієнтовної розрахункової маси штампованої заготовки (поковки).

Так, як деталь круглої форми, виробництво серійне, то k_p приймаємо 1,45.

Отже:

$$Q_n = 0,78 \cdot 1,45 = 1,13 \text{ (кг)}.$$

Для визначення маси найпростішої фігури Q_ϕ , в яку можна вписати штамповану заготовку необхідно:

- визначити вид фігури, в яку вписується заготовка. Такою фігурою є циліндр;

- визначити за геометричними формами об'єм цієї фігури V_ϕ . При визначенні розмірів геометричної фігури, що описує заготовку, потрібно скористатися розмірами деталі, збільшивши їх в 1,05 рази.

$$D_1 = 55 \cdot 1,05 = 57,75 \text{ (мм)} = 5,775 \text{ (см)};$$

$$L = 160 \cdot 1,05 = 168 \text{ (мм)} = 16,8 \text{ (см)};$$

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot L = \frac{3,14 \cdot 5,775^2}{4} \cdot 16,8 = 439,83 \text{ (см}^2\text{)};$$

- маса фігури:

$$Q_{\phi} = V_{\phi} \cdot \rho = 439,83 \cdot 7,81 = 3430,7 \text{ (г)} \approx 3,43 \text{ (кг)},$$

де ρ – густина матеріалу, $\rho = 7,810 \text{ г/см}^3$;

- співвідношення

$$Q_n / Q_{\phi} : Q_n / Q_{\phi} = 1,13 / 4307 = 0,33.$$

Отже, ступінь складності складає С2.

Конфігурація поверхні роз'єднання штампа. В заданому випадку приймаємо конфігурацію поверхні роз'єднання штампа плоскою (П).

Вихідний індекс. Залежно від попередньо визначених маси штампованої заготовки Q_n (1,13), групи сталі (М1), ступеню складності (С2) та класу точності для КГШП (В) (Т5) та КГШП (З) (Т3) за номограмою [10] визначено вихідний індекс для КГШП (В) – 12, а для КГШП (З) – 8.

Розрахункові розміри:

$$160 - Ra 12,5; \quad 38 - Ra 12,5; \quad 24_{-0,04} - Ra 0,2;$$

$$\phi 55h8_{(-0,046)} - Ra 1,25; \quad \phi 26_{\substack{-0,080 \\ -0,095}} - Ra 0,16.$$

Призначення напусків і припусків, допусків (табличних) та розрахунок розмірів заготовок приведено в табл. 2.7-2.8.

Таблиця 2.7 – Розрахунок розмірів штампованої заготовки [10]

Початкові дані (норми точності)	Штапування на КГШП (відкриті штампи)				
	Згідно ГОСТ 7505-89			Прийнято	
Клас точності	Т4-Т5			Т5	
Марка матеріалу	М1			М1	
Ступінь складності	С2			С2	
Індекс	12			12	
Конфігурація поверхні роз'єднання штампа	II			II	
Розрахункові розміри:	160 Ra 12,5	38 Ra 12,5; Ra 0,2	24 ^{-0,04} Ra 0,2	∅55h8 ^(-0,046) Ra 1,25	∅26 ^{-0,080} ^{-0,095} Ra 0,6
Припуски:					
Основні:	1,5	1,5 і 1,8	1,8	1,9	1,8
додаткові на зміщення по поверхні роз'єднання штампа	0,2				
для врахування вигнутості і відхилення від площинності, прямолінійності	0,5				
Загальний припуск:	2,2	2,2; 2,5	2,5	2,6	2,5
Розміри заготовки:					
	164,4	37,7	28,4	∅60,2	∅31
Допуски:					
Розмірів:	2,8 ^{+1,8} _{-1,0}	2,0 ^{+1,3} _{-0,7}	2,0 ^{+1,3} _{-0,7}	2,2 ^{+1,4} _{-0,8}	2,0 ^{+1,3} _{-0,7}
на зміщення по поверхні роз'єднання штампа	0,6				
по вигнутості, відхилення від площинності і прямолінійності	1,0				
радіусів заокруглень	2,0				
величини залишкового облою	0,8				

Таблиця 2.8 – Розрахунок розмірів штампованої заготовки [10]

Початкові дані (норми точності)	Штампування на КГШП (закриті штампи)				
	Згідно ГОСТ 7505-89			Прийнято	
Клас точності	Т2-Т3			Т3	
Марка матеріалу	М1			М1	
Ступінь складності	С2			С2	
Індекс	8			8	
Конфігурація поверхні роз'єднання штампа	П			П	
Розрахункові розміри:	160 Ra 12,5	38 Ra 12,5; Ra 0,2	24 ^{-0,04} Ra 0,2	∅55h8 ^(-0,046) Ra 1,25	∅26 ^{-0,080} ^{-0,095} Ra 0,6
Припуски:					
Основні:	1,1	1,1 і 1,2	1,2	1,4	1,2
додаткові на зміщення по поверхні роз'єднання штампа	0,1				
для врахування вигнутості і відхилення від площинності, прямолінійності	0,3				
Загальний припуск:	1,5	1,5; 1,6	1,6	1,8	1,6
Розміри заготовки:					
	163	37,9	29	∅58,6	∅29,2
Допуски:					
Розмірів:	1,6 ^{+1,1} ^{-0,5}	1,0 ^{+0,7} ^{-0,3}	1,0 ^{+0,7} ^{-0,3}	1,2 ^{+0,8} ^{-0,4}	1,0 ^{+0,7} ^{-0,3}
на зміщення по поверхні роз'єднання штампа	0,4				
по вигнутості, відхилення від площинності і прямолінійності	0,6				
радіусів заокруглень	0,5				
величини заусенця	2,0				

2.3.3 Оформлення ескізів двох варіантів заготовки

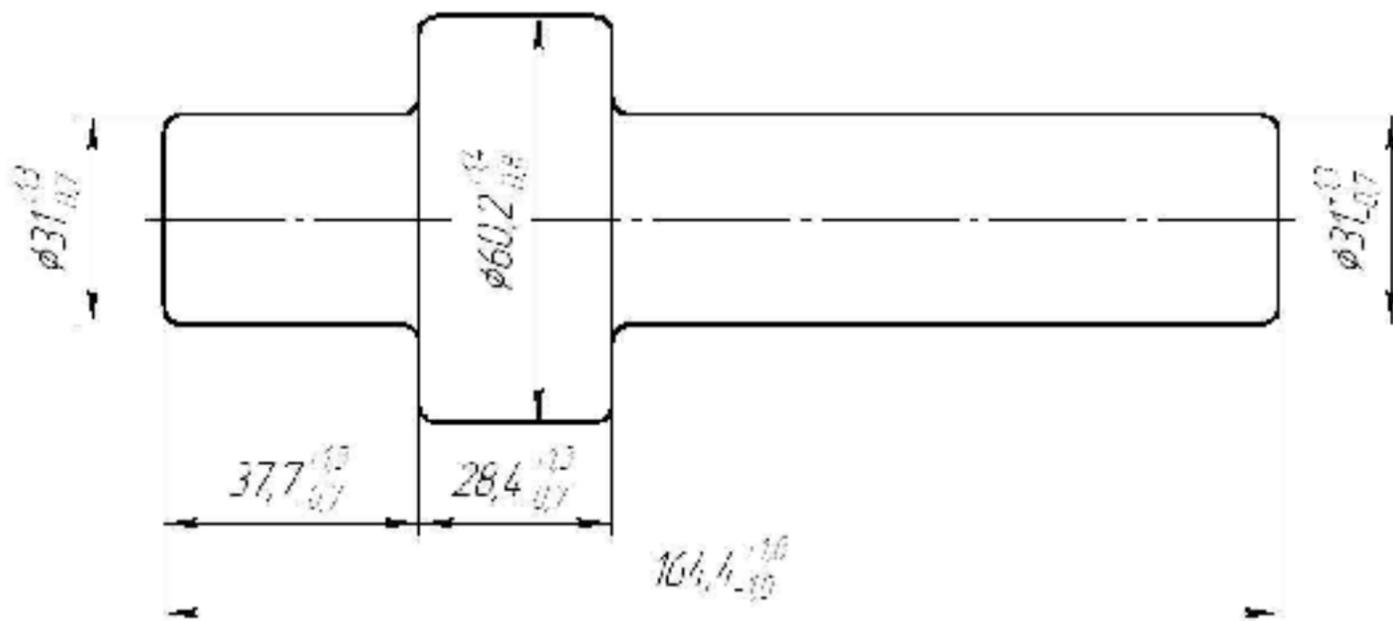


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки при штампуванні на КГШП (В)

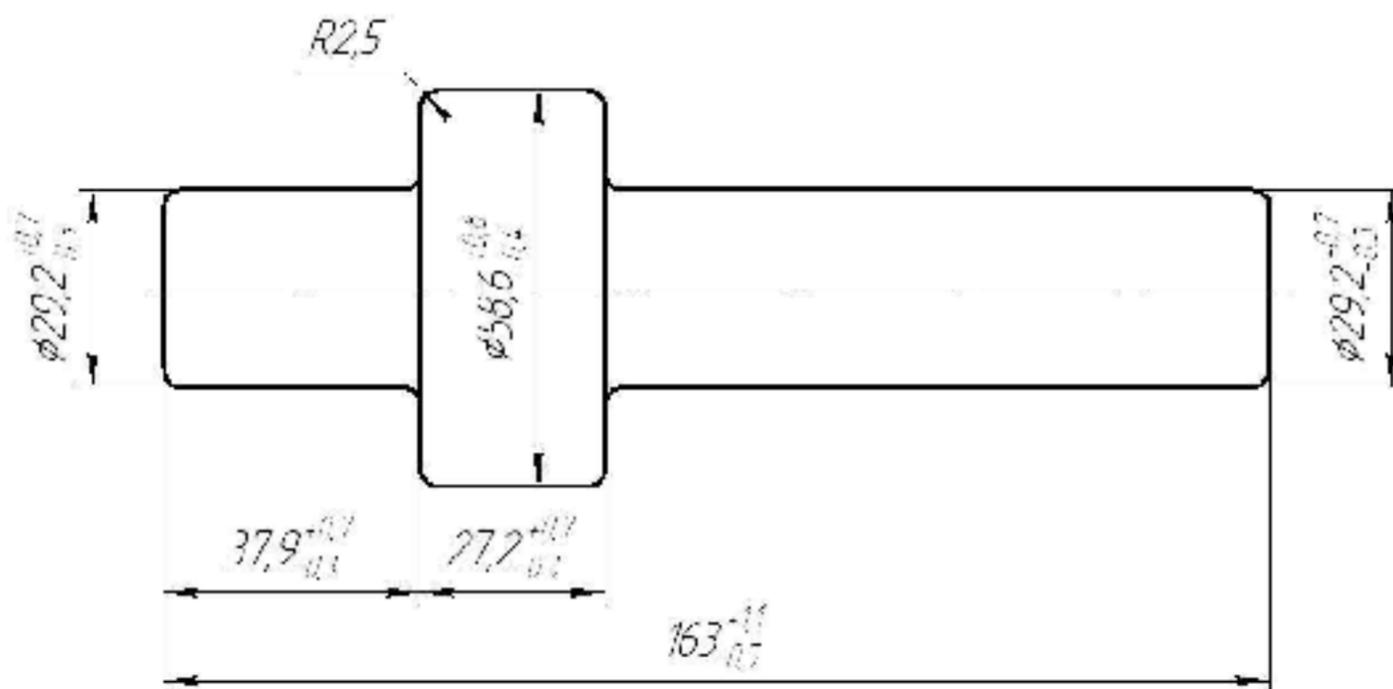


Рисунок 2.3 – Ескіз заготовки при штампуванні на КГШП (3)

2.3.4 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси заготовки для 2-х варіантів виготовлення

Коефіцієнт точності маси визначається за формулою [10]:

$$K_{т.м.} = \frac{Q_{дет}}{Q_{заг}}, \quad (2.11)$$

де $Q_{дет}$ – маса деталі; $Q_{заг}$ – маса заготовки.

Масу заготовки визначаємо за допомогою створених 3D-моделей.

Матеріал	Сталь 18ХГТ ГОСТ 2590-2006
Густина матеріалу	$R_0 = 0,007820 \text{ г/мм}^3$
Розрахункові параметри	
Маса	$M = 1431,096268 \text{ г}$
Площа	$S = 23479,279688 \text{ мм}^2$
Об'єм	$V = 183004,637914 \text{ мм}^3$
Центр мас	$X_c = 0 \text{ мм}; Y_c = 0 \text{ мм}; Z_c = -72,402806 \text{ мм}$

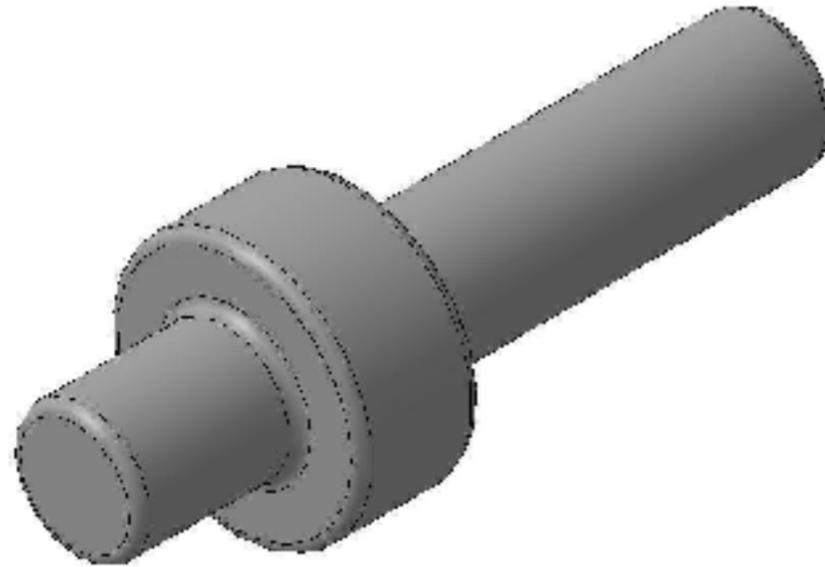


Рисунок 2.4 – 3D-модель заготовки при штампуванні на КГШП (В)

Матеріал	Сталь 18ХГТ ГОСТ 2590-2006
Густина матеріалу	$R_0 = 0,007820 \text{ г/мм}^3$
Розрахункові параметри	
Маса	$M = 1281,178624 \text{ г}$
Площа	$S = 22064,681098 \text{ мм}^2$
Об'єм	$V = 163833,583622 \text{ мм}^3$
Центр мас	$X_c = 0 \text{ мм}; Y_c = 0 \text{ мм}; Z_c = -71,444303 \text{ мм}$

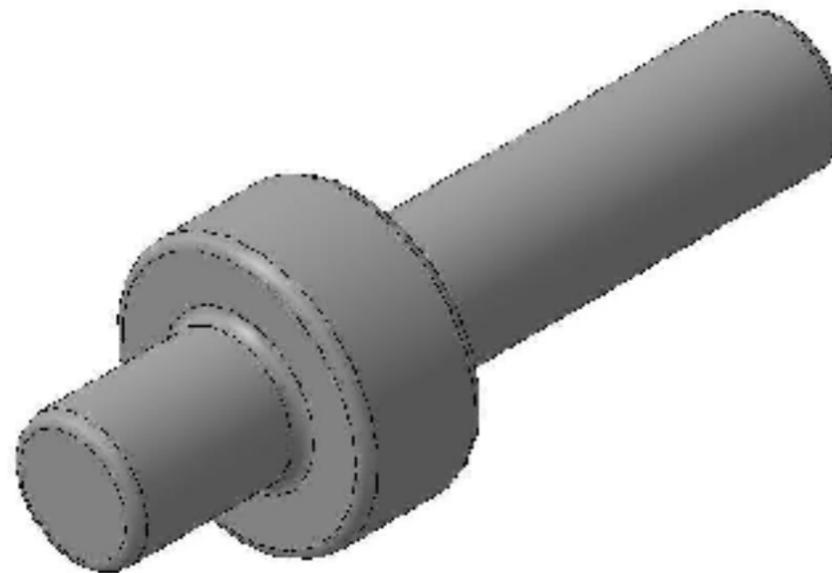


Рисунок 2.5 – 3D-модель заготовки при штампуванні на КГШП (З)

Маса заготовки при штампуванні на КГШП (В) – 1,431 кг.

Маса заготовки при штампуванні на КГШП (З) – 1,281 кг.

Тоді для КГШП (В):

$$K_{r.m.} = 0,78/1,431 = 0,545.$$

Для КГШП(З):

$$K_{r.m.} = 0,78/1,281 = 0,609.$$

Отже, коефіцієнт точності маси заготовки на КГШП (З) вищий, ніж для КГШП (В), тому матеріалу знімається при механічній обробці у вигляді стружки менше.

Призначення технічних вимог на заготовки

Для КГШП (В):

- Клас точності штамповки – Т5, група сталі – М1, ступінь складності – С2.
- Не вказані штампувальні нахили – 5°, радіуси – 2,5.
- Допустима величина залишкового облою – 0,8.
- Допустиме зміщення по площині роз'єднання штампа – 0,6.
- Не вказані допуски радіусів заокруглень – 0,5.
- Допустиме відхилення від площинності, прямолійності, по вигнутості – 1,6.

Для КГШП (З):

- Клас точності штамповки – Т3, група сталі – М1, ступінь складності – С2.
- Не вказані штампувальні нахили – 5°, радіуси – 2,5.
- Допустима величина заусенця – 2,0.
- Допустиме зміщення по площині роз'єднання штампа – 0,4.
- Не вказані допуски радіусів заокруглень – 0,5.
- Допустиме відхилення від площинності, прямолійності, по вигнутості – 0,6.

2.3.5 Техніко-економічне порівняння двох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого

Вартість заготовки визначаємо за формулою [10]:

$$C_{\text{заг.маш}} = \frac{G_{\text{заг}}}{1000} \cdot C_{\text{маш}} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{II} - (G_{\text{заг}} - G_{\text{обл}}) \frac{C_{\text{шду}}}{1000} \text{ [грн.]}, \quad (2.12)$$

де $C_{\text{шт}}$ – 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_H – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва.

Призначаємо коефіцієнти КГШП (В):

$$K_T = 1,0; K_M = 1,21; K_C = 0,88; K_B = 1,15; K_H = 1,0.$$

Вартість заготовки для КГШП (В):

$$C_{\text{шт.шт.шт.}} = \frac{(1,43 \cdot 33730 \cdot 1,0 \cdot 1,21 \cdot 0,88 \cdot 1,15 \cdot 1,0)}{1000} - \frac{(1,43 - 0,78) \cdot 2500}{1000} = 57,44 \text{ (грн.)}$$

Призначаємо коефіцієнти КГШП (З):

$$K_T = 1,05; K_M = 1,21; K_C = 0,88; K_B = 1,15; K_H = 1,0.$$

Вартість заготовки для КГШП (З):

$$C_{\text{шт.шт.шт.}} = \frac{(1,281 \cdot 33730 \cdot 1,05 \cdot 1,21 \cdot 0,88 \cdot 1,15 \cdot 1,0)}{1000} - \frac{(1,281 - 0,78) \cdot 2500}{1000} = 54,3 \text{ (грн.)}$$

Після розрахунку розмірів, маси і вартості заготовок бачимо, що вартість заготовки на КГШП (З) менша, ніж при КГШП (В). Результати розрахунків свідчать, що коефіцієнт точності маси заготовки на КГШП (З) більший ніж при КГШП (В). Отже, штампування на КГШП (З) більш вигідний спосіб штампування за рахунок меншої собівартості, точності і економічності.

Економічний ефект

$$E = (C_{\text{заг.шт.в}} - C_{\text{заг.шт.в}}) \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (2.13)$$

$$E = (57,44 - 54,3) \cdot 20000 = 62800 \text{ (грн.)}$$

Висновок. З отриманих розрахунків можна зробити висновок, що при виготовленні заготовки даної деталі доцільно обрати спосіб штампування на КГШП (закриті штампи), так як він є більш економічним для даного типу виробництва.

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

Заготовкою для нашої деталі являється поковка. При обробці точних поверхонь застосовують ряд етапів: чорнову, чистову і остаточну обробку. Необхідну і достатню кількість переходів механічної обробки проводимо за формулами загального уточнення. Найбільш точною поверхнею є циліндрична поверхня $\varnothing 26_{-0,095}^{-0,080}$. На її прикладі визначимо способи та кількість ступенів механічної обробки.

Допуск деталі для розміру $\varnothing 26_{-0,095}^{-0,080}$ складає $T_{\text{дет}} = 15$ мкм, допуск заготовки $T_{\text{заг}} = 1000$ мкм. Загальний коефіцієнт уточнення складає [1, 3]:

$$\varepsilon = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_2}{T_3} \dots = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \dots, \quad (2.14)$$

$$\varepsilon = \frac{1000}{15} = 66,67,$$

де ε_i – окремі ступені уточнення. Для першого переходу чорнової обробки $\varepsilon_{\text{чор}} \leq 5 \dots 6$; для переходів напівчистої обробки $\varepsilon_{\text{чист}} = 3 \dots 4$; для чистої

обробки (IT 8 - IT 10) $\varepsilon_{\text{чист}} = 2...2,5$; для фінішної обробки (IT 5 - IT 7) $\varepsilon_{\text{фін}} = 1,5...2$.

Отже, приймаємо 3 переходи механічної обробки. Тоді

$$\varepsilon_1 = 5; \varepsilon_2 = 4; \varepsilon_3 = 2; \varepsilon_4 = 1,67.$$

Допуски на проміжні технологічні розміри:

- для першого переходу: $T_1 = 1000/5 = 200$ мкм (\approx IT 12);
- для другого переходу: $T_2 = 200/4 = 50$ мкм (\approx IT 9);
- для третього переходу: $T_3 = 50/2 = 25$ мкм (IT \approx 7);
- для четвертого переходу: $T_4 = 25/1,67 = 15$ мкм (IT 7).

В остаточному вигляді приймаємо чотири переходи: точіння попереднє, точіння остаточне, шліфування однократне, суперфінішування.

Аналогічно проведено розрахунки для решти поверхонь і отримані дані наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Способи обробки поверхонь з підвищеною точністю

Розмір поверхонь	Квалітет точності	Шорсткість, Ra	Способи обробки
1	2	3	4
$\varnothing 26_{-0,080}^{-0,095}$	7	0,16	Точіння чорнове Точіння чистове Шліфування Суперфінішування
$\varnothing 25_{-0,052}$	9	0,16	Точіння чорнове Точіння чистове Шліфування Суперфінішування
$22_{-0,045}$	9	0,20	Точіння чорнове Точіння чистове Шліфування Доводка
$\varnothing 55f7_{-0,060}^{-0,030}$	7	1,5	Точіння чорнове Точіння чистове Шліфування

2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чистових і чорнових технологічних баз

2.5.1 Вибір чистових технологічних баз

Основні положення, що стосуються технології, класифікації та теорії базування викладені в [1].

На першій операції обробляються чистові бази, тобто ті технологічні бази, які будуть використовуватись на наступних операціях. Тому важливо визначити насамперед чистові технологічні бази.

Для правильного вибору чистових технологічних баз необхідно проаналізувати всі операції механічної обробки з метою вибору найкращого варіанта базування. Оскільки деталь є тілом обертання, то найбільш доцільно використати для базування центрові отвори та габаритний торець зі сторони коротшої шийки.

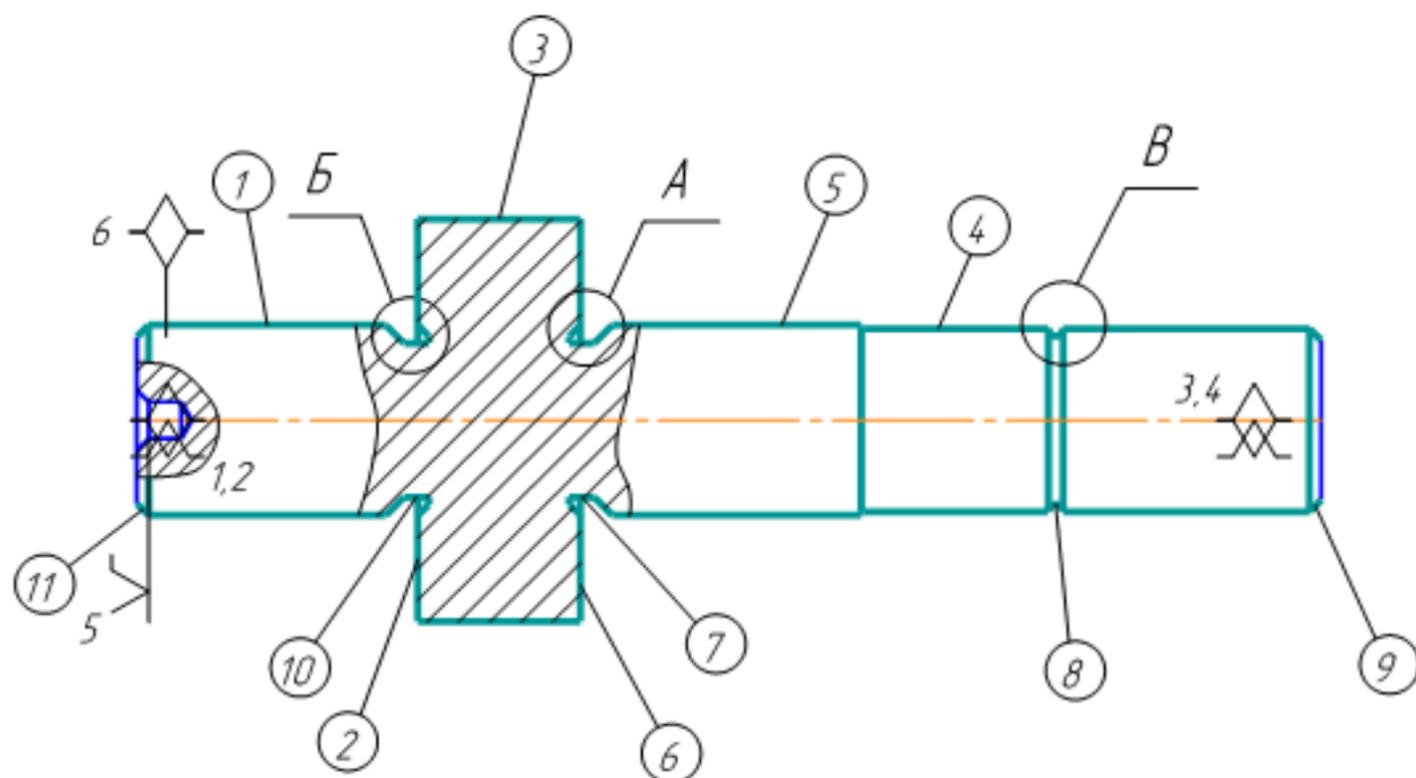


Рисунок 2.6 – Схема базування деталі на токарній обробці

Дана схема базування забезпечить співпадання всіх технологічних баз з вимірювальними, а тому дозволить уникнути похибок базування на всі розміри. Також використання даної схеми базування дозволить забезпечити принцип постійності технологічних баз на всіх точних операціях технологічного процесу.

2.5.2 Вибір чорнових технологічних баз

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.

На першій операції необхідно провести обробку чистових баз, а саме габаритних торців та центрових отворів. При цьому слід вирішити задачу зняття мінімального припуску з головних конструкторських баз деталі – шийок $\varnothing 26_{-0,095}^{-0,080}$, оскільки до якості цих поверхонь висуваються особливо високі вимоги.

Таким чином, потрібно на першій операції виконати базування заготовки на основні конструкторські бази за наступною схемою базування зображеною на рис. 2.7.

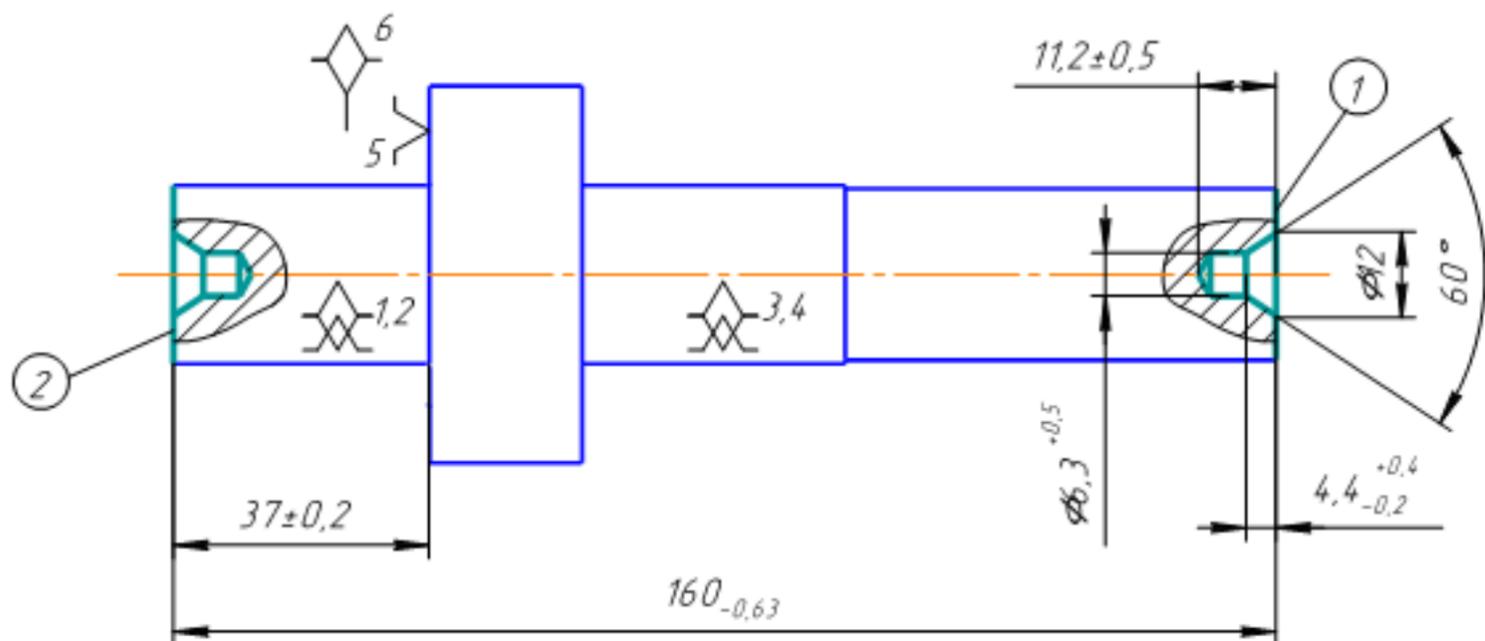
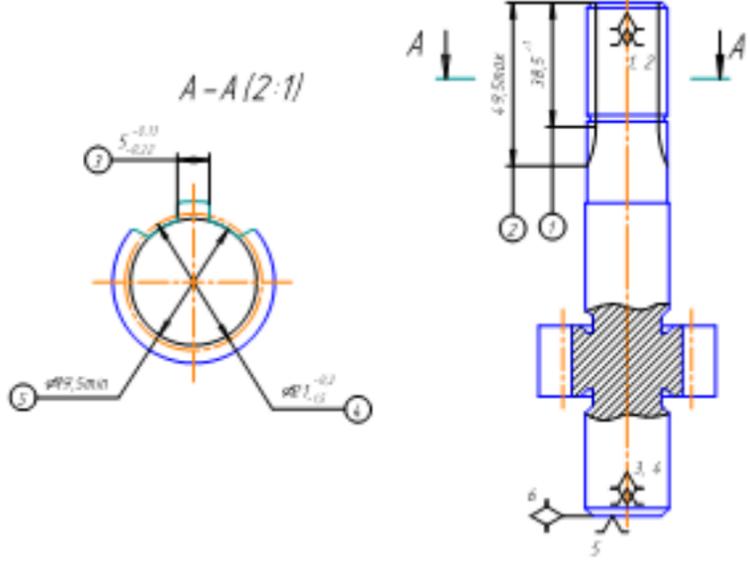
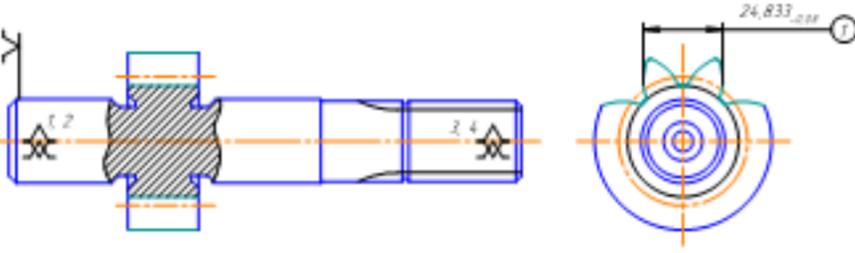
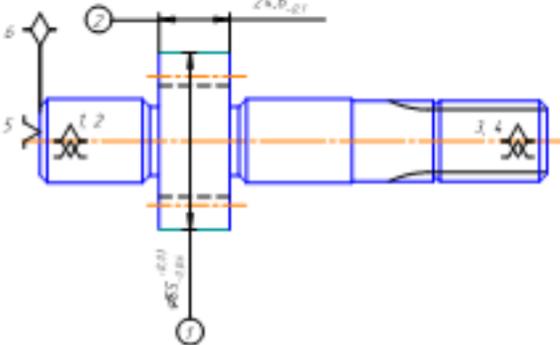
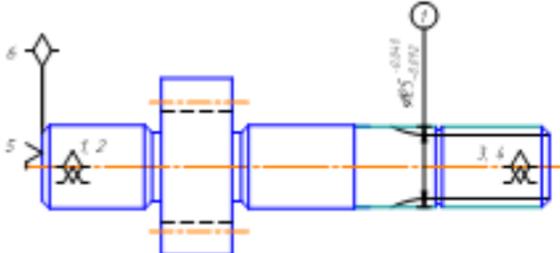


Рисунок 2.7 – Схема вибору чорнових технологічних баз

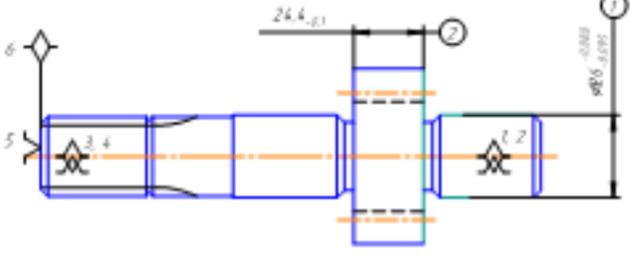
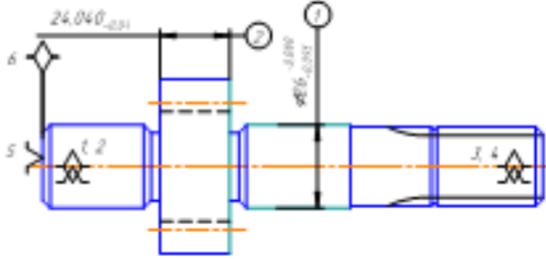
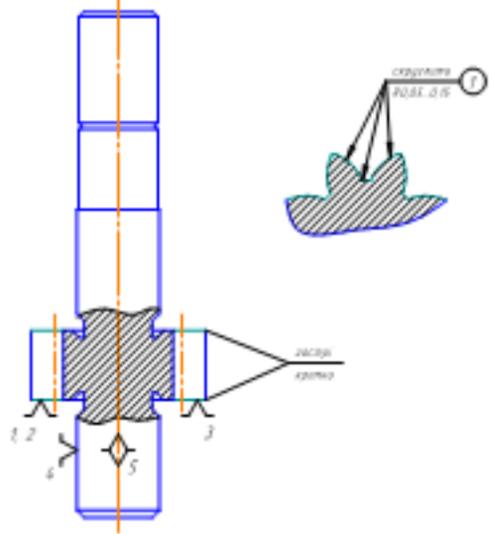
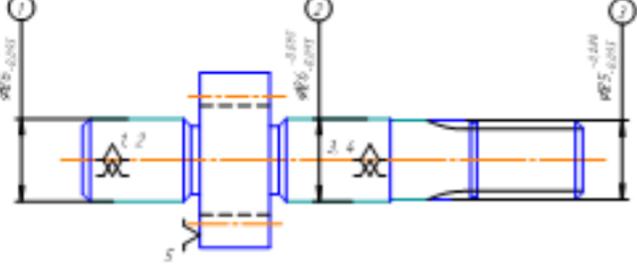
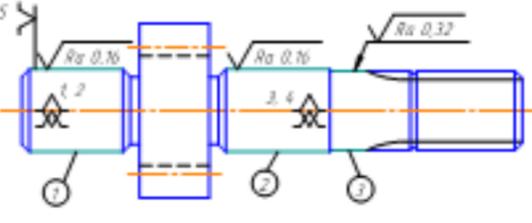
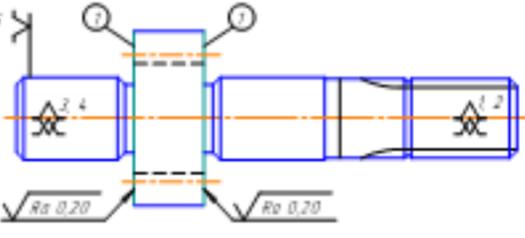
2.6 Розробка варіантів удосконаленого маршруту механічної обробки

Розроблені варіанти технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005» наведено в таблиці 2.10-2.11.

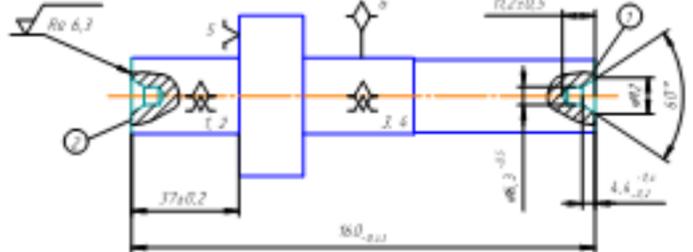
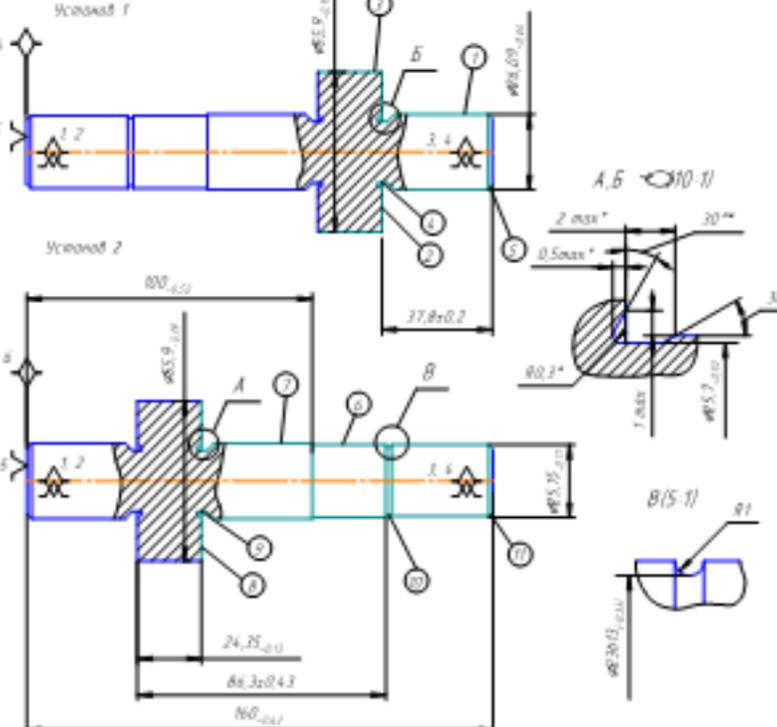
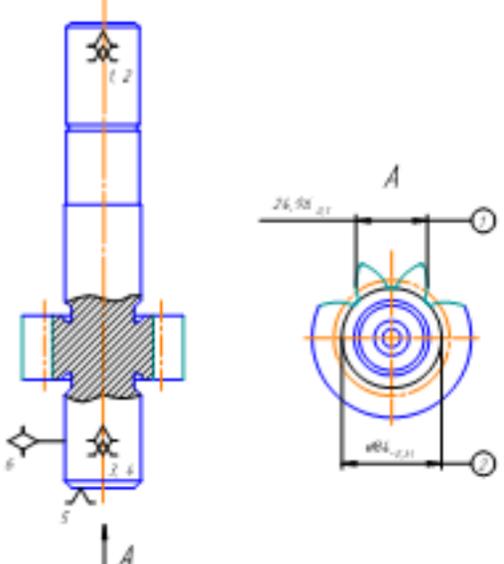
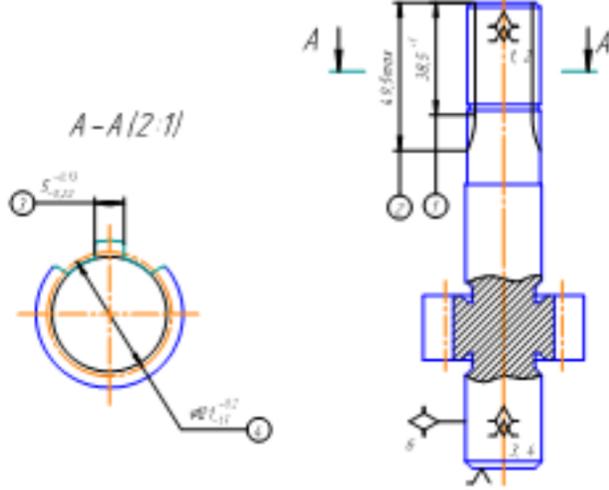
Продовження таблиці 2.10

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Схема базування та ескіз обробки	Обладнання
025	Зачистка		НО-1785-1
030	Шліцефрезерна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Фрезерувати 6 шлиць витримуючи розміри 1-5. 3. Зняти деталь.		Шліцефрезерний верстат 5К301ПС
035	Шедінгубальна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шедінгувати в зубі витримуючи розмір 1. 3. Зняти деталь.		Зубошедінгубальний верстат АБС-03В-1771
040	Промивка		07Н105
045	Контроль		Стіл ВТК
050	Термообробка		ББН87
055	Круглошліфувальна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати вінець витримуючи розмір 1. 3. Зняти деталь.		Круглошліфувальний верстат ЗА 151
060	Круглошліфувальна 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати шлицеву шийку витримуючи розмір 1. 3. Зняти деталь.		Круглошліфувальний верстат ЗМ151В

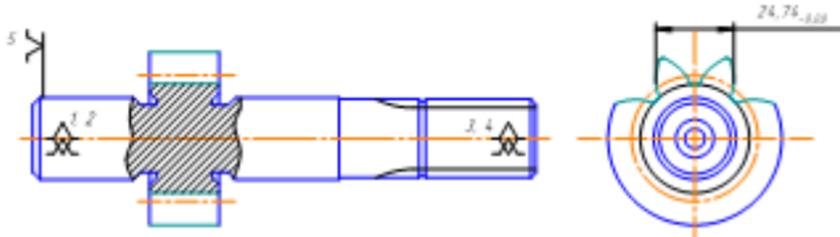
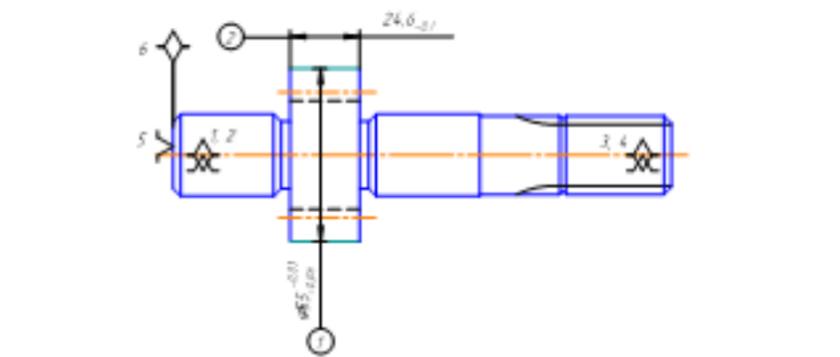
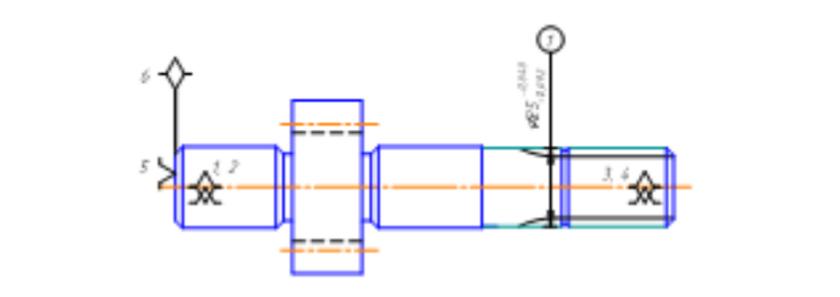
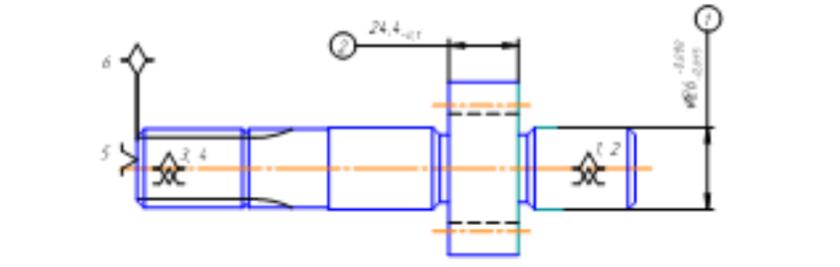
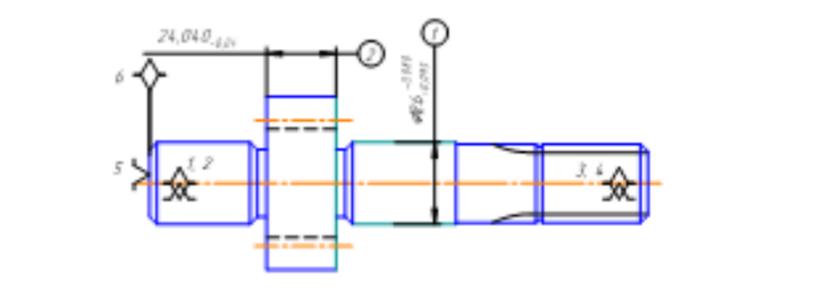
Продовження таблиці 2.10

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Схема базування та ескіз обробки	Обладнання
065	<p>Торцекруглошліфувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати одночасно коротку шийку і торець в'язя, витримуючи розміри 1,2. 3. Зняти деталь. 		Торцекруглошліфувальний верстат SASE AM-8201
070	<p>Торцекруглошліфувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати одночасно коротку шийку і торець в'язя, витримуючи розміри 1,2. 3. Зняти деталь. 		Торцекруглошліфувальний верстат SASE AM-8201
075	<p>Зубозаокруглювальна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Притупити гострі кромки по профілю евольвенти і впадин зубів з двох сторін, витримуючи розмір 1. 3. Зняти деталь. 		Зубозаокруглювальний верстат НОШ-161
080	<p>Суперфінішна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Суперфінішувати три шийки одночасно, витримуючи розміри 1-3. 3. Зняти деталь. 		Суперфінішний верстат 38795Н19
085	<p>Суперфінішна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Суперфінішувати шийки 1, 2, 3 одночасно. 3. Зняти деталь. 		Шліфувальний верстат 3Б12
090	<p>Доводочна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закріпити деталь. 2. Довести два торці в'язя 1. 3. Зняти деталь. 		Шліфувальний верстат 3Б12

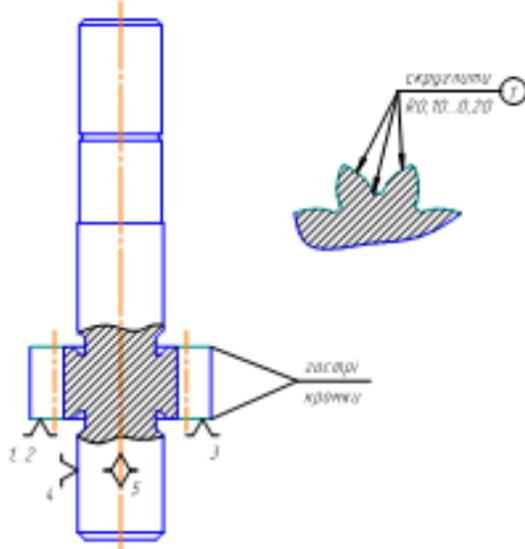
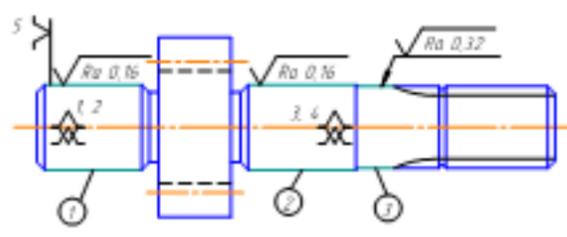
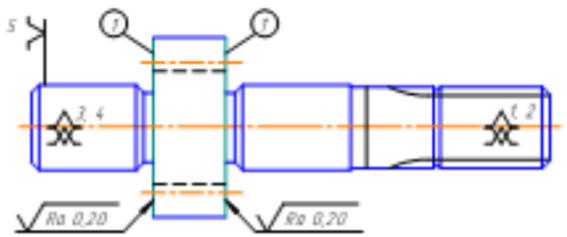
Таблиця 2.11 – Технологічний процес механічної обробки (варіант II)

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Схема базування та ескіз обробки	Обладнання
005	<p>Фрезерноцентрувальна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закрити деталь. 2. Фрезерувати торці 1 і 2. 3. Центрувати торці 1 і 2. 4. Зняти деталь. 		Фрезерно-центрувальний верстат МР76М
010	<p>Токарна з ЧПК</p> <p>Установ 1.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закрити деталь. 2. Точити шийку 1, торець 2, поверхню 3 попередньо. 3. Точити канавку 4 однократно. 4. Точити фаску 5 однократно, шийку 1, торець 2 остаточно. <p>Установ 2.</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Точити шийку 6, 7 і торець 8 попередньо. 6. Точити канавку 9 однократно. 7. Точити канавку 10 однократно. 8. Точити фаску 11 однократно, шийку 6, 7, торець 8 остаточно. 9. Зняти деталь. 		Токарний верстат з ЧПК 16К20Ф3
015	<p>Зубофрезерна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закрити деталь. 2. Фрезерувати в зубці витримуючи розміри 1,2. 3. Зняти деталь. 		Зубофрезерний верстат 5В312
020	<p>Шлицефрезерна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити і закрити деталь. 2. Фрезерувати 6 шлиць витримуючи розміри 1-4. 3. Зняти деталь. 		Шлицефрезерний верстат 5К301ПС

Продовження таблиці 2.11

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Схема базування та ескіз обробки	Обладнання
025	<p>Шедінгувальна</p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шедінгувати 8 зубів витримуючи розмір 1. 3. Зняти деталь.</p>		Шедінгувальний верстат АБС-03В-1771
030	<p>Промивка</p>		07Н105
035	<p>Контроль</p>		Стіл ВТК
040	<p>Термообробка</p>		ББН87
045	<p>Круглошліфувальна</p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати вінець витримуючи розмір 1. 3. Зняти деталь.</p>		Круглошліфувальний верстат ЗА151
050	<p>Круглошліфувальна</p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати шлицеву шийку витримуючи розмір 1. 3. Зняти деталь.</p>		Круглошліфувальний верстат ЗМ151В
055	<p>Торцекруглошліфувальна</p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати одночасно коротку шийку і торець в'язя, витримуючи розміри 1,2. 3. Зняти деталь.</p>		Торцекруглошліфувальний верстат SASE AM-8201
060	<p>Торцекруглошліфувальна</p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати одночасно коротку шийку і торець в'язя, витримуючи розміри 1,2. 3. Зняти деталь.</p>		Торцекруглошліфувальний верстат SASE AM-8201

Продовження таблиці 2.11

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Схема базуння та ескіз обробки	Обладнання
065	<p><u>Зубоаокруглювальна</u></p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Притупити гострі кромки по профілю евольвенти і впадин зубів з двох сторін, витримуючи розмір 1. 3. Зняти деталь.</p>		Зубоаокруглювальний верстат НОШ-161
070	<p><u>Суперфінішна</u></p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Суперфінішувати шийки 1, 2, 3 одночасно. 3. Зняти деталь.</p>		Суперфінішний верстат 3В79БН19
075	<p><u>Доводочна</u></p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Довести два торці вкця 1. 3. Зняти деталь.</p>		Шліфувальний верстат НОШ-225

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

Запропоновані варіанти ТП відрізняються один від одного кількома операціями.

I варіант ТП: 005 фрезерно-центрувальна, 010 токарна з ЧПК, 015 зубофрезерна, 020 зубодовбальна, 025 зачистка, 030 шліцефрезерна, 035 шевінгувальна, 085 доводочна, 090 доводочна.

II варіант ТП: 005 фрезерно-центрувальна, 010 токарна з ЧПК, 015 зубофрезерна, 020 шліцефрезерна, 025 шевінгувальна; 075 доводочна.

Технологічна собівартість механічної обробки розраховується за формулою [1]:

$$C_o = \frac{C_{n-c} \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot k_B} \text{ [грн.]}, \quad (2.15)$$

де C_{n-c} – цехові приведені годинні витрати роботи верстата;

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

$k_B = 1,3$ – коефіцієнт виконання норм.

Штучно-калькуляційний час визначається за формулою:

$$T_{шт-к} = T_o \cdot \varphi_k \text{ [хв.]}, \quad (2.16)$$

де T_o – основний час виконання обробки;

φ_k – коефіцієнт, що визначається типом обладнання.

Виконаємо нормування операцій для варіантів маршруту механічної обробки. Результати розрахунку приведено в таблицях 2.12-2.13.

Таблиця 2.12 – Штучно-калькуляційний час (I варіант ТП)

Операції та переходи	$T_o \cdot 10^{-3}$, хв.	φ_k	$T_{шт-к}$, хв.
1	2	3	4
005 Фрезерно-центрувальна			
Позиція I			
Фрезерувати торці 1, 7 однократно	$6 \cdot l$	1,51	0,398
Позиція II			
Центрувати торці 1, 7	$0,52 \cdot d \cdot l$	1,51	0,106
			$\Sigma T_{шт-к} = 0,398$
010 Токарна з ЧПК			
Точити шийку 1, торець 2, поверхню 3 попередньо	$0,06 \cdot d \cdot l + 0,014 \cdot (D^2 - d^2)$	1,78	0,239
Точити шийки 4, 5 і торець 6 попередньо	$0,06 \cdot d \cdot l + 0,014 \cdot (D^2 - d^2)$	1,78	0,35
Точити торець 6 остаточно	$0,046 \cdot (D^2 - d^2)$	1,78	0,077
Точити канавку 7 однократно	$0,045 \cdot D^2$	1,78	0,078

Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4
Точити канавку 8 однократно	$0,045 \cdot D^2$	1,78	0,078
Точити фаску 9 однократно, точити шийки 4, 5 остаточно	$0,05 \cdot d \cdot l$	1,78	0,355
Точити торець 2 остаточно	$0,046 \cdot (D^2 - d^2)$	1,78	0,077
Точити канавку 10 однократно	0,045	1,78	0,078
Точити фаску 11 однократно, точити шийку 1 остаточно	$0,05 \cdot d \cdot l$	1,78	0,14
			$\Sigma T_{ш-к} = 1,42$
015 Зубофрезерна			
Фрезерувати 8 зубів	$2,2 \cdot D \cdot d$	1,3	2,52
			$\Sigma T_{ш-к} = 2,52$
020 Зубодовбальна			
Довбати 8 зубів	$B_k \cdot m \cdot (0,0035 + z \cdot 0,00071)$	1,3	1,84
			$\Sigma T_{ш-к} = 1,84$
030 Шліцефрезерна			
Фрезерувати 6 шліців	$9 \cdot l \cdot z$	1,3	2,33
			$\Sigma T_{ш-к} = 2,33$
035 Шевінгувальна			
1. Шевінгувати 8 зубів	$9 \cdot l \cdot z$	2,1	0,9
			$\Sigma T_{ш-к} = 0,9$
085 Доводочна			
Довести торець вінця	$25 \cdot t$	1,55	0,25
			$\Sigma T_{ш-к} = 0,25$
090 Доводочна			
1. Довести торець вінця	$25 \cdot t$	1,55	0,25
			$\Sigma T_{ш-к} = 0,25$

Таблиця 3.5 – Штучно-калькуляційний час (II варіант ТП)

Операції та переходи	$T_o \cdot 10^{-3}$, хв.	φ_x	$T_{ш-к}$, хв.
1	2	3	4
005 Фрезерно-центрувальна			
Позиція I			
Фрезерувати торці 1, 7 однократно	$6 \cdot l$	1,51	0,398
Позиція II			
Центрувати торці 1, 7	$0,52 \cdot d \cdot l$	1,51	0,106

Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4
010 Токарна з ЧПК			
Точити шийку 1, торець 2, поверхню 3 попередньо	$0,06 \cdot d \cdot l + 0,014 \cdot (D^2 - d^2)$	1,78	0,239
Точити шийки 4, 5 і торець 6 попередньо	$0,06 \cdot d \cdot l + 0,014 \cdot (D^2 - d^2)$	1,78	0,35
Точити торець 6 остаточно	$0,046 \cdot (D^2 - d^2)$	1,78	0,077
Точити канавку 7 однократно	$0,045 \cdot D^2$	1,78	0,078
Точити канавку 8 однократно	$0,045 \cdot D^2$	1,78	0,078
Точити фаску 9 однократно, точити шийки 4, 5 остаточно	$0,05 \cdot d \cdot l$	1,78	0,355
Точити торець 2 остаточно	$0,046 \cdot (D^2 - d^2)$	1,78	0,077
Точити канавку 10 однократно	$0,045 \cdot D^2$	1,78	0,078
Точити фаску 11 однократно, точити шийку 1 остаточно	$0,05 \cdot d \cdot l$	1,78	0,14
			$\Sigma T_{ш-к} = 1,42$
015 Зубофрезерна			
Фрезерувати 8 зубів	$2,2 \cdot D \cdot d$	1,3	2,52
020 Шліцефрезерна			
Фрезерувати 6 шліців	$9 \cdot l \cdot z$	1,3	2,33
			$\Sigma T_{ш-к} = 2,33$
025 Шевінгувальна			
Шевінгувати 8 зубів	$9 \cdot l \cdot z$	2,1	0,9
			$\Sigma T_{ш-к} = 0,9$
075 Доводочна			
1. Довести торці вінця	$25 \cdot t$	1,55	0,12
			$\Sigma T_{ш-к} = 0,12$

Результати розрахунку технологічної собівартості операцій заносимо до таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Технологічна собівартість операцій

Операція	Верстат	C_o , грн.	$C_{п-с}$, грн./год.	$T_{ш-к}$, хв.
1	2	3	4	6
I варіант				
Фрезерно-центрувальна	MP76M	0,523	102,4	0,398
Токарна з ЧПК	16K20Ф3	0,7	38,0	1,42

Продовження таблиці 2.13

1	2	3	4	6
Зубофрезерна	5B312	1,26	39,1	2,52
Зубодовбальна	5122	0,736	31,2	1,84
Шліцефрезерна	5350B	1,816	60,8	2,33
Шевінгувальна	АБС-038-1771	0,512	36,0	1,11
Доводочна	3Б12	0,11	34,7	0,25
Доводочна	3Б12	0,11	34,7	0,25
Σc_o		5,77		
II варіант				
Фрезерно-центрувальна	MP76M	0,523	102,4	0,398
Токарна з ЧПК	16K20Ф3	0,7	38,0	1,42
Зубофрезерна	5B312	1,26	39,1	2,52
Шліцефрезерна	5350B	1,816	60,8	2,33
Шевінгувальна	АБС-038-1771	0,415	36,0	0,9
Доводочна	НОШ-225	0,06	40,0	0,12
Σc_o		4,78		

Встановлено, що II варіант маршруту механічної обробки деталі за мінімумом приведених витрат кращий, ніж I. Тоді річний ефект від механічної обробки деталі за II маршрутом порівняно з I:

$$E = (C_{o1} - C_{o2}) \cdot N_p \text{ [грн.]}, \quad (2.17)$$

$$E = (5,77 - 4,78) \cdot 20000 = 19800 \text{ (грн.)}$$

Висновок. Собівартість операцій механічної обробки по варіанту II нижча ніж по варіанту I. Тобто доцільно використовувати II варіант із запропонованих маршрутів механічної обробки.

2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу

2.8.1 Вибір розташування технологічних розмірів

Після розробки операційних ескізів механічної обробки на всі операції потрібно проставити технологічні розміри B_1, B_2, B_3, \dots з напрямком, який відповідає механічній обробці даної поверхні. Розташування технологічних розмірів безпосередньо залежить від вибору технологічних баз. Вибір

технологічних баз та простановки технологічних розмірів повинні забезпечити відсутність або мінімальність похибки базування на вказані розміри [1, 13].

2.8.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів

Попередньо прийняті допуски зводимо до таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Допуски на технологічні розміри [1, 3]

Розміри	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9
Допуски	1,2	0,9	0,8	0,8	0,4	0,63	0,4	0,54	0,52	0,39	0,13	0,08	0,040
Квалітет	15	15	15	15	14	13	14	13	14	13	11	10	9

2.8.3 Розмірна схема технологічного процесу

Зобразимо розмірну схему технологічного процесу відповідно до маршруту механічної обробки (рис. 2.8).

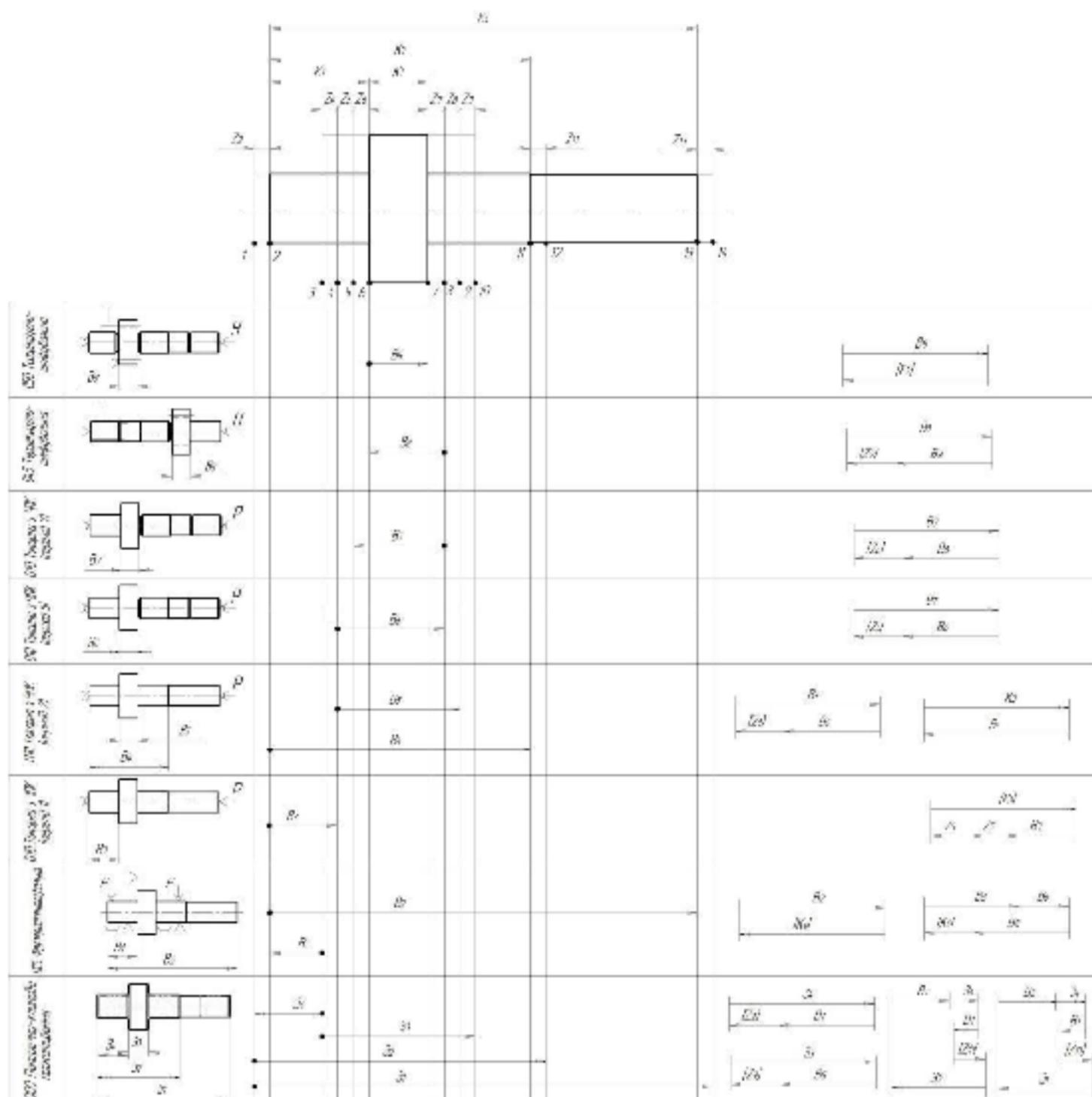


Рисунок 2.8 – Розмірна схема технологічного процесу

2.8.4 Похідний, вихідний графи-дерева, суміщений граф

Похідний, вихідний графи-дерева та суміщений граф будуються на основі розмірної схеми технологічного процесу і зображені на рисунках 2.9-2.11 відповідно.

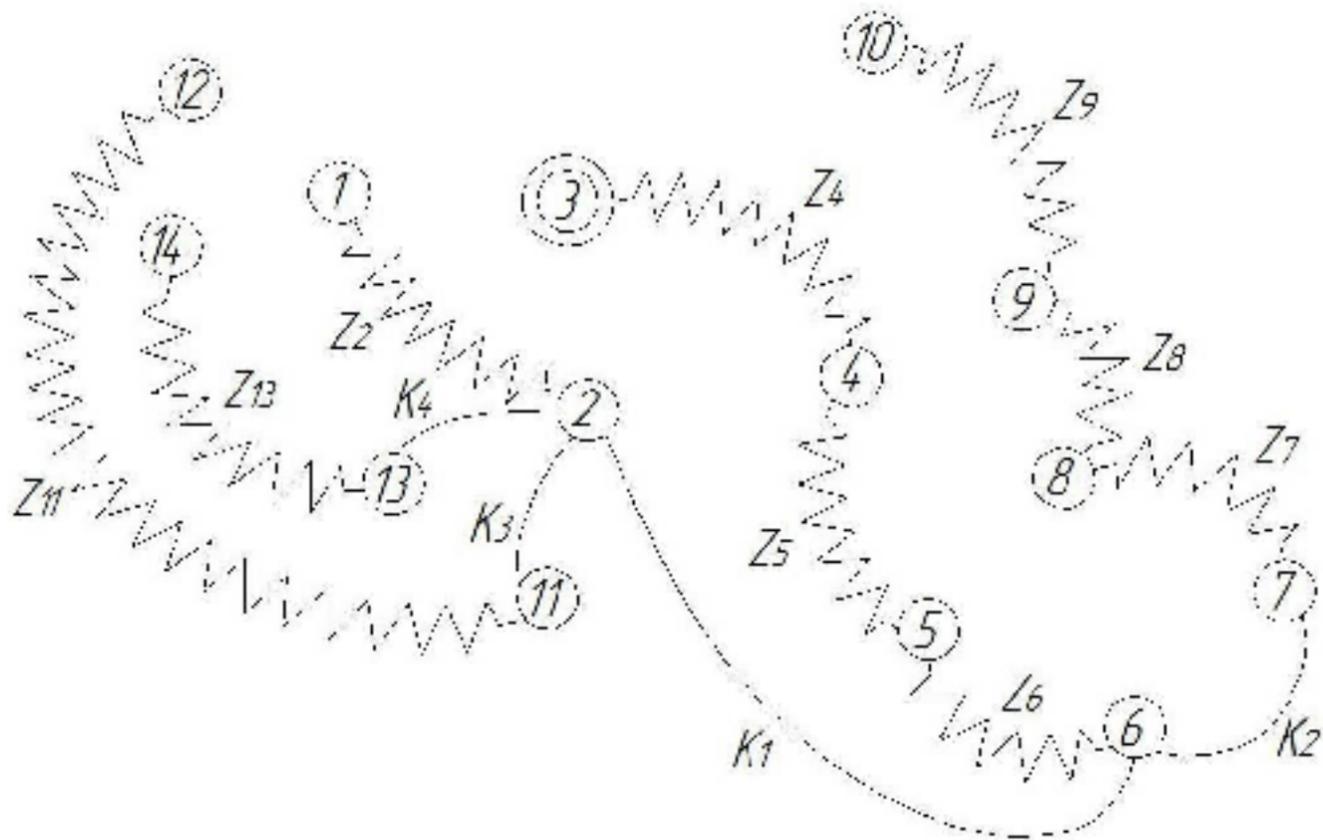


Рисунок 2.9 – Вихідний граф-дерево

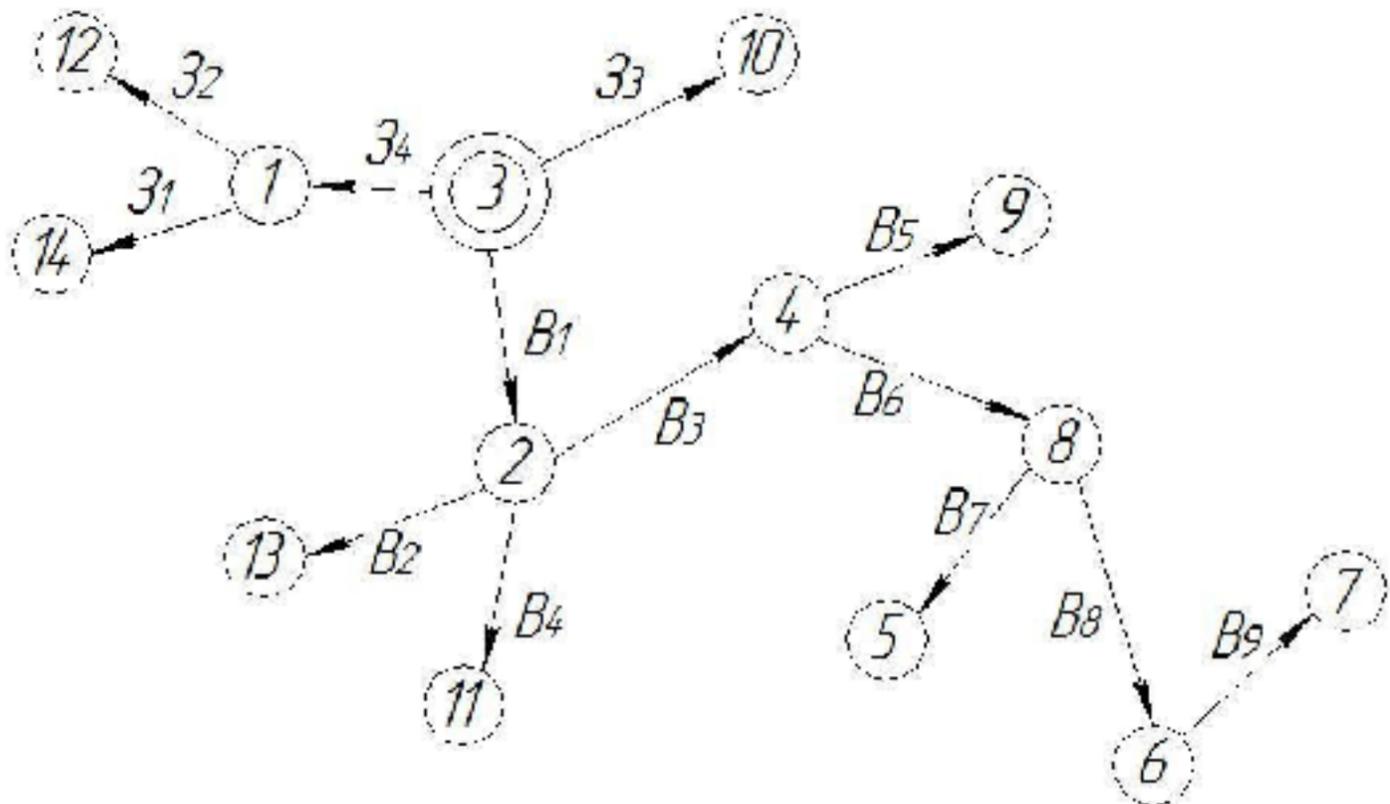


Рисунок 2.10 – Похідний граф-дерево

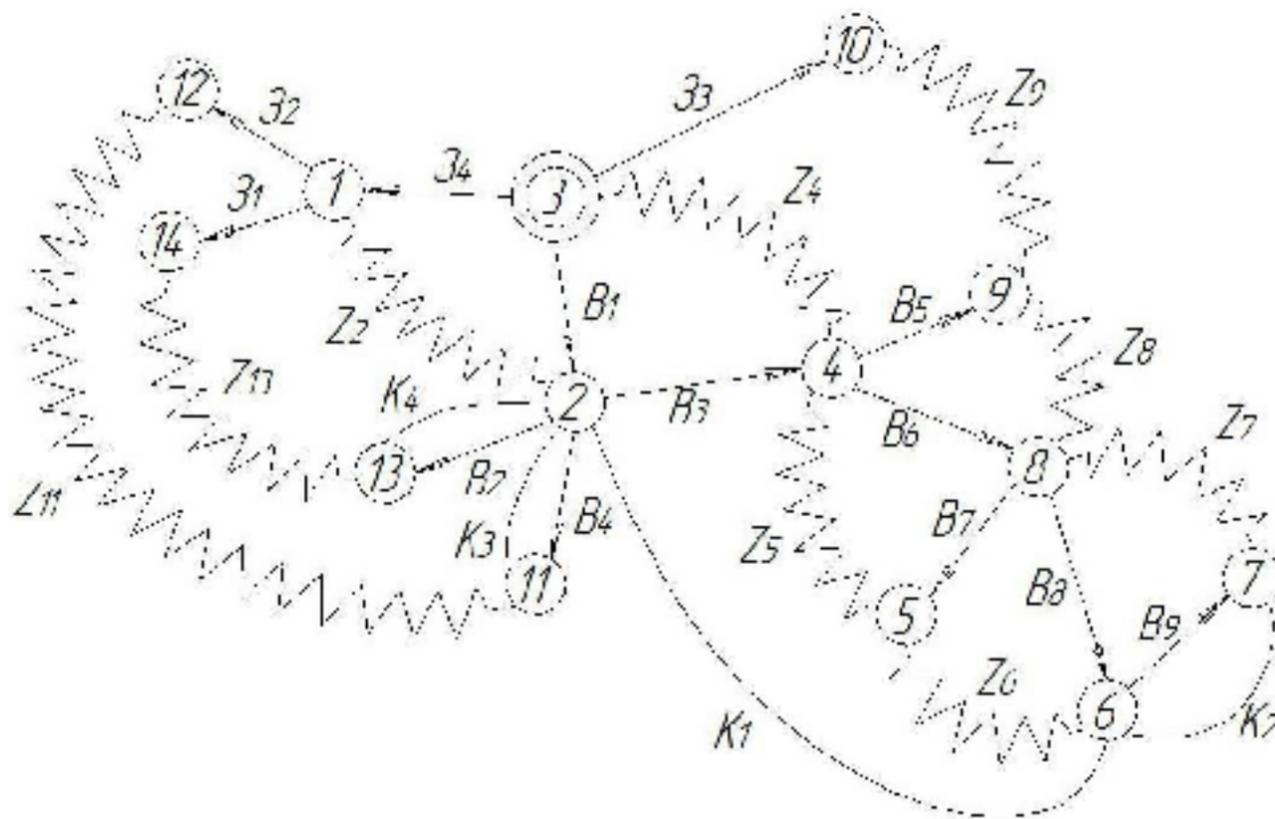


Рисунок 2.11 – Суміщений граф-дерево

2.8.5 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

Визначимо мінімальні припуски на обробку за один прохід на наступні розміри [5]:

- для розміру $160_{-0,63}$: $Z_{2\min} = Z_{13\min} = 0,5$ мм;
- для розміру $100_{-0,54}$: $Z_{11\min} = 0,6$ мм.

Визначимо мінімальні припуски на чорнове точіння при отриманні розміру $24_{-0,040}$: $Z_{4\min} = Z_{9\min} = 0,7$ мм.

Визначимо мінімальні припуски на чистове точіння при отриманні розміру $24_{-0,040}$: $Z_{5\min} = Z_{8\min} = 0,12$ мм.

Визначимо мінімальні припуски на шліфування при отриманні розміру $24_{-0,040}$: $Z_{6\min} = Z_{7\min} = 0,07$ мм.

2.8.6 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

На основі побудованого суміщеного графа складемо вихідні рівняння для знаходження значень технологічних розмірів та номінальних і максимальних припусків. Отримані результати зручно представити у вигляді таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Рівняння для розрахунку технологічних розмірних ланцюгів

№ п/п	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Ланка, що визначається
1	$-K_2 + B_9 = 0$	$K_2 = B_9$	B_9
2	$-Z_7 + B_8 - B_9 = 0$	$Z_7 = B_8 - B_9$	B_8
3	$-Z_6 + B_7 - B_8 = 0$	$Z_6 = B_7 - B_8$	B_7
4	$-Z_5 + B_6 - B_7 = 0$	$Z_5 = B_6 - B_7$	B_6
5	$-Z_8 + B_5 - B_6 = 0$	$Z_8 = B_5 - B_6$	B_5
6	$-K_3 + B_4 = 0$	$K_3 = B_4$	B_4
7	$-K_1 - B_8 + B_3 + B_6 = 0$	$K_1 = -B_8 + B_3 + B_6$	B_3
8	$-K_4 + B_2 = 0$	$K_4 = B_2$	B_2
9	$-Z_4 + B_3 - B_1 = 0$	$Z_4 = B_3 - B_1$	B_1
10	$-Z_2 + Z_4 - B_1 = 0$	$Z_2 = Z_4 - B_1$	Z_4
11	$-Z_9 + Z_3 - B_5 = 0$	$Z_9 = Z_3 - B_5$	Z_3
12	$-Z_{11} - B_4 - Z_4 + B_1 + Z_2 = 0$	$Z_{11} = -B_4 - Z_4 + B_1 + Z_2$	Z_2
13	$-Z_{13} - Z_1 - B_2 + B_1 - Z_4 = 0$	$Z_{13} = -Z_1 - B_2 + B_1 - Z_4$	Z_1

2.8.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів заготовки, максимальних припусків, корекція допусків

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

Розрахунок ланцюгових рівнянь зручно представити у вигляді табл. 2.16.

Таблиця 2.16 – Розрахунок технологічних розмірів

Вихідний розмір		Вихідне рівняння	Розмір, що визначається, мм			
Позначення	Значення, мм		номінальний	допуск	технологічний	Граничне значення припуску
1	2	3	4	5	6	7
K_2	$24_{-0,04}$	$K_2 = B_9$	$B_9 = K_2 = 24,04$	0,04	$B_9 = 24,04_{-0,04}$	–
Z_{7min}	0,07	$Z_{7min} = B_{8min} - B_{9max}$	$B_{8min} = Z_{7min} + B_{9max} = 0,07 + 24,04 = 24,11$; $B_8 = 24,11 + 0,08 = 24,19$	0,08	$B_8 = 24,15_{-0,08}$	$Z_7 = 24,15_{-0,08} - 24_{-0,045} = 0,19_{-0,08}^{+0,045}$ $Z_{7max} = 0,235$

Продовження таблиці 2.16

1	2	3	4	5	6	7
Z_{6min}	0,07	$Z_{6min}=B_{7min}-$ $-B_{8max}$	$B_{7min}=Z_{6min}+$ $+B_{8max}=0,07+$ $+24,19=24,26;$ B_7 $=24,26+0,13=$ $=24,35$	0,13	$B_7=24,35_{-0,13}$	$Z_6=24,35_{-0,13}-$ $24,15_{-0,08}=$ $=0,2_{+0,08}$ $-0,13$ $Z_{6max}=0,28$
Z_{5min}	0,12	$Z_{5min}=B_{6min}-$ $-B_{7max}$	$B_{6min}=Z_{5min}+$ $+B_{7max}=0,12+$ $+24,35=24,47;$ B_6 $=24,47+0,25=$ $=24,72$	0,25	$B_6=24,72_{-0,25}$	$Z_5=24,72_{-0,25}-$ $24,35_{-0,13}=$ $=0,37_{+0,13}$ $-0,25$ $Z_{5max}=0,50$
Z_{8min}	0,12	$Z_{8min}=B_{5min}-$ $-B_{6max}$	$B_{5min}=Z_{8min}+$ $+B_{6max}=0,12+$ $+24,72=24,84;$ B_5 $=24,84+0,52=$ $=23,36$	0,52	$B_5=23,36_{-0,52}$	$Z_8=23,36_{-0,52}-$ $24,72_{-0,25}=$ $=0,64_{+0,25}$ $-0,52$ $Z_{7max}=0,89$
A_3	$100_{-0,54}$	$K_3 = B_4$	$B_4 = K_3 = 100$	0,54	$B_4=100_{-0,54}$	—
K_1	$38\pm 0,3$	$K_1=B_3 + B_6 -$ B_8	$B_3=K_1 - B_6 +$ $B_8=$ $=38+24,15-$ $24,72 = 37,43$	0,4	$S_3 = 27,43_{+0,22}$ $-0,05$	—
K_4	$160_{-0,63}$	$K_4 = B_2$	$B_2 = K_4 = 160$	0,63	$B_2=160_{-0,63}$	—
Z_{4min}	0,7	$Z_{4min}=B_{3min}-$ $-B_{1max}$	$B_{1max}=B_{3min}-$ $-Z_{4min}=37,38-$ $-0,7=36,88;$ $B_1=36,88-0,3=$ $=36,58$	0,6	$B_2=36,58\pm 0,3$	$Z_4=37,43_{+0,22}$ $-0,05-$ $36,58\pm 0,3 =$ $=0,85_{+0,52}$ $-0,35$ $Z_{4max}=1,47$
Z_{2min}	0,5	$Z_{2min}=3_{4min}-$ $-B_{1max}$	$3_{4min}=B_{1max}+$ $+Z_{2min}=36,88+$ $+0,5=37,38;$ $3_4=37,38+0,3=$ $=37,68$	0,8	$3_4 = 37,68_{+0,5}$ $-0,3$	$Z_2=37,68_{+0,5}$ $-0,3-$ $36,58\pm 0,3 =$ $=1,1_{+0,8}$ $-0,6$ $Z_{2max}=1,9$
Z_{9min}	0,7	$Z_{9min}=3_{3min}-$ $-B_{5max}$	$3_{3min}=B_{9min}+$ $+Z_{5max}=23,36+$ $+0,7=23,86;$ $3_4=23,86+0,3=$ $=24,16$	0,8	$3_3 = 24,16_{+0,5}$ $-0,3$	$Z_9=24,16_{+0,5}$ $-0,3-$ $23,36_{-0,52}=$ $=0,8_{+1,02}$ $-0,3$ $Z_{9max}=1,82$
Z_{11min}	0,6	$Z_{11min}=B_{1min}-$ $-B_{4max}+3_{2min}-$ -3_{4max}	$3_{2min}=Z_{11min}+$ $+B_{4max}+3_{4max}-$ $-B_{1min}=0,6+$ $+100+38,18-$ $-36,28=102,4;$ $3_2=102,4+0,3=$ $=102,7$	0,9	$3_2 = 102,7_{+0,6}$ $-0,3$	$Z_{11}=100,7_{+0,6}$ $-0,3-$ $+36,58\pm 0,3 -$ $-37,68_{+0,5}$ $-0,3-$ $100_{-0,54}=1,6_{+1,74}$ $-1,1$ $Z_{11max}=3,34$

Продовження таблиці 2.16

1	2	3	4	5	6	7
Z_{13min}	0,5	$Z_{13min}=B_{1min}-$ $-B_{2max}+Z_{1min}-$ $-Z_{4max}$	$Z_{1min} = Z_{13min} +$ $+ B_{2max} + Z_{4max} -$ $- B_{1min} = 0,5 +$ $+160+38,18-$ $- 36,28=162,4;$ $Z_2 = 162,4+0,4=$ $=162,8$	1,2	$Z_1 = 161,8^{+0,8}_{-0,4}$	$Z_{13}=161,8^{+0,8}_{-0,4} +$ $36,58\pm 0,3 - .-$ $37,68^{+0,5}_{-0,3} -$ $160_{0,63}=1,7^{2,00}_{-1,2}$ $Z_{13max}=3,73$

Результати розрахунків технологічних розмірів, розмірів заготовки та припусків на механічну обробку занесемо до таблиць 2.17 та 2.18.

Таблиця 2.17 – Результати розрахунків технологічних розмірів та розмірів заготовки

Розміри заготовки, технологічні розміри	Квалітет точності (клас точності)	Попередні значення допусків	Остаточні значення допусків	Номинальний розмір
31	клас точн. 6	1,6	1,6	$162,8\pm 0,8$
32	клас точн. 6	1,0	1,0	$100,7\pm 0,5$
33	клас точн. 6	1,0	1,0	$24,16\pm 0,5$
34	клас точн. 6	1,0	1,0	$37,68\pm 0,5$
B1	14	0,6	0,6	$36,58\pm 0,3$
B2	13	0,63	0,63	$160_{-0,63}$
B3	13	0,30	0,27	$37,43\pm 0,135$
B4	13	0,54	0,54	$100_{-0,54}$
B5	14	0,52	0,52	$23,36_{-0,52}$
B6	13	0,25	0,25	$24,72_{-0,25}$
B7	11	0,13	0,13	$24,35_{-0,13}$
B8	10	0,08	0,08	$24,19_{-0,08}$
B9	9	0,040	0,040	$24,04_{-0,040}$

Таблиця 2.18 – Результати розрахунків припусків на механічну обробку

Припуски		Z_2	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	Z_{11}	Z_{13}
Граничні значення	Z_{\min}	0,5	0,7	0,12	0,07	0,07	0,12	0,7	0,6	0,5
	Z_{\max}	1,9	1,47	0,50	0,28	0,235	0,89	1,82	3,34	3,73

Висновок. Таким чином, в результаті виконання розмірного аналізу технологічного процесу механічної обробки деталі визначені технологічні розміри, розміри вихідної заготовки. Це дозволяє забезпечити знаходження дійсних значень всіх конструкторських розмірів в межах полів допусків.

2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

2.9.1 Визначення розрахунково-аналітичним методом припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні $\varnothing 26_{-0,095}^{-0,080}$

Допуск заготовки на даний розмір становить 1000 мкм.

Установка заготовки виконується в центрах.

Маршрут механічної обробки: точіння чорнове, точіння чистове, шліфування, суперфінішування.

Мінімальний проміжний припуск на механічну обробку циліндричних поверхонь із застосуванням розрахунково-аналітичного методу визначається за формулою [1]:

$$2Z_{i\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \text{ [мкм]}, \quad (2.18)$$

де i – порядковий виконуваного технологічного переходу; R_z , T , ρ – відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару та просторові відхилення оброблюваної поверхні (відносно технологічних баз), які утворились на технологічному переході, що передує виконуваному; ε – похибка встановлення заготовки у верстатний пристрій, яка виникає на виконуваному технологічному переході.

Сумарне значення просторових відхилень для гарячекатаних заготовок при обробці в центрах:

$$\rho = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.19)$$

де $\rho_{\text{ц}} = 0,01 \text{ мм} = 10 \text{ мкм}$;

$\rho_{\text{кор}} = d \cdot \Delta_k = 1,3 \cdot 160 = 208 \text{ (мкм)}$;

$$\rho = \sqrt{10^2 + 208^2} = 210 \text{ (мкм)}.$$

Для чорнової обробки:

$$\rho_{\text{ц}} = \rho \cdot 0,06 = 12 \text{ (мкм)}.$$

Похибка встановлення заготовки $\varepsilon = 0$, оскільки встановлення заготовки відбувається в центрах.

Проводимо розрахунок мінімальних припусків:

- для точіння попереднього $2 \cdot Z_{1\text{min}} = 2 \cdot (200+300+210) = 1420 \text{ (мкм)}$;
- для точіння остаточного $2 \cdot Z_{2\text{min}} = 2 \cdot (50+50+12) = 224 \text{ (мкм)}$;
- для шліфування $2 \cdot Z_{3\text{min}} = 2 \cdot (30+30+10) = 140 \text{ (мкм)}$.

Розрахункові розміри отримуємо починаючи з кінцевого шляхом послідовного додавання мінімальних припусків кожного технологічного переходу.

$$d_{p3} = d_{3\text{min}} = 25,905 \text{ (мм)};$$

$$d_{p2} = d_3 + 2 \cdot Z_{3\text{min}} = 25,905 + 0,140 = 26,045 \text{ (мм)};$$

$$d_{p1} = d_2 + 2 \cdot Z_{2\text{min}} = 26,045 + 0,224 = 26,269 \text{ (мм)};$$

$$d_{p\text{зар}} = d_1 + 2 \cdot Z_{1\text{min}} = 26,269 + 1,420 = 27,689 \text{ (мм)}.$$

Найменші граничні розміри для кожного технологічного переходу отримуємо шляхом округлення відповідного розрахункового розміру до точності, що допускається цим переходом.

$$d_{3\min}=25,905 \text{ мм}; \quad d_{2\min}=26,05 \text{ мм}; \quad d_{1\min}=26,3 \text{ мм}; \quad d_{\text{заг}\min}=27,7 \text{ мм}.$$

Найменші граничні розміри отримуються за формулою:

$$d_{\max i} = d_{\min i} + \delta_i \text{ [мм]}; \quad (2.20)$$

$$d_{\max 3} = d_{\min 3} + T_3 = 25,905 + 0,015 = 25,920 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 2} = d_{\min 2} + T_2 = 26,05 + 0,04 = 26,09 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 1} = d_{\min 1} + T_1 = 26,3 + 0,16 = 26,46 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max \text{ заг}} = d_{\min \text{ заг}} + T_{\text{заг}} = 27,7 + 1,0 = 28,7 \text{ (мм)}.$$

Проводимо розрахунок мінімальних припусків за формулою:

$$2 \cdot Z_{\min i}^{np} = d_{\min i-1} - d_{\min i} \text{ [мм]}, \quad (2.21)$$

$$2 \cdot Z_{\min 3}^{np} = 26,05 - 25,905 = 0,145 \text{ (мм)};$$

$$2 \cdot Z_{\min 2}^{np} = 26,3 - 26,05 = 0,25 \text{ (мм)};$$

$$2 \cdot Z_{\min 1}^{np} = 27,7 - 26,3 = 1,4 \text{ (мм)}.$$

Проводимо розрахунок максимальних припусків за формулою:

$$2 \cdot Z_{\max i}^{np} = d_{\max i-1} - d_{\min i} \text{ [мм]}, \quad (2.22)$$

$$2 \cdot Z_{\max 3}^{np} = 26,09 - 25,920 = 0,17 \text{ (мм)};$$

$$2 \cdot Z_{\max 2}^{np} = 26,46 - 26,09 = 0,37 \text{ (мм)};$$

$$2 \cdot Z_{\max 1}^{np} = 28,7 - 26,46 = 2,24 \text{ (мм)}.$$

Перевірка:

$$2 \cdot Z_{\max} - 2 \cdot Z_{\min} = \delta_{i-1} - \delta_i \quad (2.23)$$

- точіння попереднє

$$2,24 - 1,4 = 1,0 - 0,16 \text{ (мм);}$$

$$0,84 = 0,84 \text{ (мм);}$$

- точіння остаточне

$$0,37 - 0,25 = 0,16 - 0,04 \text{ (мм);}$$

$$0,12 = 0,12 \text{ (мм);}$$

- шліфування

$$0,17 - 0,145 = 0,04 - 0,015 \text{ (мм);}$$

$$0,025 = 0,025 \text{ (мм).}$$

Отримані результати представлені у таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Припуски і технологічні розміри на обробку циліндричної поверхні $\varnothing 26_{-0,095}^{-0,080}$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 26_{-0,095}^{-0,080}$	Елементи припуску				Розрахункові розміри		Допуск, МКМ	Граничні розміри		Граничні значення припусків	
	Rz	T _i	ρ _i	ε _y	2Z _{min}	d _p		d _{min}	d _{max}	2Z _{min} ^{пр}	2Z _{min} ^{ост}
Заготовка	150	250	210	-	-	27,699	1000	27,7	28,5	-	-
Точіння попереднє	50	50	12	-	1220	26,269	160	26,3	26,46	1,4	2,24
Точіння остаточне	30	30	10	-	224	26,045	40	26,05	26,09	0,25	0,37
Шліфування	5	15	0	-	140	25,905	15	25,905	25,920	0,145	0,17

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

Окрім вже розрахованої поверхні залишається лише одна достатньо точна циліндрична поверхня $\varnothing 25_{-0,52}$. Обробка даної поверхні повністю аналогічна до

обробки вже розглядуваної поверхні. Відмінність полягає лише у величині поля допуску на розмір.

Результати розрахунку припусків і технологічних розмірів на обробку циліндричної поверхні $\varnothing 25_{-0,52}$ зведені у таблицю 2.20.

Таблиця 2.20 – Припуски і технологічні розміри на обробку циліндричної поверхні $\varnothing 25_{-0,52}$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 25_{-0,52}$	Елементи припусака				Розрахункові і розміри		Допуск мкм	Граничні розміри		Граничні значення припусків	
	R _Z	T _i	ρ_i	ϵ_y	2Z _{min}	d _p		d _{min}	d _{max}	2Z _{min} ^{пр}	2Z _{min} ^{пр}
Заготовка	150	250	210	-	-	26,632	1000	26,7	27,5	-	-
Точіння попереднє	50	50	12	-	1320	25,312	200	25,3	25,5	1,4	1,84
Точіння остаточне	30	30	10	-	224	25,04	100	25,04	25,15	0,25	0,37
Шліфування	5	15	0	-	140	24,908	52	24,908	24,960	0,145	0,17

2.10 Призначення режимів різання

Отримані результати заносимо в таблицю 2.21.

Таблиця 2.21 – Режими різання [1, 14-17]

Зміст операції або переходу	t, мм	S, мм/об	n, об/хв.	V, м/хв.
1	2	3	4	5
005 Фрезерно-центрувальна				
2. Фрезерувати торці 1, 2 однократно	1,4	0,9	400	113,04
3. Центрувати торці 1, 2	3	0,06	250	9,42
010 Токарно-гвинторізна з ЧПК				
2. Точити шийку 1 попередньо	0,9	0,6	1000	87,2
точити торець 2 попередньо	0,9	0,5	630	108,8
точити поверхню 3 попередньо	0,7	0,6	500	86,35
3. Точити канавку 4 однократно	0,5	0,2	1000	83,2

Продовження таблиці 2.21

1	2	3	4	5
4. Точити фаску 5 однократно	0,8	0,2	2000	166,42
точити шийку 1 остаточно	0,15	0,2	2000	166,42
точити торець 2 остаточно	0,3	0,2	1000	172,7
точити поверхню 3 остаточно	0,7	0,6	500	86,35
5. Точити шийку 6 попередньо	0,9	0,6	1000	87,2
точити поверхню 7 попередньо	0,7	0,6	500	86,35
точити торець 8 попередньо	1	0,5	630	108,8
6. Точити канавку 9 однократно	0,5	0,2	1000	83,2
7. Точити канавку 10 однократно	1	0,2	1000	80,07
8. Точити фаску 11 однократно	0,8	0,2	2000	160,14
точити шийку 6 остаточно	0,3	0,2	2000	160,14
точити шийку 7 остаточно	0,3	0,2	2000	166,42
Точити торець 8 остаточно	0,15	0,2	1000	172,7
015 Зубофрезерна				
Фрезерувати 8 зубів	10,25	0,53	160	45,22
020 Шліцефрезерна				
2. Фрезерувати 6 шліців	4,0	0,1 мм/зуб	600	47,1
025 Шевінгувальна				
2. Шевінгувати 8 зубів	0,2	0,1 мм/зуб	550	69
045 Круглошліфувальна				
2. Шліфувати вінець	0,1	0,1 мм/зуб	550	95
050 Круглошліфувальна				
2. Шліфувати шліцові шийки 1.	0,1	0,1 мм/хв	550	36,3
055 Торцекруглошліфувальна				
2. Шліфувати шийку 1, торець 2 однократно	0,085	1,6 мм/хв	1500	122,46
060 Торцекруглошліфувальна				
2. Шліфувати шийку 1, торець 2 однократно	0,085	1,6 мм/хв	1500	122,46
065 Зубозаокруглювальна				
2. Притупити гострі кромки по профілю евольвенти і впадин зубів з двох сторін	0,01	0,05	1000	188,4
070 Суперфінішна				
2. Суперфінішувати шийки 1, 2, 3	0,01	0,05	2000	163,3
075 Доводочна				
2. Довести 2 торці 1	0,01	0,05	1000	172,7

2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання

Оптимізація технологічних процесів і режимів різання базується на побудові математичних моделей. Під час формування таких моделей виділяють систему технічних обмежень, які найбільш повно характеризують перебіг процесу обробки, а також обирають критерій оптимальності. Набір обмежень визначається видом обробки та конкретними технологічними, конструкторськими й організаційно-виробничими умовами.

Для оптимізації режимів різання застосовано комп'ютерну програму [1].

Оптимізація режимів різання для попереднього точіння на операції 010 «Токарно-гвинторізна з ЧПК» виконана з використанням комп'ютерної програми і представлена на рис. 2.12.

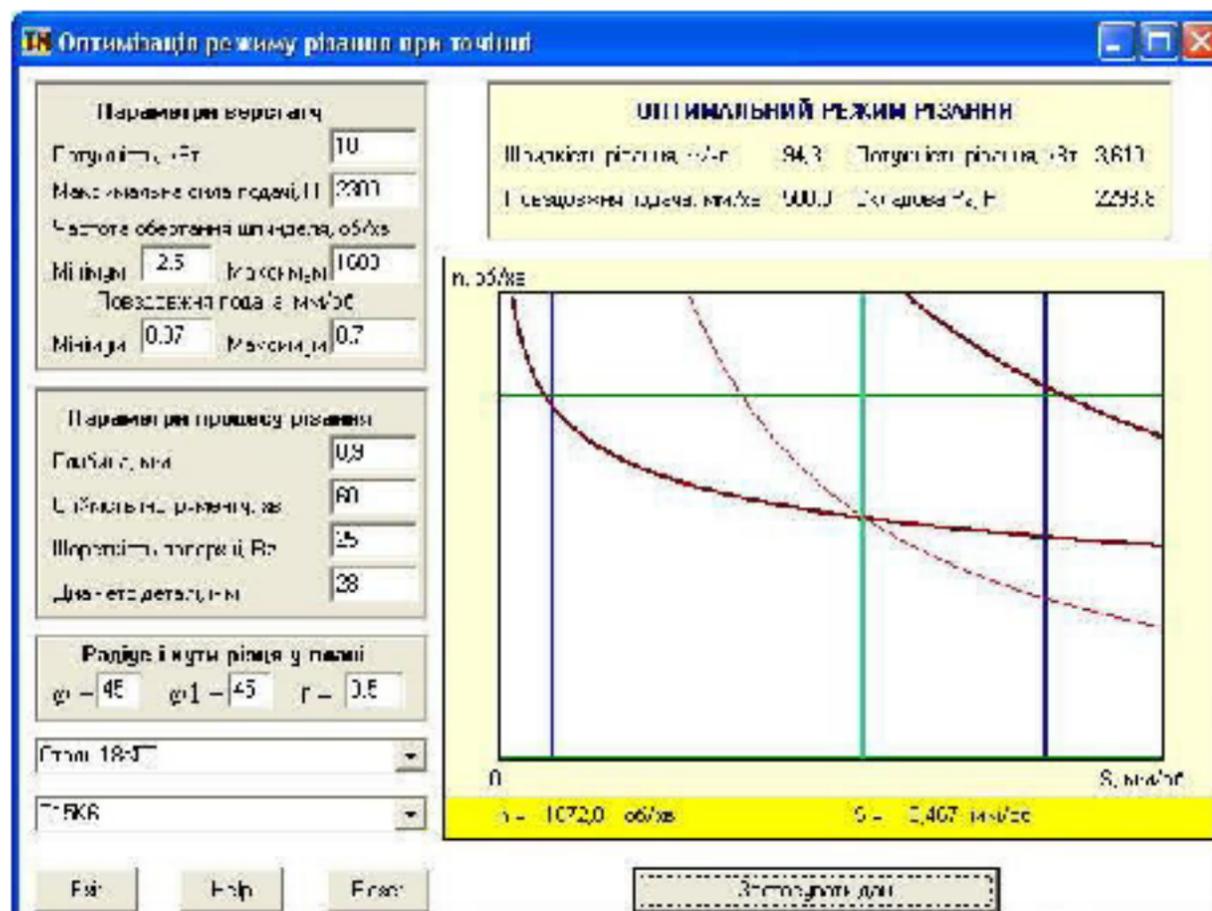


Рисунок 2.12 – Оптимізація режимів різання при точінні попередньому $\varnothing 26_{-0,095}^{-0,080}$

У результаті проведеної оптимізації режимів попереднього точіння поверхні $\varnothing 26_{-0,095}^{-0,080}$ встановлено оптимальні значення частоти обертання $n = 1072$ об/хв. та подачі $S = 0,467$ мм/об. Результати, отримані з

використанням комп'ютерної програми, мають незначні відхилення від раніше прийнятих режимів різання. Отже, застосування цих параметрів забезпечує максимальну продуктивність обробки на верстатах з ЧПК.

2.12 Визначення технічних норм часу

Виконаємо детальне нормування часу на операцію 015 шліцефрезерна [14-17].

Основний час на обробку деталі на даній операції визначається за формулою:

$$t_o = \frac{L}{S} = \frac{58}{32} = 1,81 \text{ (хв.)} \quad (2.24)$$

Штучний час:

$$T_{шт} = t_o + t_{доп} + t_{т.обс} + t_{о.обс} + t_{від} \text{ [хв.]}, \quad (2.25)$$

Визначимо допоміжний час.

Час на установку та знімання деталі, закріплення:

$$t_{доп1} = 0,07 + 0,03 + 0,02 = 0,12 \text{ (хв.)}$$

Управління кнопками “Пуск”, “Стоп”:

$$t_{доп2} = 0,02 + 0,02 = 0,04 \text{ (хв.)}$$

Холостий хід:

$$t_{доп3} = 0,08 \text{ хв.}$$

Отже, сумарний допоміжний час становить

$$t_{\text{доп}} = 0,12 + 0,04 + 0,08 = 0,24 \text{ (хв.)}$$

Оперативний час визначаємо за формулою:

$$t_{\text{оп}} = t_o + t_{\text{доп}} \text{ [хв.]}, \quad (2.26)$$

$$t_{\text{доп1}} = 1,81 + 0,24 = 2,05 \text{ (хв.)}$$

Час на технічне обслуговування складає 4% від оперативного:

$$t_{\text{т.обс}} = 2,05 \cdot 0,04 = 0,082 \text{ (хв.)}$$

Час на організаційне обслуговування складає 4,5% від оперативного:

$$t_{\text{о.обс}} = 2,05 \cdot 0,045 = 0,092 \text{ (хв.)}$$

Час на перерви та індивідуальні потреби складає 5% від оперативного:

$$t_{\text{від}} = 2,05 \cdot 0,05 = 0,103 \text{ (хв.)}$$

Час на контроль деталей перекривається основним часом.

Таким чином штучний час становить:

$$T_{\text{шт}} = 2,05 + 0,082 + 0,092 + 0,103 = 2,327 \text{ (хв.)};$$

$$t_{\text{п.з.}} = 20 \text{ хв.}$$

При партії деталей в кількості $N = 510$ шт. штучно-калькуляційний час становить:

$$T_{\text{шт-к}} = 2,327 + \frac{20}{510} = 2,377 \text{ (хв.)}$$

Для інших операцій розрахунки проводимо аналогічно. Дані розрахунків заносимо в таблицю 2.22.

Таблиця 2.22 – Технічні норми часу на операції, хв.

№ операції	Назва операції	t_o	$t_{o.обс}$	$t_{доп}$	$t_{т.обс}$	$t_{від}$	$T_{ш-к}$
005	Фрезерно-центрувальна	0,288	0,02	0,07	0,02	0,02	0,398
010	Токарна з ЧПК	0,81	0,05	0,35	0,044	0,055	1,42
015	Зубофрезерна	1,938	0,104	0,1	0,114	0,11	2,533
020	Шліцефрезерна	1,81	0,082	0,24	0,092	0,06	2,38
025	Шевінгувальна	0,8	0,04	0,08	0,03	0,06	1,11
045	Круглошліфувальна	0,177	0,03	0,06	0,04	0,03	0,437
050	Круглошліфувальна	0,45	0,04	0,06	0,04	0,04	0,73
055	Торцекруглошліфувальна	0,7	0,06	0,09	0,06	0,05	1,06
060	Торцекруглошліфувальна	0,7	0,06	0,09	0,06	0,05	1,06
065	Зубозаокруглювальна	3,78	0,02	–	0,02	0,02	3,87
070	Суперфінішна	0,2	0,03	0,06	0,03	0,02	0,37
075	Доводочна	0,06	0,02	0,08	0,02	0,02	0,12

3 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ГРУПОВОЇ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ (СЕЛЕКТИВНОГО СКЛАДАННЯ) ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШЕСТЕРЕННИХ НАСОСІВ

3.1 Постановка задачі дослідження

Шестеренний насос є одним з найпоширеніших агрегатів об'ємних гідроприводів мобільних технологічних машин (сільськогосподарських, будівельних та ін.). Конструктивна схема шестеренного насоса показана на рис. 3.1 [18].

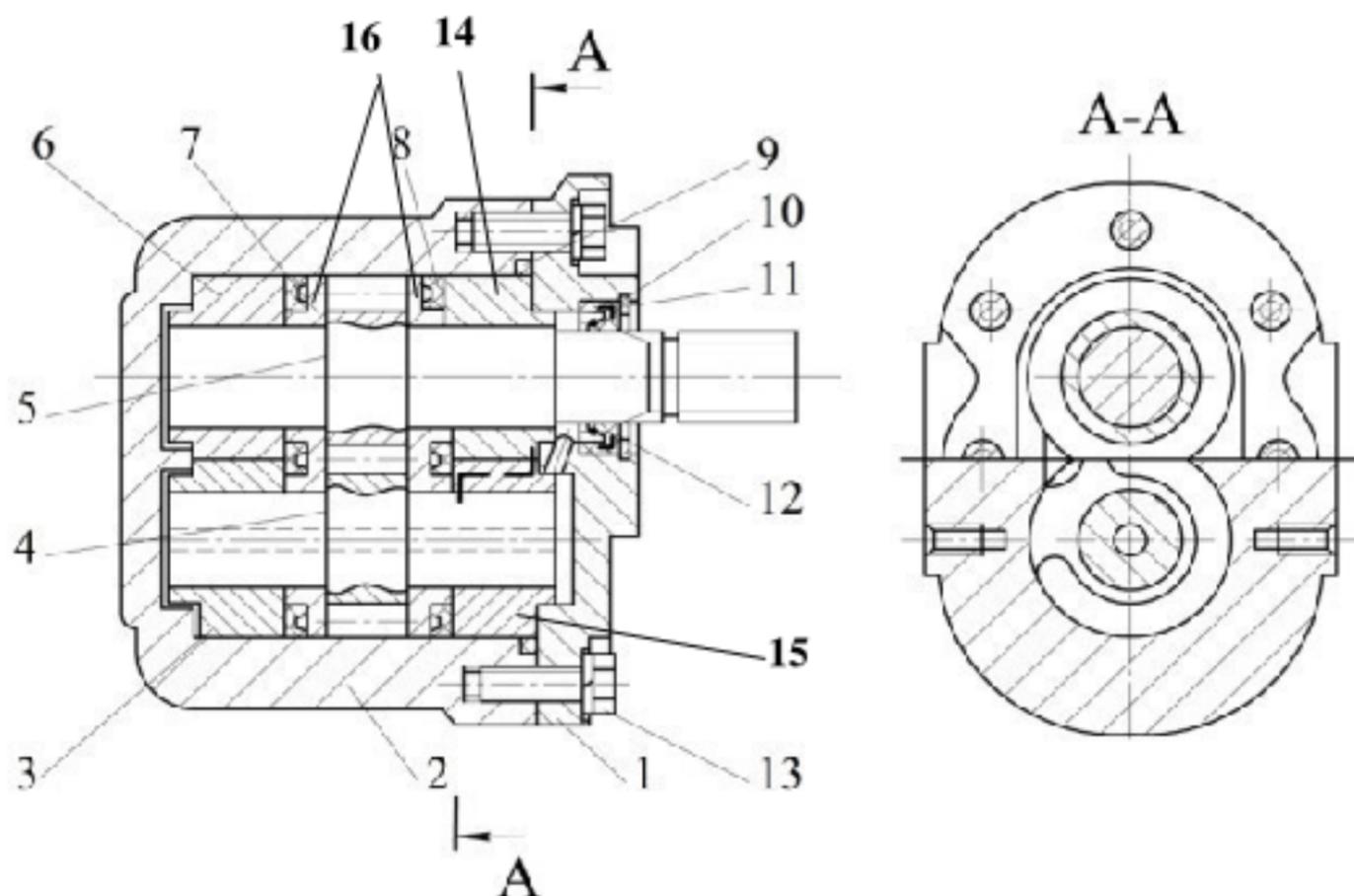


Рисунок 3.1 – Конструктивна схема шестеренного гідронасоса

Базовими деталями насоса є кришка 1 корпус 2. Роторами насоса є дві шестерні: ведена 4 і ведуча 5. Обидві шестерні за допомогою циліндричних поверхонь (цапф) розміщені в отворах чотирьох втулок 3, 6, 14 і 15. Матеріалом втулок є з антифрикційний алюмінієвий сплав. Таким чином, отвори втулок і цапфи шестерень утворюють підшипники ковзання. Між торцями втулок і

боковими сторонами (торцями) зубчастих вінців шестерень розміщені дві плоских пластини — компенсатори 16. Компенсатори також виготовляються з антифрикційного матеріалу (бронзи або алюмінієвого сплаву). Функція компенсаторів — мінімізація перетікань робочої рідини по торцях шестерень із зони високого тиску в зону всмоктування. На вирішення цієї задачі впливає величина зазору між торцями шестерень і робочими поверхнями (площинами) компенсаторів. Очевидно, що цей зазор буде мінімальним, якщо ширина зубчастих вінців обох шестерень майже не відрізнятиметься.

Згідно з вимогами ДСТУ 2192 93 «Насоси об'ємні та гідромотори» об'ємний к. к. д. (коефіцієнт подачі) нового шестеренного насоса повинен бути не меншим за 90%. Важливим фактором, який впливає на виконання цієї вимоги, є різниця між розмірами ширин зубчастих вінців ведучої й веденої шестерень. Експериментально встановлено, що ця різниця має бути в межах 0...0,005 мм. Наразі забезпечити таку точність виготовлення шестерень під час механічної обробки неможливо. Операції шліфування обох торців ведучої і веденої шестерень виконується на торцекруглошліфувальних напівавтоматах SASE AM-8201. Такий технологічний процес виготовлення шестерень забезпечує отримання розміру між торцями шестерні (розмір ширини шестерні) з допуском 0,04 мм.

Метою дослідження є встановлення особливостей застосування методу групової взаємозамінності для забезпечення нормативних параметрів шестеренного насоса.

3.2 Результати дослідження

Насос виготовляється в умовах середньосерійного виробництва.

За допомогою попередньо виконаного статистичного аналізу встановлено, що розподіл розмірів ширини зубчастого вінця партій обох шестерень підпорядковується нормальному розподілу (закону Гаусса).

Згідно з кресленням деталі номінальний розмір ширини зубчастого вінця обох шестерень складає 24 мм.

Схему розмірного ланцюга, що пов'язує розміри шестерень із зазором між торцем однієї з шестерень і компенсатором, показано на рис. 3.2.

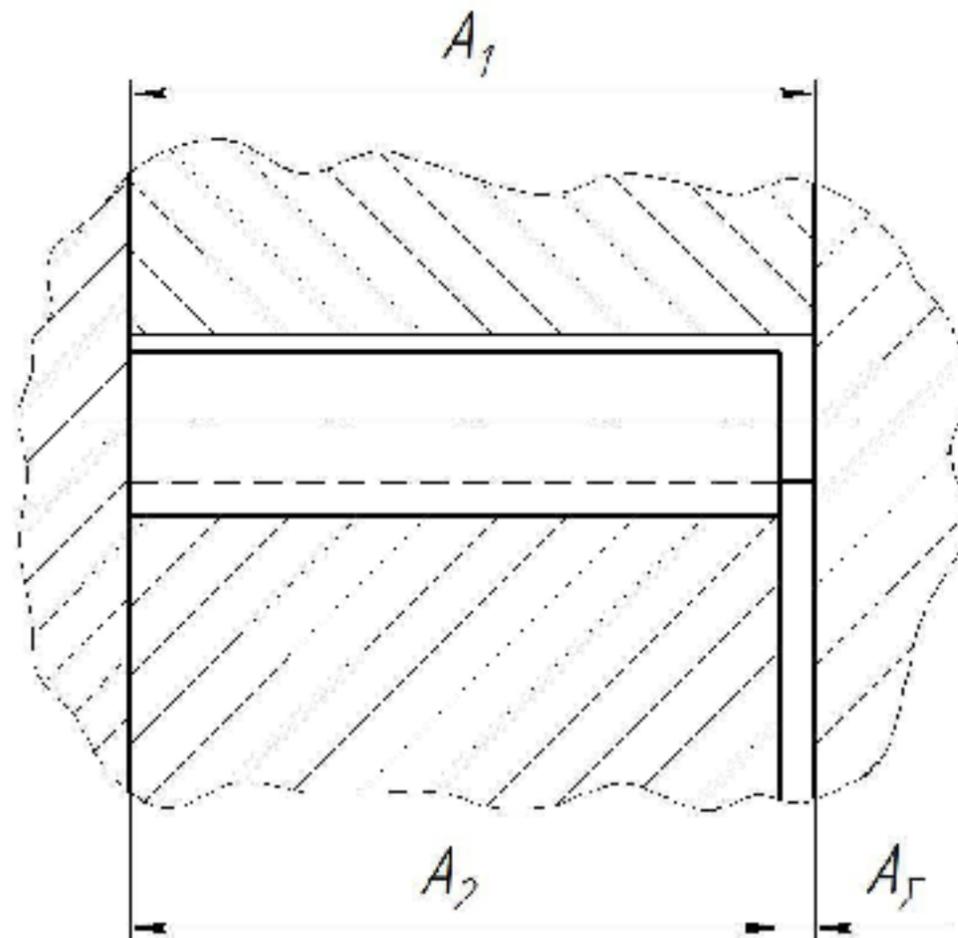


Рисунок 3.2 – Схема розмірного ланцюга, що пов'язує розміри A_1 та A_2 ширин зубчастих вінців шестерень із зазором між торцем шестерні меншої ширини і компенсатором

Згідно з викладеним у пункті 3.1, розмір ланки замикання має складати $A_3 = 0^{+0,005}$ мм. Тобто допуск ланки замикання становить 0,005 мм.

За формулою (1.44) [13] визначимо допуски складових ланок A_1 і A_2 , які б забезпечували необхідну точність ланки замикання за умови застосування методу повної взаємозамінності.

$$T(A_1) = T(A_2) = \frac{T(A_3)}{m + n} = \frac{0,005}{1 + 1} = 0,0025 \quad (\text{мм}).$$

Для номінального розміру 24 мм такий допуск відповідає 2-му квалітету точності. Очевидно, що така вимога точності є технологічно недосяжною. Тому застосуємо метод групової взаємозамінності. Припустимо, що технологічні можливості підприємства-виготовлювача дозволяють виготовити отвір гільзи і робочу поверхню плунжера за 8-м квалітетом точності. Згідно з ДСТУ ISO 286-2 для номінального розміру 24 мм допуски розмірів A_1 і A_2 становитимуть $T(D) = T(d) = 0,040$ мм.

За рекомендаціями [19, 20] призначимо кількість сортувальних груп $N_r = 8$.

Визначимо групові допуски складових ланок

$$T(A_1)_r = T(A_2)_r = \frac{T(A_1)}{N_r} = \frac{T(A_2)}{N_r} = \frac{40}{8} = 5 \text{ (мкм)}.$$

Прийmemo, що середній відхил ланки замикання A_{Σ} у всіх групах має становити $+0,0025$ мм. Тобто

$$\Delta_{e_{\Sigma_1}} = \dots = \Delta_{e_{\Sigma_8}} = +0,0025 \text{ мм}.$$

Вважатимемо, що розташування поля допуску в обох шестернях відповідає системі вала, тобто найбільші граничні розміри ширин обох шестерень збігається з номінальними розмірами.

Отже, технологічний розмір ширини шестерні після останнього переходу механічної обробки має становити $24_{(-0,040)}$ мм. Цей же розмір має бути вказаний і в креслениках обох шестерень як конструкторський.

Як першу виберемо групу, у якій граничні розміри є найбільшими серед усіх груп. З урахуванням цього побудуємо схему розташування полів допусків розмірів ширин шестерень з позначеннями номерів груп (рис. 3.3). За допомогою цієї схеми встановлені граничні розміри усіх восьми груп (таблиця 3.1) [21].

Таблиця 3.1 – Групові розміри

№ сортувальної групи	1	2	3	4
Розміри ширини зубчастого вінця шестерень, мм	$24_{(-0,005)}$	$24_{\begin{matrix} -0,005 \\ -0,01 \end{matrix}}$	$24_{\begin{matrix} -0,01 \\ -0,015 \end{matrix}}$	$24_{\begin{matrix} -0,015 \\ -0,02 \end{matrix}}$
№ сортувальної групи	5	6	7	8
Розміри ширини зубчастого вінця шестерень, мм	$24_{\begin{matrix} -0,02 \\ -0,025 \end{matrix}}$	$24_{\begin{matrix} -0,025 \\ -0,03 \end{matrix}}$	$24_{\begin{matrix} -0,03 \\ -0,035 \end{matrix}}$	$24_{\begin{matrix} -0,035 \\ -0,04 \end{matrix}}$

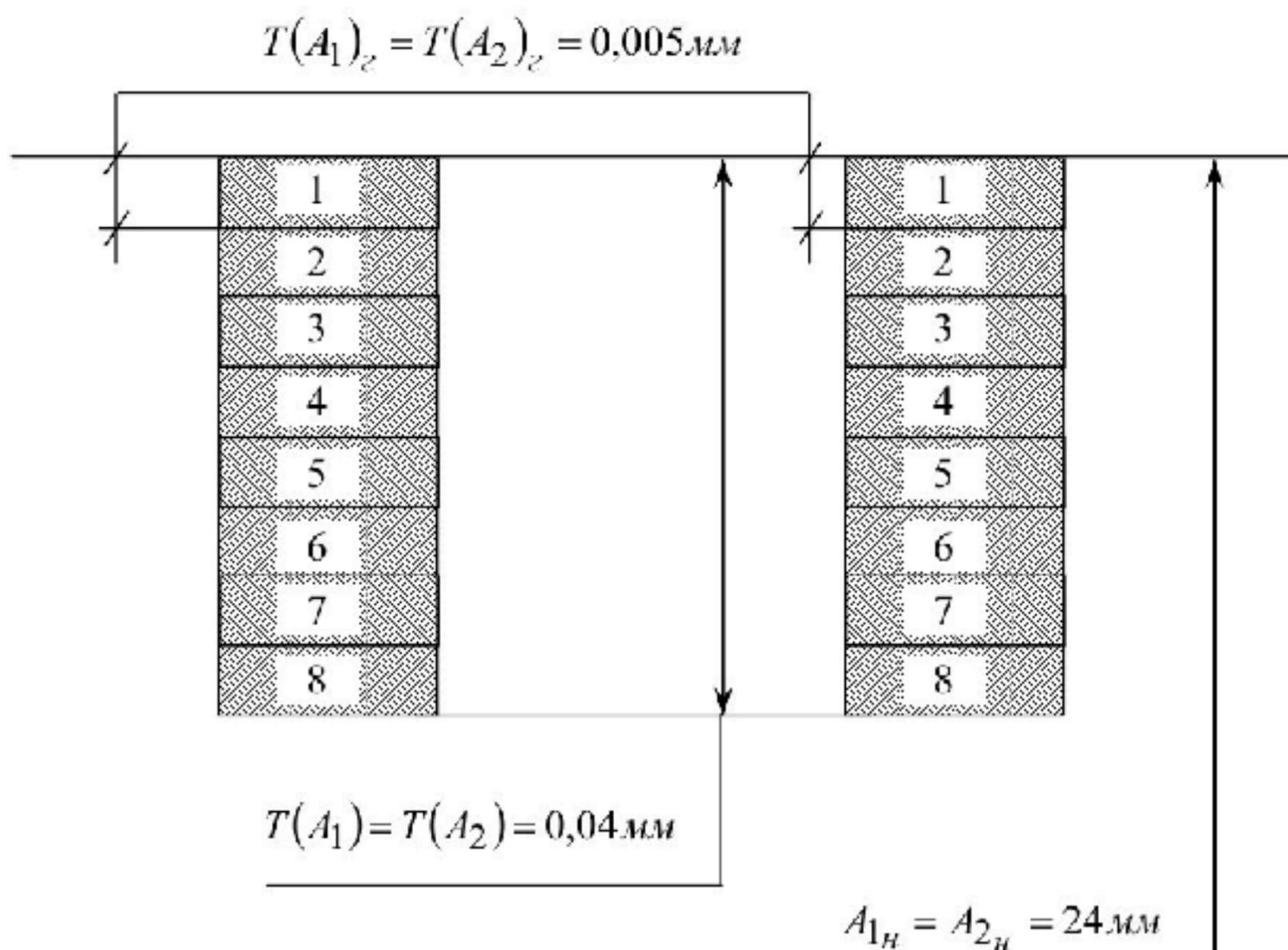


Рисунок 3.3 – Схема розташування полів допусків розмірів ширин шестерень з позначеннями номерів груп

3.3 Висновки

1. В результаті дослідження визначено:

- допуски складових ланок (розміри ширин зубчастих вінців шестерень);
- кількість сортувальних груп;
- верхні і нижні відхилення розмірів деталей у кожній із сортувальних груп.
- конструкторські розміри і допуски шестерень.

2. Для мінімізації обсягів незавершеного виробництва слід під час налагодження торцекруглошліфувальних напівавтоматів забезпечувати якомога близькі за формою криві розподілу розмірів ширини зубчастих вінців ведучої і веденої шестерень.

4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ 32-3.005»

4.1 Розрахунок приведеної програми

В даному випадку виробнича програма включає декілька виробів типу «Вал-шестерня 32-3.005». Технологічні процеси на їх виготовлення дуже подібні, однак виконати детальну розробку кожного з них надто складно. Для спрощення та автоматизації виконання розрахунків слід визначити приведену програму. Для цього визначають коефіцієнти приведення, які визначають співвідношення трудомісткості розрахункового представника та кожної з деталей даної групи.

Загальний коефіцієнт приведення [3, 22]:

$$K_{np} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (4.1)$$

де K_1 – коефіцієнт приведення по масі;

K_2 – коефіцієнт приведення по серійності;

K_3 – коефіцієнт приведення по складності.

Коефіцієнт приведення по масі визначається за формулою:

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

де m_i – маса i -ї деталі;

m_{np} – маса деталі-представника.

Коефіцієнт приведення по серійності визначається за формулою:

$$K_2 = (N_{np} / N_i)^{0.15}, \quad (4.3)$$

де N_{np} – програма випуску деталі-представника;

N_i – програма випуску i -ї деталі.

Коефіцієнт приведення по складності

$$K_3 = \left(\frac{K_{Ti}}{K_{Tm}} \right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{R_{ai}}{R_{am}} \right)^{\alpha_2}, \quad (4.4)$$

де K_{Ti} – середній квалітет середньої деталі;

K_{Tm} – квалітет представника;

R_{ai} – середня шорсткість середньої деталі;

R_{am} – шорсткість представника;

α_1 ; α_2 – відповідні коефіцієнти.

Тоді приведена програма випуску буде визначатися з виразу [3, 22]:

$$N_{sp} = \sum_{i=1}^n K_i \cdot N_i \text{ [шт.]}, \quad (4.5)$$

Результати розрахунків приведеної програми заносимо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Приведена програма випуску деталей

Номер виробу	Річний випуск, шт.	Маса одного виробу, кг	Коефіцієнти приведення				Приведена програма, шт.
			K_1	K_2	K_3	$K_{пр}$	
Вал-шестерня 32-3.005	20000	0,78	1	1	1	1	20000
1	18000	0,80	1,017	1,016	0,96	0,992	17855
2	8000	0,68	0,904	1,147	1,03	1,068	8544
3	16000	0,82	1,034	1,034	0,92	0,984	15738
4	9000	0,69	0,922	1,127	1,17	1,215	10939
5	14000	0,72	0,948	1,055	1,1	1,1	15403
6	15200	0,94	1,132	1,042	1,04	1,227	18655
7	19600	0,78	1	1,003	1,04	1,043	20446
Всього							127580

Отже, з урахування подібних виробів для обробки приведена програма складає 127580 шт.

4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

Необхідна розрахункова кількість одиниць обладнання на кожній операції визначається за формулою [3, 22]:

$$C_p = \frac{T_{шт-к} \cdot N}{60 \cdot \Phi_d} \text{ [шт.]}, \quad (4.6)$$

де $T_{шт-к}$ – штучно-калькуляційний час, хв.; N – приведена програма випуску, шт.; Φ_d – дійсний фонд часу роботи верстата, год.

Коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_3 = \frac{C_p}{C_{пр}}, \quad (4.7)$$

де C_p , $C_{пр}$ – розрахункова та прийнята відповідно кількість верстатів.

Коефіцієнт використання обладнання за основним часом визначається для кожного верстату по формулі для серійного виробництва:

$$\eta_o = \frac{T_o}{T_{шт-к}}. \quad (4.8)$$

де T_o – основний час операції;

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

Результати розрахунків заносимо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунків по визначенню коефіцієнтів завантаження

Назва операції	$T_{\text{оп-к}}$, хв.	$\Phi_{\text{о}}$, год.	C_p	C_{np}	η_z	η_o
1	2	3	4	5	6	7
Центрувальна	0,398	4060	0,374	1	0,374	0,724
Токарна з ЧПК	1,42	3890	0,893	1	0,893	0,57
Зубофрезерна	2,533	4060	1,563	2	0,782	0,812
Шліцефрезерна	2,3	4060	1,493	2	0,746	0,794
Шевінгувальна	1,11	4060	0,581	1	0,581	0,889
Круглошліфувальна	0,437	4060	0,287	1	0,287	0,405
Круглошліфувальна	0,73	4060	0,479	1	0,479	0,616
Торцешліфувальна	1,06	4060	0,695	1	0,695	0,66
Торцешліфувальна	1,06	4060	0,695	1	0,695	0,66
Зубозаокруглювальна	3,87	4060	0,179	1	0,179	0,841
Суперфінішна	0,37	4060	0,198	1	0,198	0,541
Доводочна	0,12	4060	0,07	1	0,07	0,5

Середнє значення фактичного коефіцієнта завантаження:

$$\eta_z = (0,374+0,893+0,782+0,746+0,581+0,287+0,479+0,695+0,695+0,179+0,198+0,07)/12 = 0,506.$$

Середнє значення коефіцієнта завантаження за основним часом:

$$\eta_o = (0,724+0,57+0,812+0,794+0,889+0,7+0,616+0,66+0,66+0,841+0,541+0,5)/12 = 0,708.$$

4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

На основі виконаних розрахунків побудуємо діаграми коефіцієнтів завантаження обладнання.

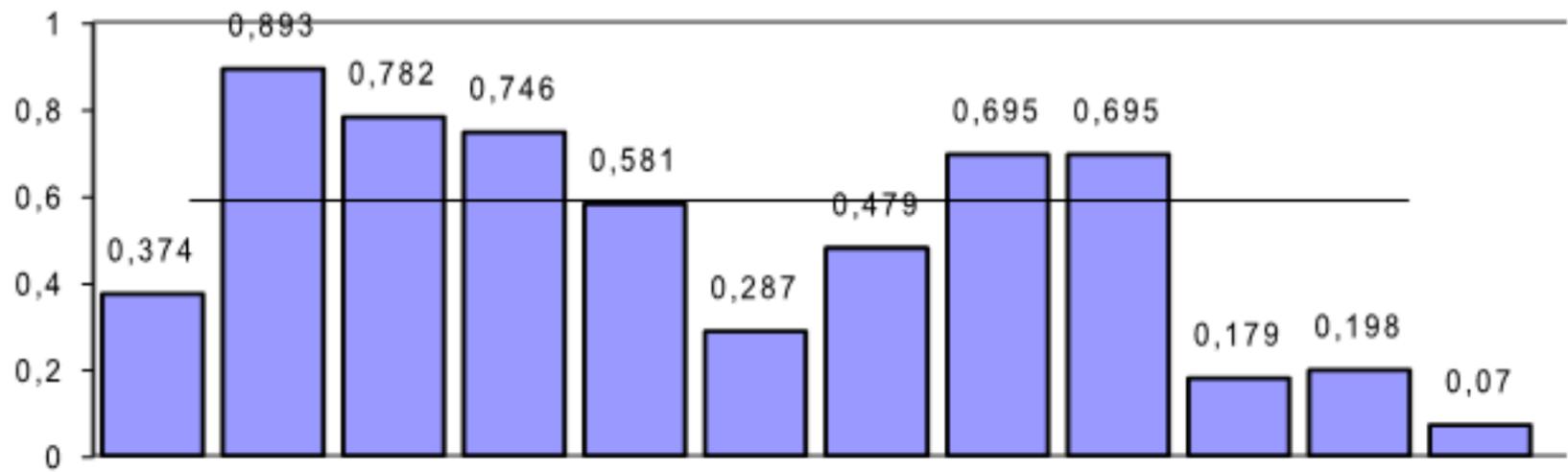


Рисунок 4.1 – Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання

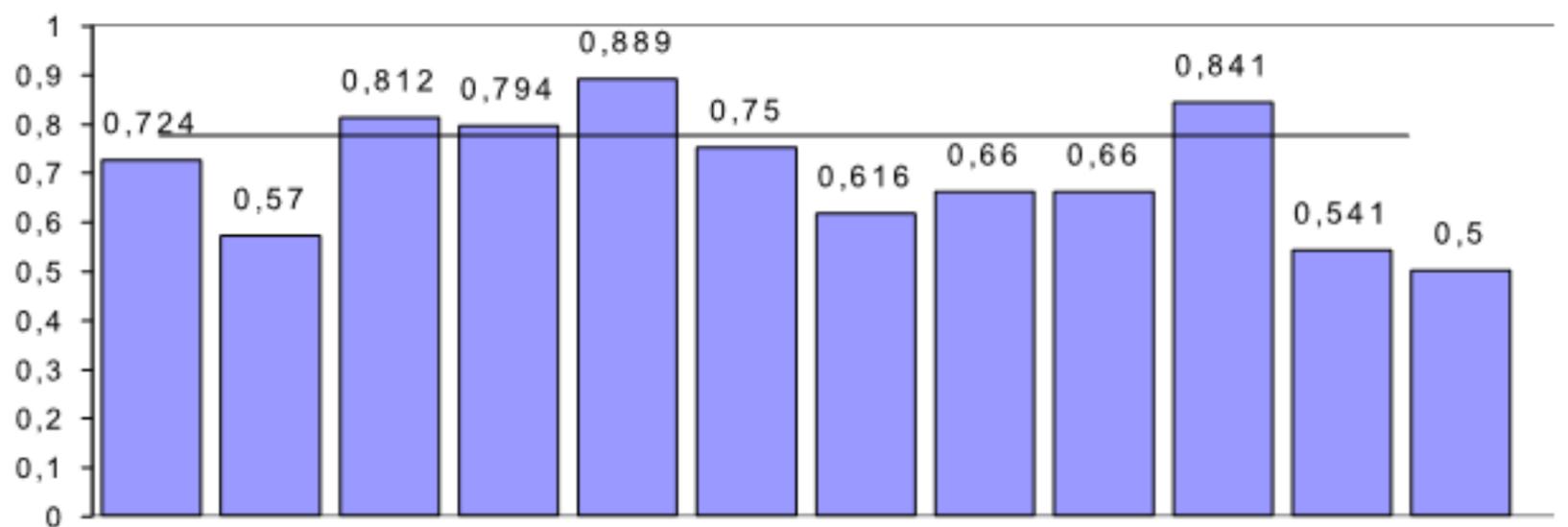


Рисунок 4.2 – Коефіцієнт завантаження обладнання за основним часом

Висновок. Таким чином, середній коефіцієнт завантаження ділянки нижчий за нормативний, тому потрібно додатково завантажити верстати обробкою інших деталей, особливо потребують додаткового завантаження верстати шліфувальної групи.

Коефіцієнт використання за основним є досить високий, що свідчить про правильність розробленого технологічного процесу, більша частина штучно-калькуляційного часу використовується на процес різання.

4.4 Розрахунок кількості працівників на ділянці

Кількість робочих, які працюють на верстатах визначається за формулою [3, 22]:

$$P_i = \frac{\Phi_o \cdot C_{np} \cdot \eta_z \cdot \eta_o}{\Phi_a \cdot K_u}, \quad (4.9)$$

де C_{np} – прийнята кількість верстатів, шт.;

Φ_o – ефективний річний фонд роботи верстатника, $\Phi_o = 1840$ год.;

Φ_a – ефективний фонд роботи верстата, $\Phi_a = 3890$ год. (для верстатів з ЧПК), $\Phi_a = 4060$ год. (для верстатів універсальних);

K_u – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування, $K_u = 1,0 \dots 2,2$.

Так кількість верстатників на операції 005 складає:

$$P_{005} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,374 \cdot 0,724}{1840 \cdot 1} = 0,44 .$$

Приймаємо 1 верстатника.

Кількість верстатників на операції 010 складає:

$$P_{010} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,893 \cdot 0,57}{1840 \cdot 1} = 1,08 .$$

Приймаємо 1 верстатника.

Кількість верстатників на операції 015 складає:

$$P_{015} = \frac{2 \cdot 4060 \cdot 0,782 \cdot 0,812}{1840 \cdot 1} = 2,8 .$$

Приймаємо 3 верстатника.

Кількість верстатників на операції 020 складає:

$$P_{020} = \frac{2 \cdot 4060 \cdot 0,746 \cdot 0,794}{1840 \cdot 1} = 2,6 .$$

Приймаємо 3 верстатника.

Кількість верстатників на операції 025 складає:

$$P_{025} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,581 \cdot 0,883}{1840 \cdot 1} = 1,14 .$$

Приймаємо 2 верстатника.

Кількість верстатників на операції 030 складає:

$$P_{030} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,287 \cdot 0,405}{1840 \cdot 1} = 0,26 .$$

Приймаємо 1 верстатника.

Кількість верстатників на операції 035 складає:

$$P_{035} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,479 \cdot 0,616}{1840 \cdot 1} = 0,65 .$$

Приймаємо 1 верстатника.

Кількість верстатників на операції 040 складає:

$$P_{040} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,695 \cdot 0,66}{1840 \cdot 1} = 1,01 .$$

Приймаємо 2 верстатника.

Кількість верстатників на операції 045 складає:

$$P_{045} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,695 \cdot 0,66}{1840 \cdot 1} = 1,01 .$$

Приймаємо 2 верстатника.

Кількість верстатників на операції 050 складає:

$$P_{050} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,179 \cdot 0,841}{1840 \cdot 1} = 0,33 .$$

Приймаємо 1 верстатника.

Кількість верстатників на операції 055 складає:

$$P_{055} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,198 \cdot 0,541}{1840 \cdot 1} = 0,24 .$$

Приймаємо 1 верстатника.

Кількість верстатників на операції 060 складає:

$$P_{060} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,07 \cdot 0,5}{1840 \cdot 1} = 0,08 .$$

Приймаємо 1 верстатника.

Практично на всіх операціях технологічного процесу робітники не завантажені обробкою даних деталей і тому їм потрібно доповнювати роботу обробкою інших деталей.

Всього на дільниці прийнято 19 робітників. Із них в другу зміну виходять лише робітники на операціях 010-025. На всіх інших верстатах в другу зміну будуть виконуватися інші роботи.

Число допоміжних робочих:

$$P_{\text{доп}} = (0,20 \dots 0,25) \cdot 19 = 3,8 \dots 4,75.$$

Приймаємо 4 допоміжних робітника.

Розраховуємо кількість інженерно-технічних робітників (ІТР):

$$P_{\text{ІТР}} = (0,16...0,22) \cdot 14 = 2,24...3,08.$$

Приймаємо 3 ІТР.

Розраховуємо кількість службово-контторського персоналу:

$$P_{\text{С}} = (0,009...0,019) \cdot 19 = 0,171...0,361.$$

Приймаємо 1 службовця.

Розраховуємо кількість молодшого обслуговуючого персоналу (МОП):

$$P_{\text{МОП}} = (0,001...0,002) \cdot 27 = 0,27...0,54.$$

Приймаємо 1 працівника.

Службово-контторський та молодший обслуговуючий персонал не завантажені роботою на даній ділянці і тому мають обслуговувати інші ділянці.

Отримані дані занесемо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Відомість складу працюючих ділянці, чол.

Категорії працюючих	Спосіб визначення	Розрахункова кількість	Прийнята кількість, чол.
Основні робітники-верстатники	розрахунок	19	19
Допоміжні робітники	20...25%	3,8...4,75	4
ІТР	16...22%	2,24...3,08	3
СКП	0,9...1,9%	0,171...0,361	1
МОП	1...2%	0,27...0,54	1

**5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ
ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ 32-3.005»**

5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки

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

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

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

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

Продовження таблиці 5.1

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

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

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Експерти		
	Експерт № 1	Експерт № 2	Експерт № 3
	Бали, виставлені експертами:		
1	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:

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

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

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

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.	18	14	1,29	0,4
Кількість основних робітників, чол.	23	19	1,21	0,3
Середній розряд робітників	4	3,5	1,14	0,15
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,40	0,506	1,265	0,15
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом	0,46	0,708	1,54	0,15
Собівартість заготовки, грн.	57,44	54,3	-	-

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

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

або

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

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

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

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

$$K_{н.н.} = 1,29 \cdot 0,4 + 1,21 \cdot 0,3 + 1,14 \cdot 0,15 + 1,265 \cdot 0,15 + 1,54 \cdot 0,15 = 1,47.$$

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

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

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

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

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

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

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

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

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

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

Оскільки індекс технічних параметрів дорівнює відносному рівню якості нашого інноваційного продукту, то він буде рівним 1,47. За формулою (5.6) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I_{е.п.} = \frac{57,44}{54,3} = 1,06 .$$

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

$$K = \frac{1,47}{1,06} = 1,39 .$$

Оскільки $K > 1$, то запропонована нова технологія виготовлення деталі «Вал-шестерня 32-3.005» є більш доцільнішою і конкурентноспроможною, ніж базова.

5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005»

5.2.1 Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу

Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу K , складаються з відповідних витрат і розраховують за такою формулою [23]:

$$K = Z_o + Z_{дод} + Z_n + B_{буд} + B_{обл} + B_{тпр} + B_{осн} + B_{інв} + B_{пу} + B_{ме} + B_{ос} \text{ [грн.]}, \quad (5.7)$$

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.;

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

Z_n – нарахування на заробітну плату розробників, грн.;

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

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

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

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

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

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

$B_{ме}$ – передвиробничі витрати, грн.; $B_{ос}$ – вартість оборотних засобів, грн.

5.2.2 Основна заробітна плата розробників

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

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

де k – кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

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

t_i – число днів роботи конкретного розробника, грн.;

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

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату розробників

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

5.2.3 Додаткова заробітна плата розробників

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

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

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

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

5.2.4 Єдиний страховий внесок розробників (ЄСВ)

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

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

де H_m – норма нарахування на заробітну плату розробників.

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

5.2.5 Вартість будівлі, що її займає ділянка

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

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

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

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

$$B_{\text{буд.}} = 1000 \cdot 307 = 307000 \text{ (грн.)}$$

5.2.6 Початкова вартість технологічного обладнання

Балансову вартість нового обладнання розраховуємо за формулою:

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

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

$C_{\text{пр.}i}$ – прийнята кількість одиниць обладнання відповідного найменування, які встановлені на ділянці, 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	Фрезерно-центрувальний верстат МР76М	350000	1	1,1	385000
2	Токарний верстат з ЧПК 16К20Ф3	400000	1	1,1	440000
3	Торцекруглошліфувальний верстат SASE AM-8201	500000	1	1,1	550000
4	Шліфувальний верстат НОШ-225	300000	1	1,1	330000
Всього					1705000

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 1Б240П-6 по ціні 150000 грн.: $2 \cdot 150000 = 300000$ (грн.);
- 2 верстати 1К62 по ціні 50000 грн.: $2 \cdot 50000 = 100000$ (грн.);
- 1 верстат 1А616 по ціні 50000 грн.;
- 1 верстат 5122 по ціні 60000 грн.;
- 1 верстат НО-1785-1 по ціні 40000 грн.;
- 2 верстати 3Б12 по ціні 50000 грн.: $2 \cdot 50000 = 100000$ (грн.)

Всього реалізовано верстатів на 650000 грн.

Отже, витрати на обладнання

$$B_{\text{обл}} = 1705000 - 650000 = 1055000 \text{ (грн.)}$$

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;

$$B_{\text{мо}} = 1055000 \cdot 0,10 = 105500 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{\text{осн}} = 105500 \cdot 0,25 = 26375 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{\text{км}} = 0,1 \cdot 105500 = 10550 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{осн} = 105500 + 26375 + 10550 = 142425 \text{ (грн.)}$$

5.2.9 Вартість виробничого та господарчого інвентарю

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

5.2.10 Вартість програм керування

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

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

$$B_{пр} = 0,1 \cdot 1055000 = 105500 \text{ (грн.)}$$

5.2.11 Величина передвиробничих витрат

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

5.2.12 Величина оборотних засобів

Оборотні засоби – це сукупність оборотних фондів виробництва і фондів обігу, що беруть участь у виробничому процесі. В існуючому виробничому

процесі вони є в наявності і тому при удосконаленні окремих операцій технологічного процесу дільниці вони можуть не враховуватися.

Отже, величина капітальних вкладень на удосконалення технологічного процесу складе:

$$K = 31454,46 + 3145,45 + 7611,98 + 307000 + 1055000 + 142425 + 105500 = \\ = 1652136,89 \text{ (грн.)}$$

5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції

5.3.1 Сировина та матеріали

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

Вартість витрат на матеріал заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005» складає 54,3 грн. (див. розділ 2).

5.3.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховують за формулою:

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

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

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

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, $C_e = 10,5$ грн.;

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

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

Проведені розрахунки зведено до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на електроенергію

Найменування операції, верстат	Встановлена потужність, кВт	Тривалість обробки, год.	Сума, грн.
005 Фрезерно-центрувальна, МР76М	6,6	0,0048	0,33
010 Токарна з ЧПК, 16К20Ф3	10,0	0,0135	1,42
015 Зубофрезерна, 5В312	7,5	0,0323	2,54
020 Шліцефрезерна, 5К301ПС	2,2	0,0302	0,7
025 Шевінгувальна, АБС-038-1771	4,0	0,0133	0,56
045 Круглошліфувальна, 3А151	7,5	0,003	0,24
050 Круглошліфувальна, 3М151В	10,0	0,0075	0,79
055 Торцекруглошліфувальна, SASE АМ-8201	7,5	0,012	0,95
060 Торцекруглошліфувальна, SASE АМ-8201	7,5	0,012	0,95
065 Зубозаокруглювальна, НОШ-161	5,2	0,063	3,44
070 Суперфінішна, 3879БН19	5,0	0,0033	0,17
075 Доводочна, НОШ-225	5,5	0,001	0,06
Всього			Σ 12,15

5.3.3 Основна заробітна плата робітників

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

t_{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.
1	2	3	4	5	6
005 Фрезерно-центрувальна, МР76М	0,066	3	1,35	92,05	6,08
010 Токарна з ЧПК, 16К20Ф3	0,024	3	1,35	92,05	2,21
015 Зубофрезерна, 5В312	0,042	4	1,5	102,27	4,3
020 Шліцефрезерна, 5К301ПС	0,04	4	1,5	102,27	4,09

Продовження таблиці 5.8

1	2	3	4	5	6
025 Шевінгувальна, АБС-038-1771	0,0185	4	1,5	102,27	1,89
045 Кругло-шліфувальна, 3А151	0,007	4	1,5	102,27	0,72
050 Кругло-шліфувальна, 3М151В	0,012	4	1,5	102,27	1,23
055 Торцекругло-шліфувальна, SASE АМ-8201	0,018	4	1,5	102,27	1,84
060 Торцекругло-шліфувальна, SASE АМ-8201	0,018	4	1,5	102,27	1,84
065 Зубозаокруглювальна, НОШ-161	0,0645	4	1,5	102,27	6,6
070 Суперфінішна, 3879БН19	0,006	4	1,5	102,27	0,61
075 Доводочна, НОШ-225	0,002	4	1,5	102,27	0,21
Всього					Σ 31,62

5.3.4 Додаткова заробітна плата робітників

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

$$z_{\text{доп}} = H_{\text{доп}} \cdot z_p \text{ [грн.]}, \quad (5.21)$$

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

$$z_{\text{доп}} = 0,1 \cdot 31,62 = 3,16 \text{ (грн.)}$$

5.3.5 Єдиний страховий внесок робітників (ЄСВ)

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

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

де H_m – норма нарахування на заробітну плату робітників.

$$z_n = (31,62 + 3,16) \cdot 0,22 = 7,65 \text{ (грн.)}$$

5.3.6 Розрахунок загальновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

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

$$B_{вир} = 2,5 \cdot 31,62 = 79,05 \text{ (грн.)}$$

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	54,3	
Витрати на силову електроенергію, грн.	B_e	12,15	
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	z_p	31,62	
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	$z_{доп}$	3,16	
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	z_n	7,65	
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{вир}$	79,05	
Всього	S_n	187,93	

5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу

5.4.1 Нижня межа ціни

Ціна реалізації виробу розраховується за формулою:

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

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

S_e – виробнича собівартість виробу, грн.;

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

w – ставка податку на додану вартість, за станом на 01.01.2025 року, $w = 20\%$.

Необхідність врахування податку на додану вартість виникає у зв'язку з тим, що коли буде встановлюватись верхня межа ціни, а потім договірна ціна, то ціна базового виробу зазвичай містить цей податок.

$$C_{\text{нир}} = 187,93 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 270,62 \text{ (грн.)}$$

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 $C_{\text{вир}} = 270,62$ грн.

5.5 Розрахунок величини чистого прибутку

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

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

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

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

$S_{в}$ – 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, $q = 5...10\%$;

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

$$\begin{aligned} П &= \left\{ \left[270,62 - \frac{(270,62 - 54,3) \cdot 16,67}{100} - 187,93 - \frac{10 \cdot 187,93}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 127580 = \\ &= 456517,88 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{456517,88}{(1+0,2)^1} + \frac{456517,88}{(1+0,2)^2} + \frac{456517,88}{(1+0,2)^3} + \frac{456517,88}{(1+0,2)^4} - 1652136,89 = \\ &= 470333,27 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

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.

$$IRR_{min} = \sqrt[4]{\frac{456517,88 + 456517,88 + 456517,88 + 456517,88}{1652136,89}} - 1 = 0,03 .$$

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.

$$T_o = \frac{1652136,89}{456517,88} = 3,62 \text{ (року)}.$$

5.7 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005», 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 1652136,89 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 456517,88 грн., термін окупності 3,62 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005» доцільне для впровадження.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес та дільницю механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005» з урахуванням сучасних досягнень, передових технологій та нових методів обробки подібних заготовок, що забезпечує необхідну якість та знижує вартість продукції.

Під час виконання роботи:

- проведено огляд технології виготовлення деталі типу «Вал-шестерня»;
- виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки;
- розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005» з використанням в основному верстатів з ЧПК та вибір кращого з них за мінімумом приведених витрат;
- проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки;
- визначено режими різання та норми часу;
- проведені дослідження з аналізу особливостей застосування методу групової взаємозамінності (селективного складання) для забезпечення нормативних параметрів шестеренних насосів показали, що шляхом обґрунтованого призначення допусків складових ланок, визначення кількості сортувальних груп та меж відхилень розмірів зубчастих вінців шестерень, а також узгодження форм кривих розподілу їхніх розмірів під час налагодження торцекруглошліфувальних напівавтоматів, можна зменшити обсяги незавершеного виробництва і підвищити ефективність та якість процесу складання насосів;
- розраховано кількість обладнання та працівників, удосконалено дільницю механічної обробки.

В економічній частині МКР розраховані капітальні вкладення, собівартість удосконалення технологічного процесу та дільниці механічної

обробки, термін окупності та економічний ефект, одержаний в результаті удосконалення ділянки механічної обробки.

В МКР також розглянуто умови праці на ділянці механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005», розроблено заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

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

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. Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Савуляк В. В., Сердюк О. В. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2016. 148 с.
4. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Репінський С. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : практикум. Вінниця: ВНТУ, 2017. 106 с.
5. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Сухоруков С. І. Основи технології машинобудування. Частина 2 : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2015. 116 с.
6. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013. 125 с.
7. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. К. : Вища школа, 1993. 414 с.
8. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування. К. : ІСДО, 1996. 300 с.
9. 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.

10. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів : Світоч, 1996. 348 с.
11. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М., Пуховський Є. С. Проектування і виробництво заготовок : підручник. К. : НТУУ «КПІ», 2014. 353 с.
12. 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.
13. Дерібо О. В., Репінський С. В. Розмірно-точнісне моделювання конструкцій та технологічних процесів: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс]. Вінниця : ВНТУ, 2024. 105 с. Режим доступу : <https://iq.vntu.edu.ua/repository/card.php?lang=uk&id=8184>.
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. Булига Ю. В., Веселовська Н. Р., Міськов В. П. Теорія різання. Розрахунок режимів різання : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2019. 67 с.
16. 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.
17. Веселовська Н. Р., Іскович-Лотоцький Р. Д., Ковальова І. М. Теорія різання та інструмент : навчальний посібник. Вінниця, 2018. 297 с.
18. Буренніков Ю. А., Немировський І. А., Козлов Л. Г. Гідравліка, гідро- та пневмоприволи : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 273 с.
19. Рудь В. Д., Герасимчук О. О., Маркова Т. П. Розмірно-точнісний аналіз конструкцій та технологій. Луцьк : ЛДТУ, 2008. 344 с.

20. Бондаренко С. Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва : Навч. посібник. К. : ІСДО, 1993. 544 с.

21. Дерібо О. В., Левіщенко А. П. Аналіз особливостей застосування методу групової взаємозамінності (селективного складання) для забезпечення нормативних параметрів шестеренних насосів. Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)», м. Вінниця, ВНТУ, 26 червня 2026 р. Електрон. текст. дані. – 2026.

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

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

ДОДАТКИ

Додаток А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня 32-3.005»

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

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

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КП1) 22,43 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

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

Експертна комісія:

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

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

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____
(підпис)

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

Здобувач _____
(підпис)

Левіщенко А. П.
(прізвище, ініціали)

Додаток Б
(обов'язковий)

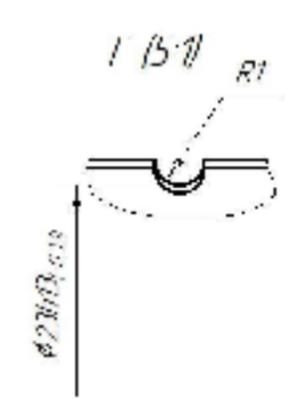
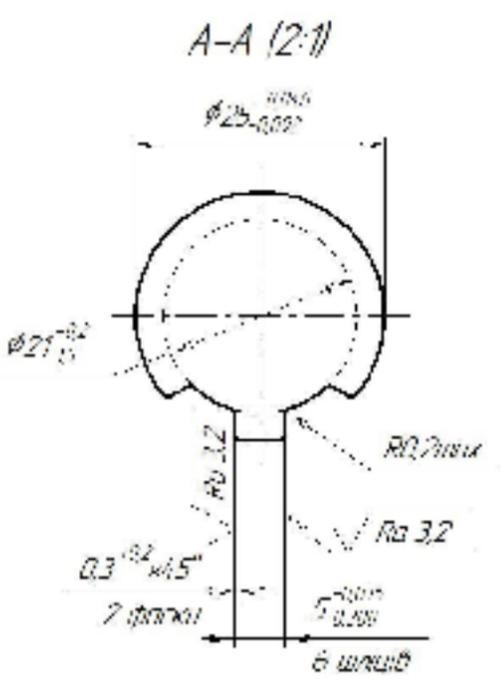
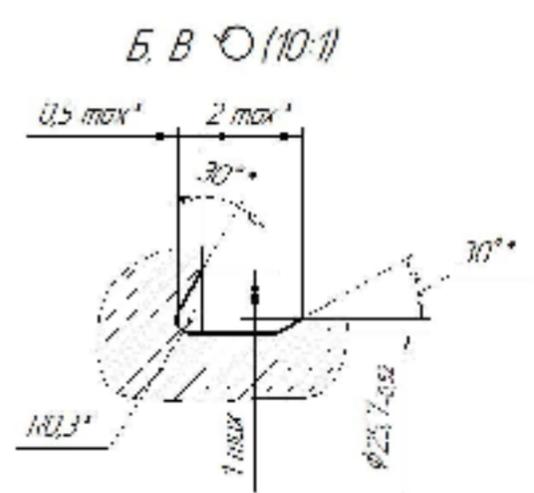
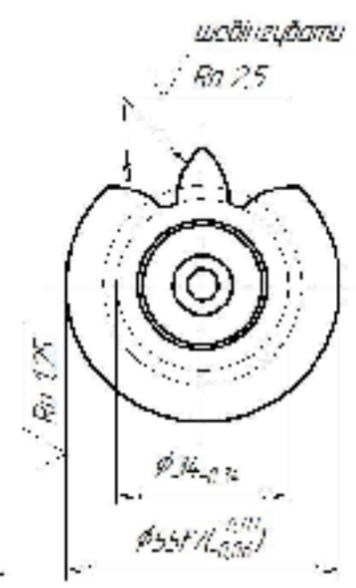
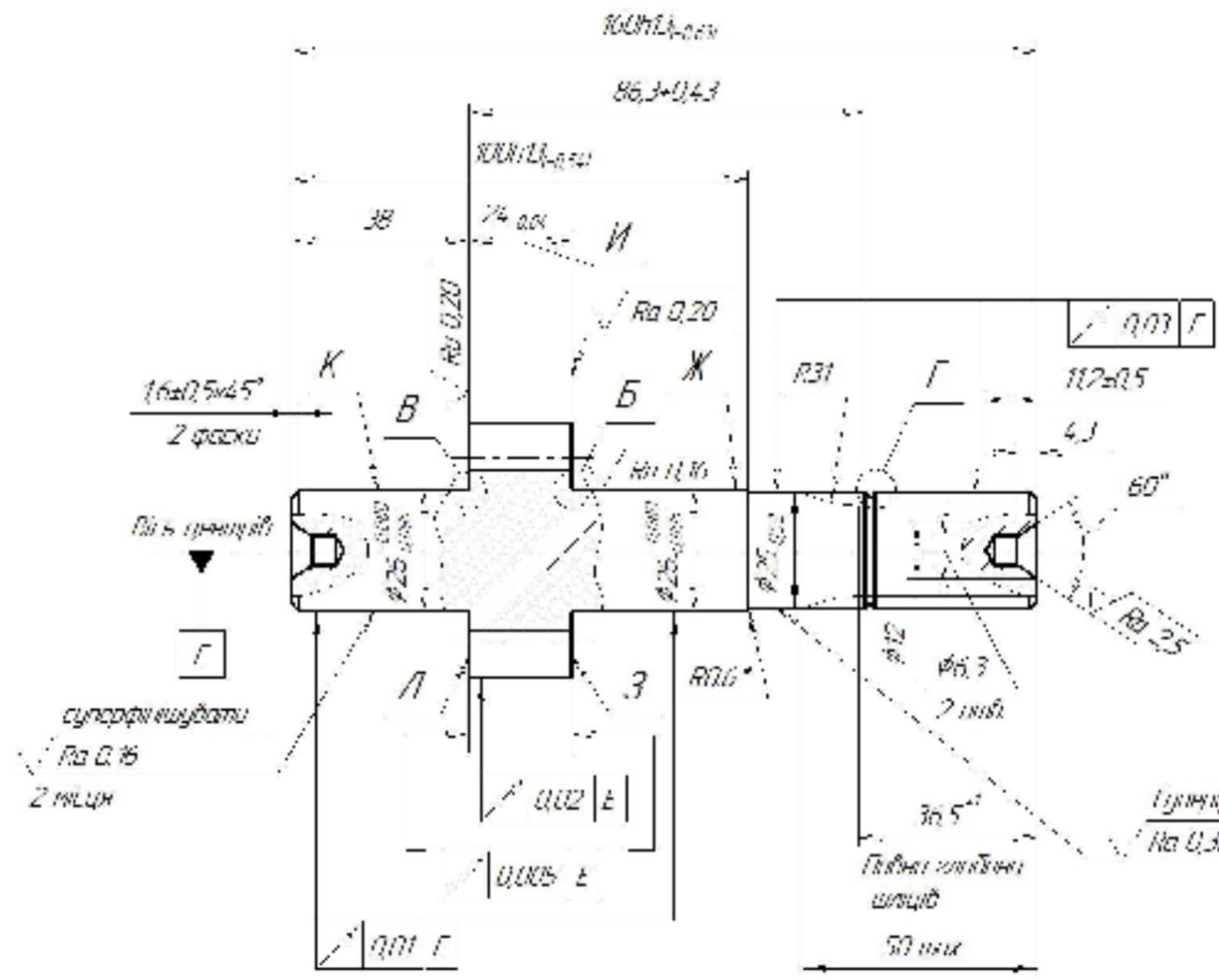
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ
«ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ 32-3.005»

√ Ra 12,5 (√)

Таблиця 1

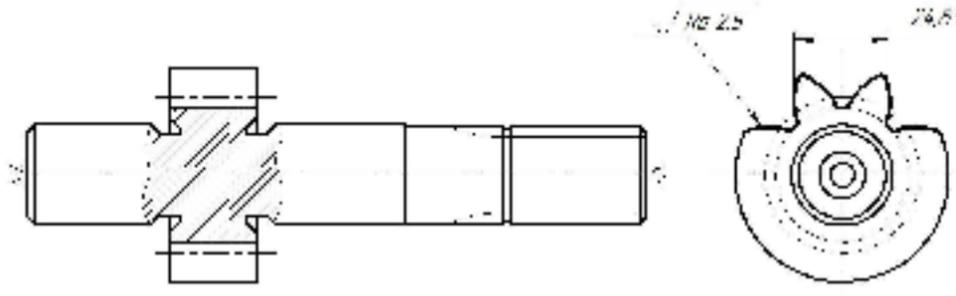
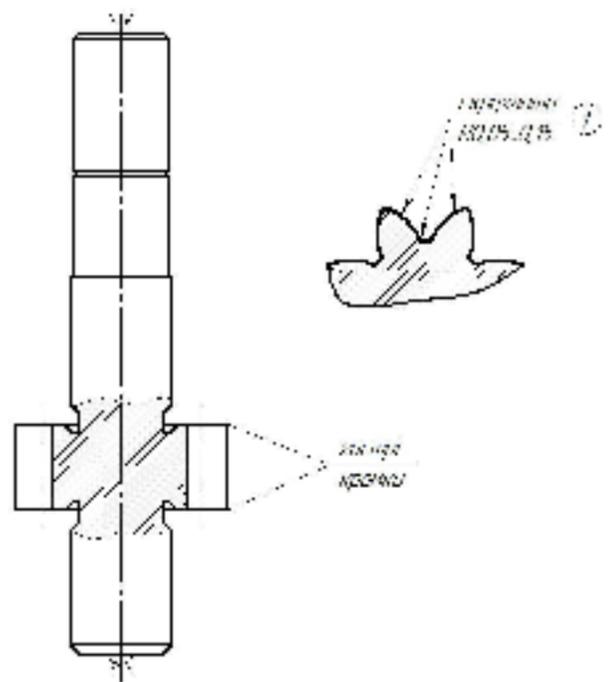
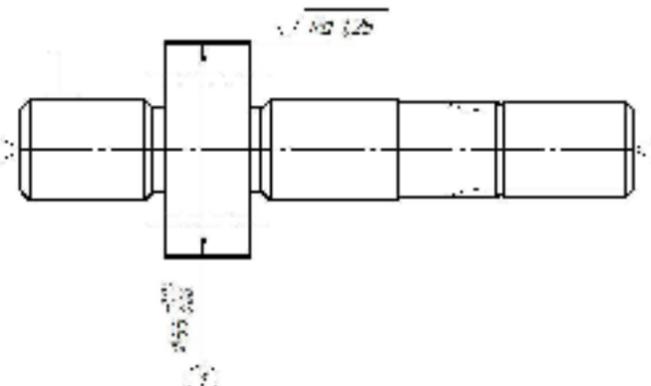
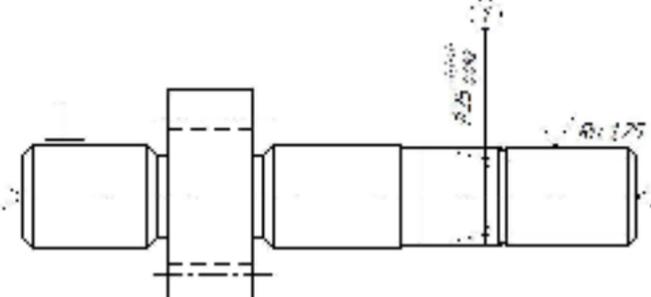
Відхилення ступеня і гарнот (при 7=7)	W	24,874 ±0,01	Модуль	m	5	
Відхилення діаметру	d	41	Кількість зубів	z	8	
Відхилення діаметру	d _н	15	Кут нахилу профілю	α	20°	
Основний діаметр	d _б	37,62		Коефіцієнт висоти головної	h _а *	1
Висота зуба	внешки	h _{вн}		Коефіцієнт висоти ніжки	h _ф *	1,75
	внутр.	h _{вн}		Коефіцієнт радіуса заокруглення	ρ*	0,38
Відхилення зуба по дузі покривності вершин	внешки	α _в	Коефіцієнт радіального зазору	i*	0,05	
	внутр.	α _в	Зміщення	x	+0,62%	
			Клас точності	-	9-9-9-1-1-100	
І граничні відхилення виміральної міжосьової відстані шестерень в парі (при безшарнівому заглибленні з виміральною номінальною циліндричною зубою по дузі початкової окружності S _н = 9,07% мм)						
				верхнє	F _н *	+0,05
				нижнє	F _н *	0,05
Допуск на коливання між зубами відносно						
				- за одерт шестерні	F _н *	0,11
				- на вільному зубі	F _н *	0,05
Допуск на коливання напруженні зуба (по певній величині)						
					1β	0,020



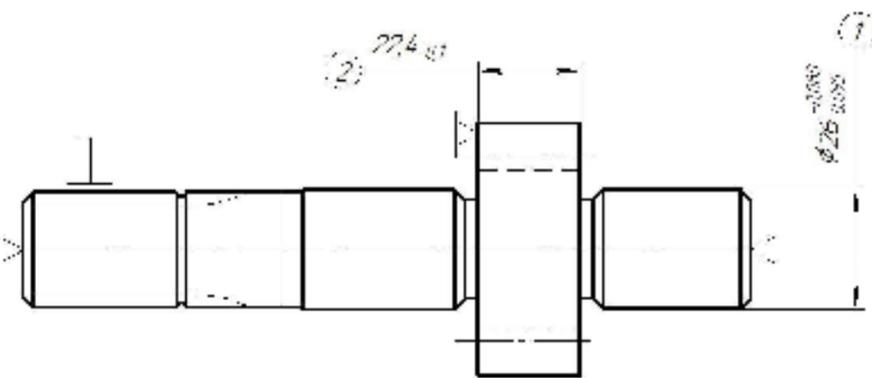
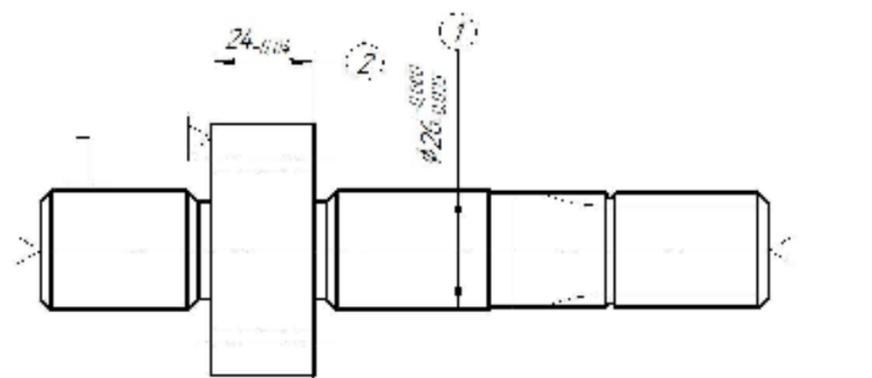
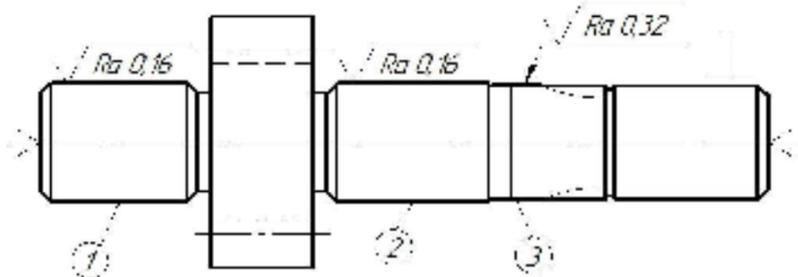
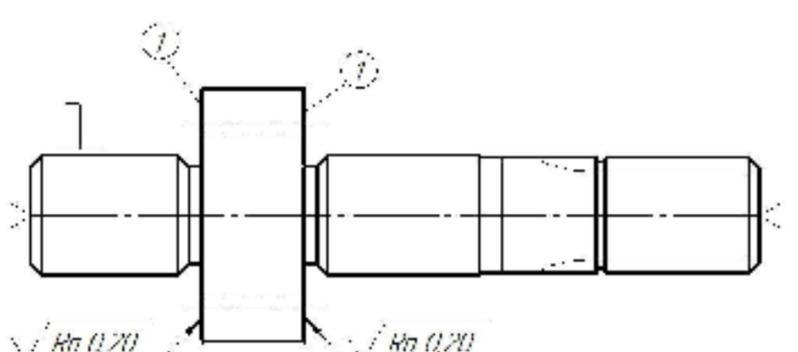
- Цементація в 0,7...1,3 мм, 56...62 HRC.
- Лізування на шліфуванні після цементування 54...62 HRC на шліцах 56 тіт HRC.
- H_В; H_В; +11 H/2
- Гострі краї по профілю абляванти і вільним зубів скруглити R0,1...0,2 мм.
- Деталі розбиті на 8 груп по розміру H: I 24,000...24,005; II 24,005...24,010; III 24,010...24,015; IV 24,015...24,020; V 24,020...24,025; VI 24,025...24,030; VII 24,030...24,035; VIII 24,035...24,040.
- Допуск абляванти і концентричності поверхонь K і Ж 0,005 мм.
- Допуск на шліфування на шліфуванні A і Z 0,006 мм після в'їзду шліфування підутримки.

№	Деталь	№ документа	Лист	Всього	Лист	Всього
1	Вал-шестерня	32-03.05	1	1	1	1
Сталь 18ХГТ ГОСТ 2590-2006					ВНТУ	
					ст. ар. 21/1 24/1	

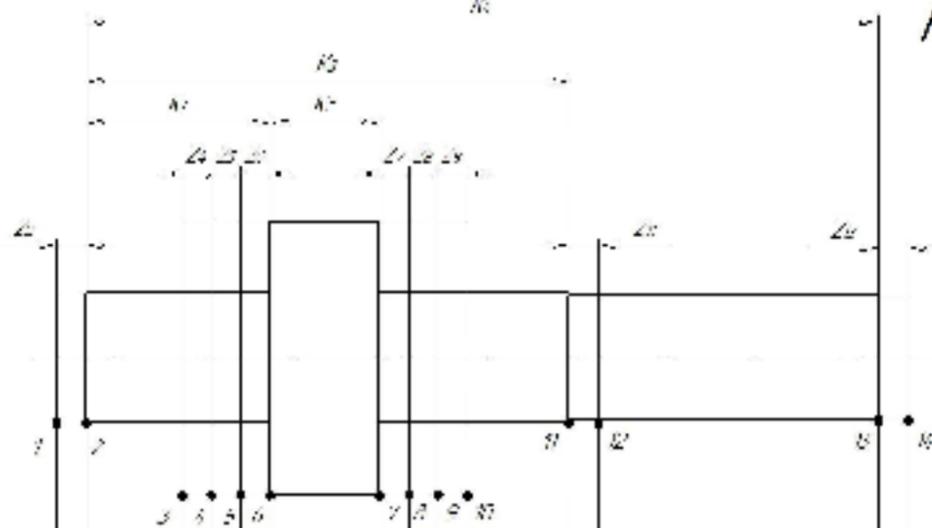
Маршрут механічної обробки (продовження)

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Схема установки та ескіз обробки	Обладнання
025	<p><u>Шевінгувальна</u></p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шевінгувати в зубів витримуючи розмір 1. 3. Зняти деталь.</p>		Шевінгувальний верстат АБС-03В-1771
030	<p><u>Зубозаокруглювальна</u></p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Припустити заглибі кромки по профілю евольвенти і впадин зубів з обох сторін витримуючи розмір 1. 3. Зняти деталь.</p>		Зубозаокруглювальний верстат НОШ-161
035	<p><u>Промивка</u></p>		07Н105
040	<p><u>Контроль</u></p>		Стіл ВТК
045	<p><u>Термообробка</u></p>		
050	<p><u>Круглошліфувальна</u></p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати шийку, витримуючи розмір 1. 3. Зняти деталь.</p>		Круглошліфувальний верстат 3А151
055	<p><u>Круглошліфувальна</u></p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати шлицеву шийку витримуючи розмір 1. 3. Зняти деталь.</p>		Круглошліфувальний верстат 3М151В

Маршрут механічної обробки (продовження)

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Схема установки та ескіз обробки	Обладнання
060	<p><u>Торцекруглошліфувальна</u></p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати одночасно коротку шийку і торець вінця, витримуючи розміри 1,2. 3. Зняти деталь.</p>		Торцекруглошліфувальний верстат SASE AM-8201
065	<p><u>Торцекруглошліфувальна</u></p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Шліфувати одночасно коротку шийку і торець вінця, витримуючи розміри 1,2. 3. Зняти деталь.</p>		Торцекруглошліфувальний верстат SASE AM-8201
070	<p><u>Суперфінішна</u></p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Суперфінішувати шийки 1, 2, 3 одночасно. 3. Зняти деталь.</p>		Суперфінішний верстат 3879БН19
075	<p><u>Доводочна</u></p> <p>1. Встановити і закріпити деталь. 2. Довести два торці вінця 1. 3. Зняти деталь.</p>		Шліфувальний верстат НОШ-225

Розмірний аналіз технологічного процесу



Міжур	З1	З2	З3	З4	З5	З6	З7	З8	З9	З10	З11	З12	З13	З14
Квалітет	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Попереднє значення допуску, мм	0,7	0,9	0,9	0,8	0,6	0,63	0,30	0,75	0,72	0,75	0,77	0,68	0,68	0,68
Попереднє значення допуску, мм	1,2	0,9	0,8	0,8	0,6	0,63	0,27	0,34	0,32	0,25	0,17	0,18	0,14	0,14
Цілісний розмір, мм	87,6	127	76,95	37,65	36,53	80	37,43	30	75,95	74,72	74,95	74,97	74,94	

Міжур	Z1	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z11	Z12
Гранич. розмір, мм	Z _{1п} 100	Z _{4п} 100	Z _{5п} 10	Z _{6п} 10	Z _{7п} 10	Z _{8п} 10	Z _{9п} 100	Z _{11п} 100	Z _{12п} 100
Мінімальн. розмір, мм	Z _{1н} 100	Z _{4н} 100	Z _{5н} 10	Z _{6н} 10	Z _{7н} 10	Z _{8н} 10	Z _{9н} 100	Z _{11н} 100	Z _{12н} 100

Похідний граф дерева



Нахилений граф дерева



Суміщений граф-дерево



001 Технологічне рішення							
002 Технологічне рішення							
003 Технологічне рішення							
004 Технологічне рішення							
005 Технологічне рішення							
006 Технологічне рішення							
007 Технологічне рішення							
008 Технологічне рішення							
009 Технологічне рішення							
010 Технологічне рішення							

**АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ГРУПОВОЇ
ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ (СЕЛЕКТИВНОГО СКЛАДАННЯ)
ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШЕСТЕРЕННИХ НАСОСІВ**

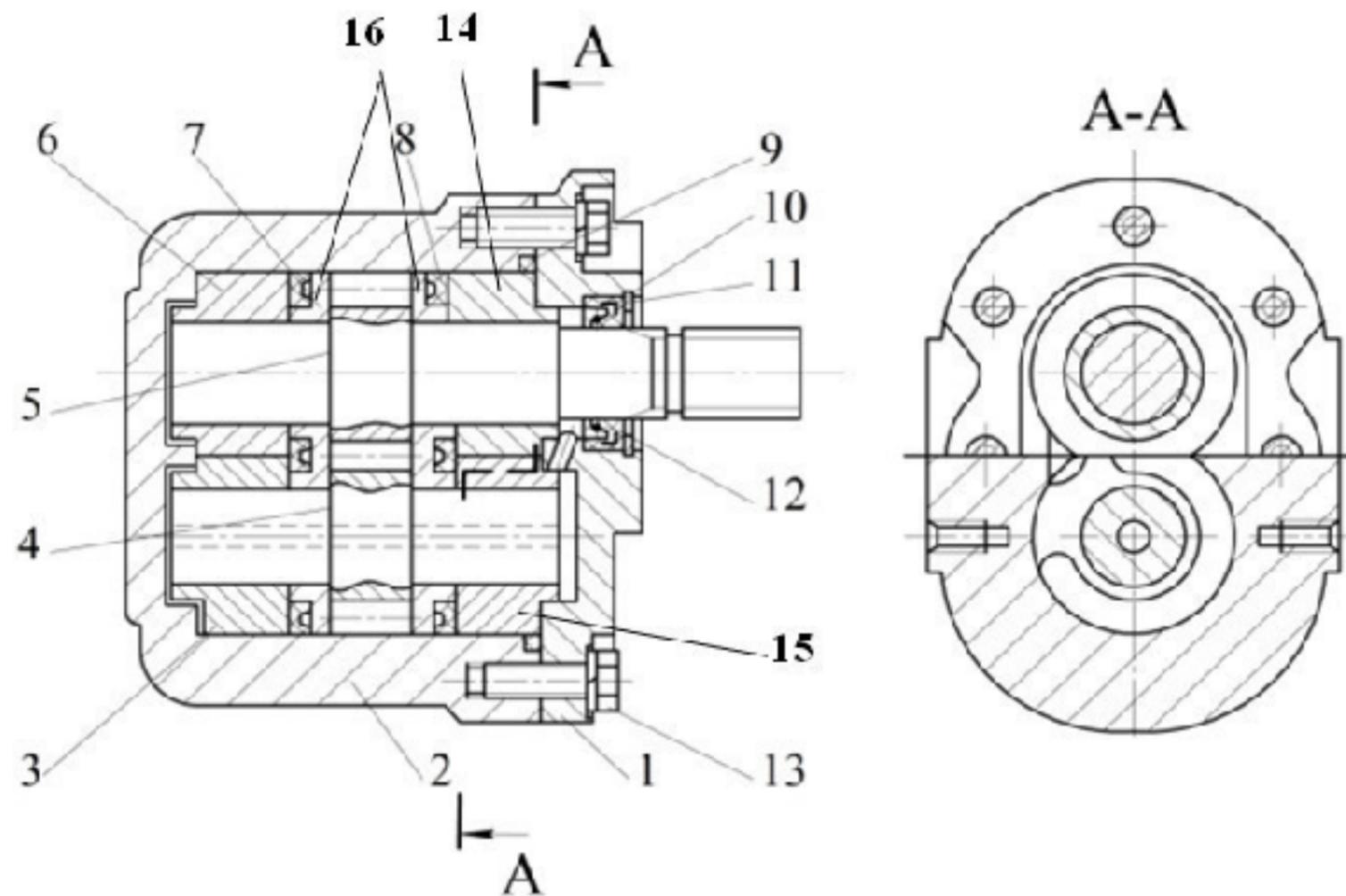


Рисунок 1 – Конструктивна схема шестеренного гідронасоса

Метою дослідження є встановлення особливостей застосування методу групової взаємозамінності для забезпечення нормативних параметрів шестеренного насоса.

**АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ГРУПОВОЇ
ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ (СЕЛЕКТИВНОГО СКЛАДАННЯ)
ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШЕСТЕРЕННИХ НАСОСІВ**

Допуски складових ланок A_1 і A_2 , які б забезпечували необхідну точність ланки замикання за умови застосування методу повної взаємозамінності.

$$T(A_1) = T(A_2) = \frac{T(A_\Sigma)}{m + n} = \frac{0,005}{1 + 1} = 0,0025 \text{ (мм)}.$$

Допуски розмірів A_1 і A_2 становитимуть $T(D) = T(d) = 0,040$ мм.

Призначимо кількість сортувальних груп $N_r = 8$.

Визначимо групові допуски складових ланок

$$T(A_1)_r = T(A_2)_r = \frac{T(A_1)}{N_r} = \frac{T(A_2)}{N_r} = \frac{40}{8} = 5 \text{ (мкм)}.$$

Прийmemo, що середній відхил ланки замикання A_Σ у всіх групах має становити $+0,0025$ мм. Тобто $\Delta_{\epsilon_{\Sigma_1}} = \dots = \Delta_{\epsilon_{\Sigma_8}} = +0,0025$ мм.

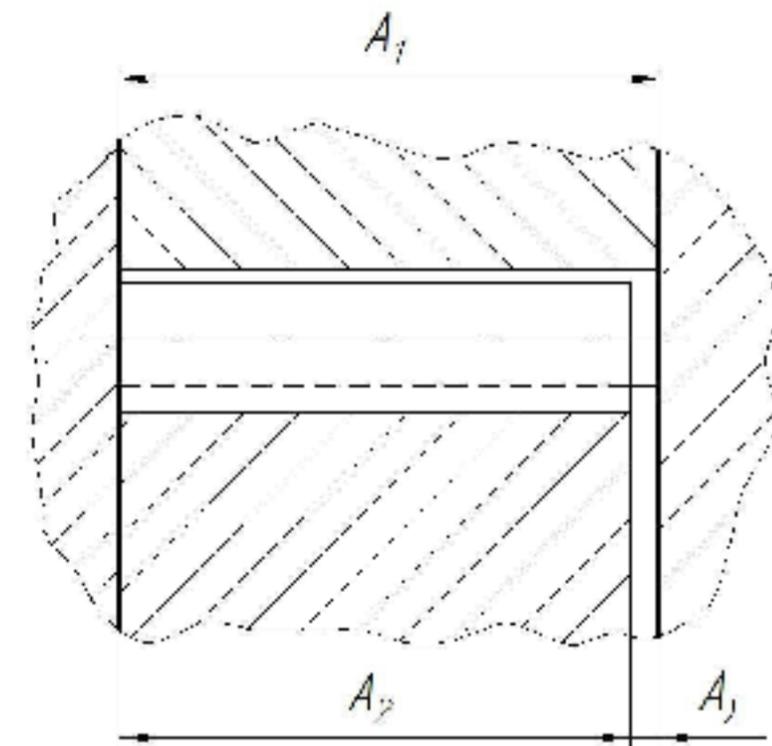


Рисунок 2 – Схема розмірного ланцюга, що пов'язує розміри A_1 та A_2 ширин зубчастих вінців шестерень із зазором між торцем шестерні меншої ширини і компенсатором

Таблиця 1 – Групові розміри

№ сортувальної групи	1	2	3	4	5	6	7	8
Розміри ширини зубчастого вінця шестерень, мм	24 _(-0,005)	24 _(^{-0,005}/_{-0,01})	24 _(^{-0,01}/_{-0,015})	24 _(^{-0,015}/_{-0,02})	24 _(^{-0,02}/_{-0,025})	24 _(^{-0,025}/_{-0,03})	24 _(^{-0,03}/_{-0,035})	24 _(^{-0,035}/_{-0,04})

**АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ГРУПОВОЇ
ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ (СЕЛЕКТИВНОГО СКЛАДАННЯ)
ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШЕСТЕРЕННИХ НАСОСІВ**

Висновки

1. В результаті дослідження визначено:
 - допуски складових ланок (розміри ширин зубчастих вінців шестерень);
 - кількість сортувальних груп;
 - верхні і нижні відхили розмірів деталей у кожній із сортувальних груп.
 - конструкторські розміри і допуски шестерень.
2. Для мінімізації обсягів незавершеного виробництва слід під час налагодження торцекруглошліфувальних напівавтоматів забезпечувати якомога близькі за формою криві розподілу розмірів ширини зубчастих вінців ведучої і веденої шестерень.

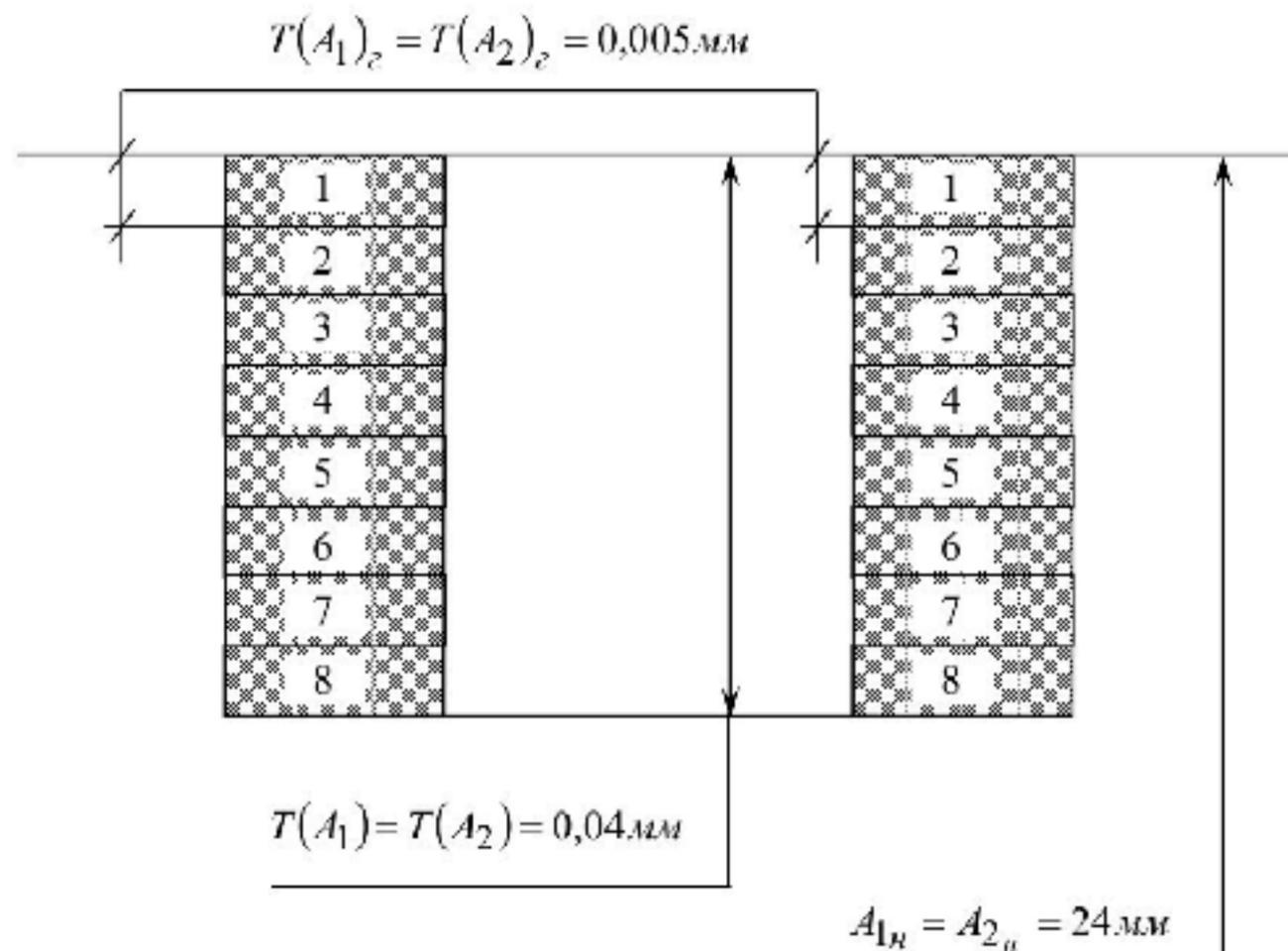
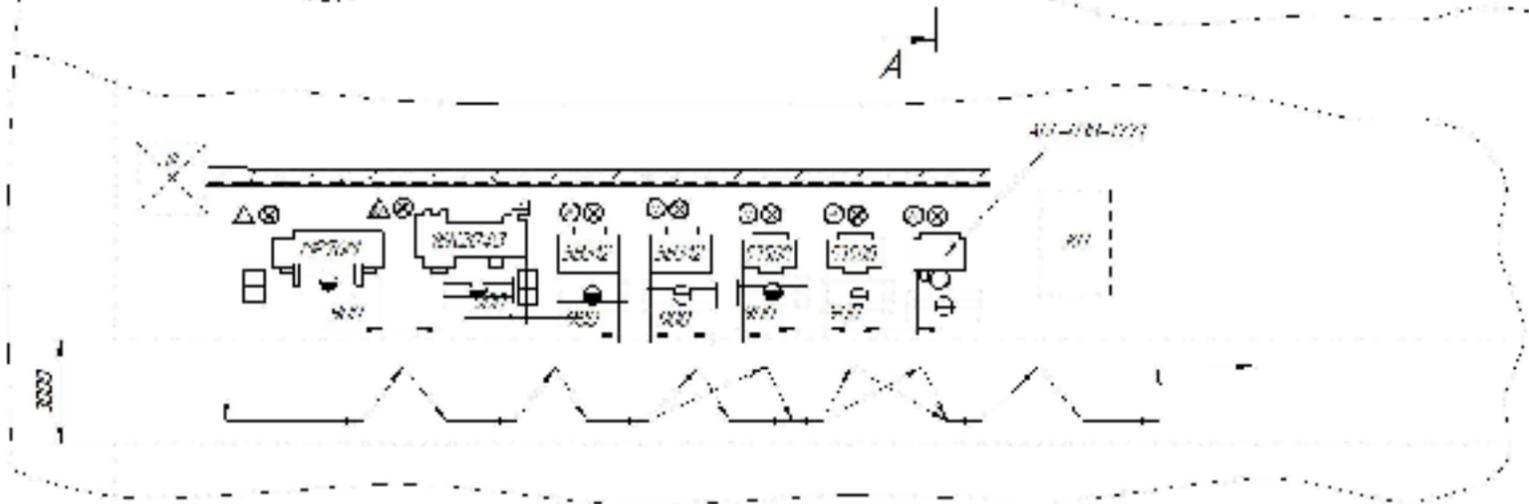
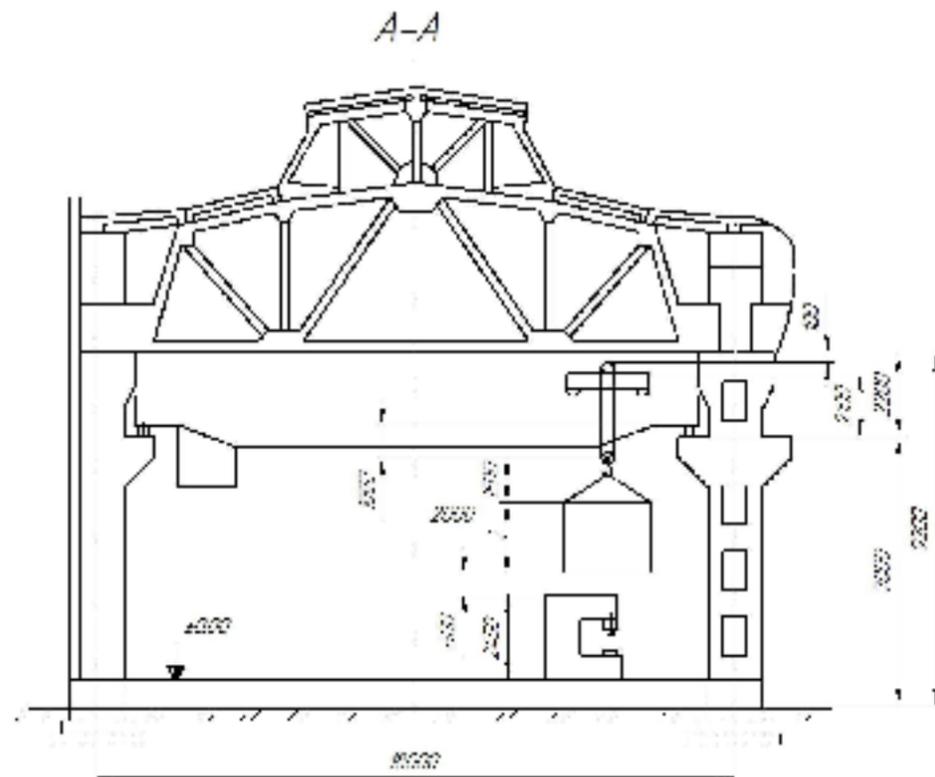
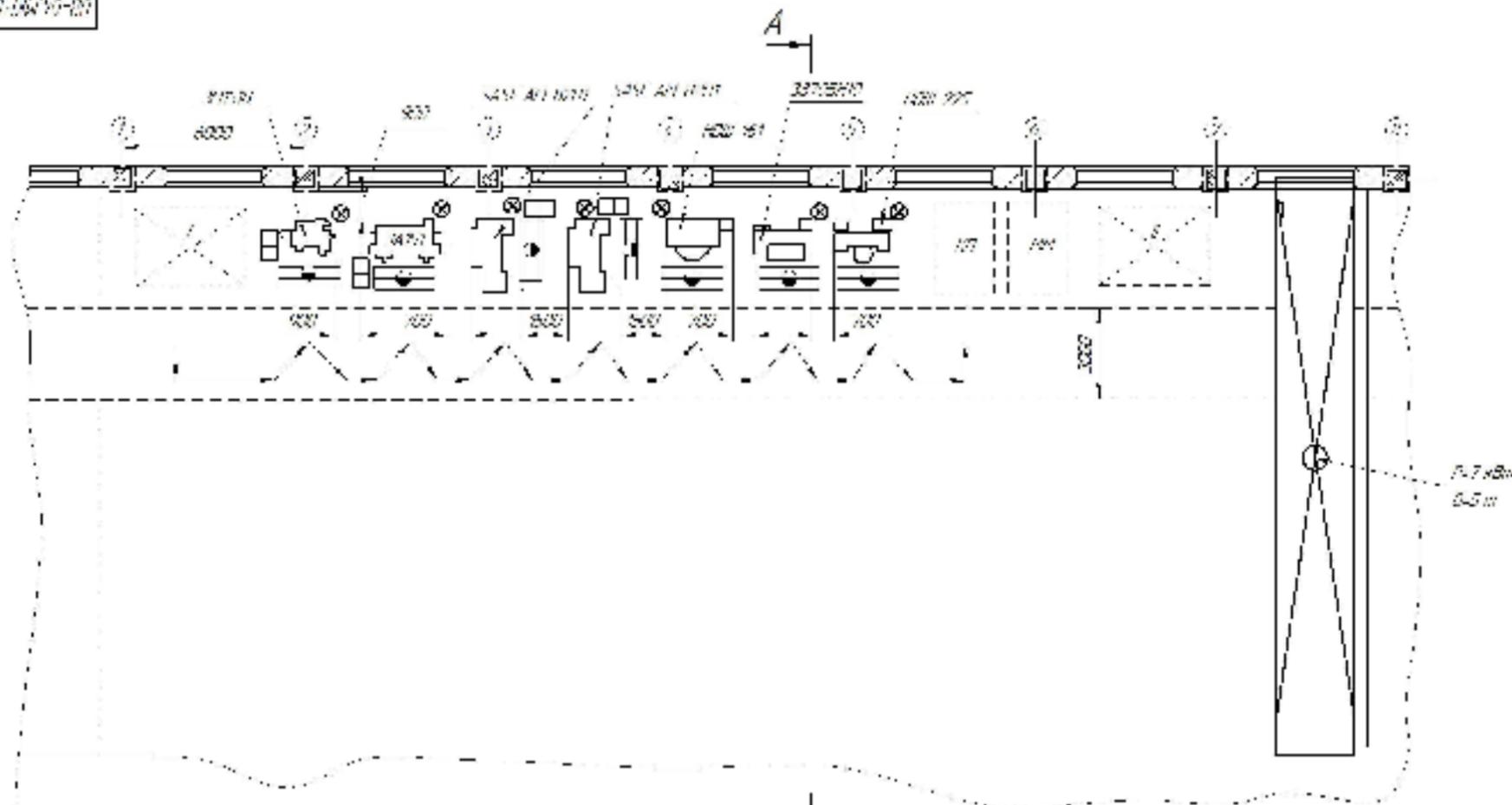


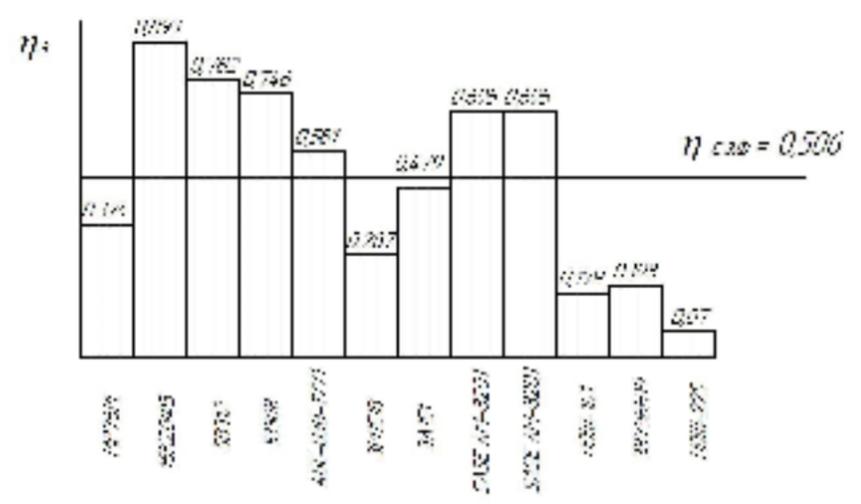
Рисунок 3 – Схема розташування полів допусків розмірів ширин шестерень з позначеннями номерів груп



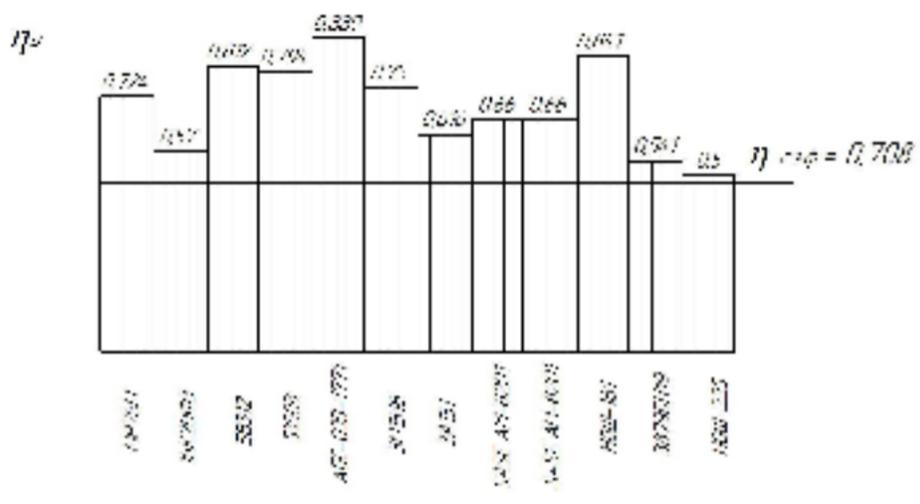
- I - склад заготовок
- II - склад деталей та напівфабрикатів
- III - ділянка по переробці стружки
- ММ - місце маистра
- КП - контрольний пункт

Площа ділянки:
 загальна - 307 м²
 виробнича - 280 м²
 Кількість працюючих
 постійних робітників - 19 чел.
 тимчасово - 28 чел.

Графік завантаження обладнання



Графік завантаження обладнання за основним часом



1. На ділянці проводиться ілюмінативне прибирання стружки в інші зміни.
2. Не згромаджувати прокладки, прізводи, підкладки до первинних ливарів пожежогасіння.
3. Наявність на підлозі настипа і сміття не допускається.

08 6418(Р.073.00500) ВЗ			
№	Дат.	Відом.	Відом.
1	10.08.02	Відом.	Відом.
2	10.08.02	Відом.	Відом.
3	10.08.02	Відом.	Відом.
4	10.08.02	Відом.	Відом.
5	10.08.02	Відом.	Відом.
6	10.08.02	Відом.	Відом.
7	10.08.02	Відом.	Відом.
8	10.08.02	Відом.	Відом.
9	10.08.02	Відом.	Відом.
10	10.08.02	Відом.	Відом.
11	10.08.02	Відом.	Відом.
12	10.08.02	Відом.	Відом.
13	10.08.02	Відом.	Відом.
14	10.08.02	Відом.	Відом.
15	10.08.02	Відом.	Відом.
16	10.08.02	Відом.	Відом.
17	10.08.02	Відом.	Відом.
18	10.08.02	Відом.	Відом.
19	10.08.02	Відом.	Відом.
20	10.08.02	Відом.	Відом.
21	10.08.02	Відом.	Відом.
22	10.08.02	Відом.	Відом.
23	10.08.02	Відом.	Відом.
24	10.08.02	Відом.	Відом.
25	10.08.02	Відом.	Відом.
26	10.08.02	Відом.	Відом.
27	10.08.02	Відом.	Відом.
28	10.08.02	Відом.	Відом.
29	10.08.02	Відом.	Відом.
30	10.08.02	Відом.	Відом.
31	10.08.02	Відом.	Відом.
32	10.08.02	Відом.	Відом.
33	10.08.02	Відом.	Відом.
34	10.08.02	Відом.	Відом.
35	10.08.02	Відом.	Відом.
36	10.08.02	Відом.	Відом.
37	10.08.02	Відом.	Відом.
38	10.08.02	Відом.	Відом.
39	10.08.02	Відом.	Відом.
40	10.08.02	Відом.	Відом.
41	10.08.02	Відом.	Відом.
42	10.08.02	Відом.	Відом.
43	10.08.02	Відом.	Відом.
44	10.08.02	Відом.	Відом.
45	10.08.02	Відом.	Відом.
46	10.08.02	Відом.	Відом.
47	10.08.02	Відом.	Відом.
48	10.08.02	Відом.	Відом.
49	10.08.02	Відом.	Відом.
50	10.08.02	Відом.	Відом.
51	10.08.02	Відом.	Відом.
52	10.08.02	Відом.	Відом.
53	10.08.02	Відом.	Відом.
54	10.08.02	Відом.	Відом.
55	10.08.02	Відом.	Відом.
56	10.08.02	Відом.	Відом.
57	10.08.02	Відом.	Відом.
58	10.08.02	Відом.	Відом.
59	10.08.02	Відом.	Відом.
60	10.08.02	Відом.	Відом.
61	10.08.02	Відом.	Відом.
62	10.08.02	Відом.	Відом.
63	10.08.02	Відом.	Відом.
64	10.08.02	Відом.	Відом.
65	10.08.02	Відом.	Відом.
66	10.08.02	Відом.	Відом.
67	10.08.02	Відом.	Відом.
68	10.08.02	Відом.	Відом.
69	10.08.02	Відом.	Відом.
70	10.08.02	Відом.	Відом.
71	10.08.02	Відом.	Відом.
72	10.08.02	Відом.	Відом.
73	10.08.02	Відом.	Відом.
74	10.08.02	Відом.	Відом.
75	10.08.02	Відом.	Відом.
76	10.08.02	Відом.	Відом.
77	10.08.02	Відом.	Відом.
78	10.08.02	Відом.	Відом.
79	10.08.02	Відом.	Відом.
80	10.08.02	Відом.	Відом.
81	10.08.02	Відом.	Відом.
82	10.08.02	Відом.	Відом.
83	10.08.02	Відом.	Відом.
84	10.08.02	Відом.	Відом.
85	10.08.02	Відом.	Відом.
86	10.08.02	Відом.	Відом.
87	10.08.02	Відом.	Відом.
88	10.08.02	Відом.	Відом.
89	10.08.02	Відом.	Відом.
90	10.08.02	Відом.	Відом.
91	10.08.02	Відом.	Відом.
92	10.08.02	Відом.	Відом.
93	10.08.02	Відом.	Відом.
94	10.08.02	Відом.	Відом.
95	10.08.02	Відом.	Відом.
96	10.08.02	Відом.	Відом.
97	10.08.02	Відом.	Відом.
98	10.08.02	Відом.	Відом.
99	10.08.02	Відом.	Відом.
100	10.08.02	Відом.	Відом.

Техніко-економічні показники

<i>Техніко-економічні показники</i>	<i>Базовий маршрут</i>	<i>Удосконалений маршрут</i>
<i>Маса деталі, кг</i>	<i>0,78</i>	<i>0,78</i>
<i>Програма випуску, шт.</i>	<i>20000</i>	<i>20000</i>
<i>Маса заготовки, кг</i>	<i>1,431</i>	<i>1,281</i>
<i>Коефіцієнт точності маси заготовки</i>	<i>0,545</i>	<i>0,609</i>
<i>Собівартість заготовки, грн.</i>	<i>57,44</i>	<i>54,3</i>
<i>Кількість верстатів, шт.</i>	<i>18</i>	<i>14</i>
<i>Середній коефіцієнт завантаження обладнання, $\eta_{згсп}$</i>	<i>40%</i>	<i>50,6%</i>
<i>Середній коефіцієнт використання за основним часом, $\eta_{зосер}$</i>	<i>46%</i>	<i>70,8%</i>
<i>Кількість основних робітників</i>	<i>23</i>	<i>19</i>
<i>Середній розряд робітників</i>	<i>5</i>	<i>3,5</i>
<i>Виробнича площа, м²</i>	<i>360</i>	<i>280</i>
<i>Собівартість одиниці продукції, грн.</i>	<i>270,62</i>	<i>187,93</i>
<i>Капітальні вкладання, грн.</i>	<i>–</i>	<i>1652136,89</i>
<i>Економічний ефект, грн.</i>	<i>–</i>	<i>456517,88</i>
<i>Термін окупності, років</i>	<i>–</i>	<i>3,62</i>