

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки
деталі типу “Корпус Г20.01.004”»

08-64.МКР.003.00.000 ПЗ

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

Валенко Владислав ДАЦЕНКО

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТАМ

Репинський Сергій РЕПНСЬКИЙ

«18» 12 2024 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. АТМ

Кужель Володимир КУЖЕЛЬ

«19» 12 2024 р.

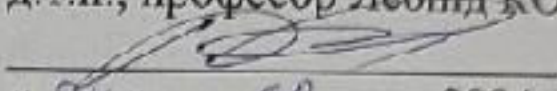
Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТАМ

Козлов Л.Т.Н., проф. Леонід КОЗЛОВ

«19» 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

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

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

« 22 » 09 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Даценку Владиславу Вадимовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004»

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

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

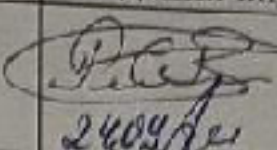
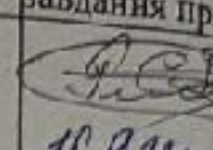
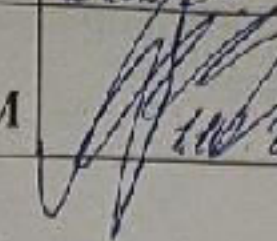
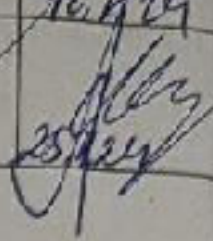
2. Строк подання студентом роботи: 17.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі «Корпус Г20.01.004»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 3 000 шт.; довідкова література

4. Зміст текстової частини: анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталей типу «Корпус»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004»; розрахунок елементів дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004»; економічне обґрунтування удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004»; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
деталь «Корпус Г20.01.004» (A1); 3D-модель деталі «Корпус Г20.01.004» (A1); розмірний аналіз корпус (заготовка) (A3); маршрут механічної обробки (A1); розмірний аналіз корпус (заготовка) (A3); маршрут механічної обробки (A1); дослідження технологічного процесу (A1); карта налагоджень (операція 005) (A1); дослідження впливу глибини різання на вибір оптимальних режимів різання (4A1); план дільниці механічної обробки (A1); техніко-економічні показники (A1)

6. Консультанти розділів роботи

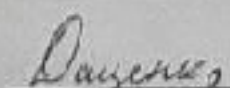
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання при
Спеціальна частина	Сергій РЕПІНСЬКИЙ, доцент кафедри ТАМ	 24.09.24	 10.09.24
Економічна частина	Олександр ЛЕСЬКО, завідувач кафедри ЕПІВМ	 10.09.24	 25.09.24

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

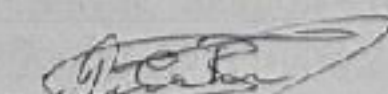
№ з/п	Назва етапів МКР	Срок виконання етапів МКР	Прим.
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	25.10.2024р.	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	25.10.2024р.	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	30.10.2024р.	
4	Розв'язання поставлених задач	20.11.2024р.	
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	22.11.2024р.	
6	Виконання розділу «Економічна частина»	25.11.2024р.	
7	Попередній захист МКР	10.12.2024	
8	Перевірка роботи на плагіат	14.12.2024	
9	Нормоконтроль МКР	16.12.2024	
10	Опонування МКР	18.12.2024	
11	Захист МКР	23.12.2024	

Студент


(підпис)

Владислав ДАЦЕНКО

Керівник роботи


(підпис)

Сергій РЕПІНСЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

УДК 621.9

Даценко В. В. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – прикладна механіка, освітня програма – технології машинобудування. Вінниця : ВНТУ, 2024. 124 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 20 назв; рис.: 25; табл. 42.

У магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004». У загальній частині роботи проведено огляд технологій виготовлення деталей типу «Корпус», обґрунтована доцільність удосконалення існуючого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004».

В технологічній частині виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Корпус Г20.01.004» з використанням верстатів з ЧПК та вибрано кращий з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки; визначено режими різання та технічні норми часу; проведено дослідження впливу глибини різання на вибір оптимальних режимів різання; розраховано приведену програму, кількість обладнання та працівників для удосконаленої ділянки механічної обробки.

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

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

ABSTRACT

Datsenko V. V. Improvement of the technological process of mechanical processing of the workpiece of the «Hull G20.01.004» type part. Master's qualification work in specialty 131 – applied mechanics, educational program – mechanical engineering technology. Vinnytsia : VNTU, 2024. 124 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 20 titles; fig.: 25; tabl. 42.

In the master's qualification work, the technological process of mechanical processing of the workpiece of the type «Hull G20.01.004» was improved. In the general part of the work, a review of the manufacturing technologies of «Hull» type parts was carried out, the justified feasibility of improving the existing technological process of mechanical processing of the workpiece of the «Hull G20.01.004» type part was substantiated.

In the technological part, the variant selection and technical and economic justification of the method of manufacturing the workpiece is performed; options for the route of mechanical processing of the «Hull G20.01.004» type part using CNC machines were developed and the best one was selected based on the minimum costs; dimensional and accurate modeling of the improved technological process of mechanical processing was carried out; cutting modes and technical time standards are determined; a study of the influence of cutting depth on the choice of optimal cutting modes was carried out; the given program, the number of equipment and workers for the improved mechanical processing section were calculated.

In the economic part of the work, capital investments, the cost of mechanical processing of the workpiece, the payback period and the economic effect obtained as a result of improving the technology and the mechanical processing area are calculated.

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

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «КОРПУС»	10
1.1 Характеристика об'єкта виробництва, його призначення та технічні умови на виготовлення	10
1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Корпус»	12
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС Г20.01.004»	20
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі	20
2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт	24
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки	28
2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь	36
2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чистових та чорнових технологічних баз	38
2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу	40
2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат	45
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу	49
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів	60
2.10 Призначення режимів різання	64
2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та дослідження впливу глибини різання на вибір оптимальних режимів різання	71
2.12 Визначення технічних норм часу	82
3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС Г20.01.004»	87
3.1 Розрахунок приведеної програми	87

	7
3.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження	91
3.3 Побудова графіків завантаження обладнання	94
3.4 Розрахунок кількості працівників на ділянці	95
4 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС Г20.01.004»	99
4.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки	99
4.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004»	106
4.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції	112
4.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу	116
4.5 Розрахунок величини чистого прибутку	117
4.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення	118
ВИСНОВКИ	121
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	123
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної роботи	125
Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина	126

ВСТУП

Актуальність. Технологія машинобудування є однією з ключових галузей науки і техніки, оскільки забезпечує розвиток і вдосконалення процесів виробництва машин та їхніх компонентів. Безперервне поліпшення технологічних процесів (ТП) дозволяє знижувати витрати на виробництво, підвищувати якість продукції та скорочувати терміни виготовлення. Особливо важливим є вдосконалення технологій механічної обробки деталей типу «Корпус» для гідроциліндрів, адже ці компоненти широко застосовуються в різних галузях промисловості, зокрема в автомобільній, будівельній, сільськогосподарській та іншій техніці. Удосконалення обробки заготовок таких деталей сприяє підвищенню ефективності виробництва, скороченню витрат на матеріали й енергію, а також забезпеченню високої точності та надійності готових виробів.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004».

Завдання, що вирішуються в роботі:

- проведення огляду технології виготовлення деталей типу «Корпус»;
- техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки;
- удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004» на основі варіантного підходу;
- розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу;
- визначення режимів різання та норм часу;
- математичне моделювання технологічного процесу та дослідження впливу глибини різання на вибір оптимальних режимів різання;
- розрахунок приведеної програми, кількості обладнання та працівників на проектуємій дільниці;
- проведення економічних розрахунків по впровадженню запропонованих у роботі рішень.

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

Предмет дослідження – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004».

Методи дослідження. Метод теорії розмірних ланцюгів при виконанні розмірно-точнісного моделювання ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004»; метод лінійного програмування (симплекс-метод) при визначенні оптимальних режимів різання.

Наукова новизна одержаних результатів:

- за допомогою математичного моделювання технологічного процесу визначено вплив глибини різання на призначення оптимальних значень режимів різання при чорновому точінні зовнішньої діаметральної поверхні.

Практичне значення одержаних результатів. В роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004». При цьому запропоновані такі рішення:

- варіантним вибором встановлено, що найбільш доцільними способами виготовлення заготовки є штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП) та трубний прокат. Техніко-економічні розрахунки показали, що економічно доцільніше виготовляти заготовку із трубного прокату, оскільки вартість заготовки при цьому складає 76,3 грн., що менше у порівнянні з штампуванням – 100,3 грн.;

- розроблено удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004» з використанням високопродуктивних верстатів з ЧПК високої точності; техніко-економічний аналіз показав, що впровадження удосконаленого технологічного процесу в виробництво є економічно доцільним;

- для удосконаленого маршруту механічної обробки розроблено план дільниці; розроблена дільниця механічної обробки містить 4 верстати, кількість основних робітників, що її обслуговують – 5 чол., кількість допоміжних працівників – 4 чол.

Апробація результатів роботи. Прийнято участь у Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)» (м. Вінниця, ВНТУ, 15 жовтня 2024 р. – 15 червня 2025 р.)

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «КОРПУС»

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

Темою МКР є удосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Корпус Г20.01.004». В процесі виконання роботи також удосконалити існуючий прототип, тобто існуючу дільницю. Суть технічної проблеми полягає в тому, що на існуючій дільниці механічної обробки механічного цеху базового підприємства використовуються верстати, які не зовсім відповідають існуючим на сьогоднішній день умовам. Існуюча технологія обробки деталі не побудована за принципом концентрації операцій, частина обладнання не завантажена обробкою, велика кількість переустановлень деталі. Необхідне застосування обладнання з більшими можливостями, а саме токарно-револьверних верстатів з ЧПК.

Їх особливістю є універсальність, поєднана з автоматизацією процесів обробки, висока надійність верстатів, достатня продуктивність обробки, можливість порівняно швидкої переналадки при переході від обробки деталей одного типорозміру до іншого [1-9]. В умовах серійного виробництва доля машинного часу підвищується до 50-70%, порівняно з 20-40% на універсальних верстатах. Простої верстата під наладкою скорочуються в середньому на 80%. Стабільність розмірів деталей дозволяє скоротити об'єм контрольних операцій на 50-70%.

Зважаючи на вище сказане, можна зробити висновок, що обраний спосіб вирішення технічної проблеми є ефективним і може бути впроваджений у виробництво.

Об'єкт розгляду – деталь типу «Корпус Г20.01.004» (рис. 1.1), що входить до конструкції гідроциліндра.

Деталь має ряд відповідальних точних поверхонь – зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 95d8^{(-0,120)}_{(-0,174)}$ з $Ra = 1,6$ мкм; внутрішні отвори $\varnothing 70H8^{(+0,046)}$ та

$\varnothing 75H8^{(+0,046)}$ з $Ra = 1,6$ мкм; паз 18h9 з $Ra = 6,3$. Ці поверхні можуть бути отримані обробкою за декілька переходів точінням (розточуванням), шліфуванням та фрезеруванням.

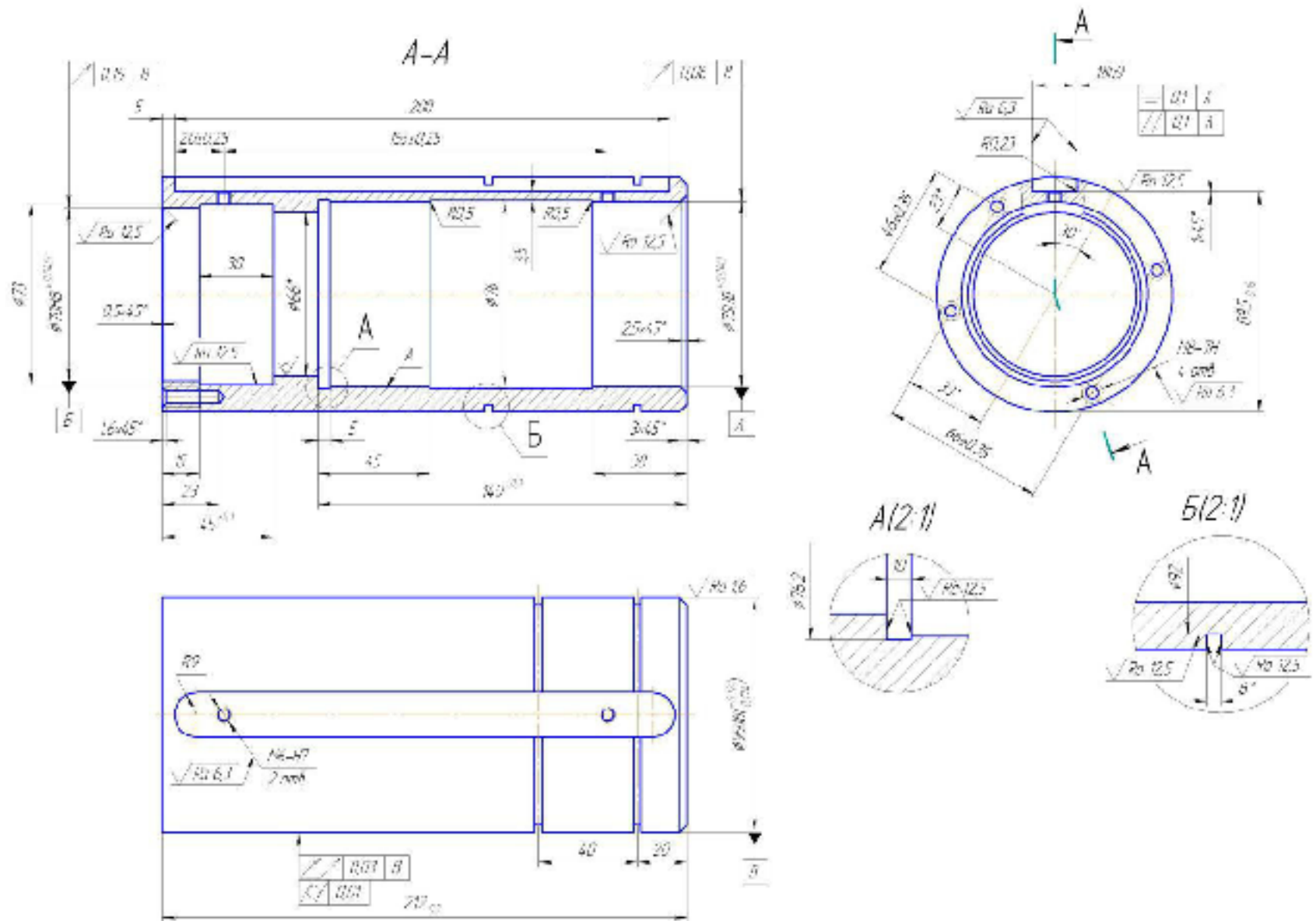


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі «Корпус Г20.01.004»

До поверхонь деталі прикладені такі вимоги взаємного розташування:

- биття отвору $\varnothing 70H8^{(+0,046)}$ – 0,15 мм відносно бази В;
- биття отвору $\varnothing 75H8^{(+0,046)}$ – 0,06 мм відносно бази В;
- повне биття поверхні $\varnothing 95d8^{(-0,120)}_{(-0,174)}$ – 0,03 мм;
- циліндричність поверхні $\varnothing 95d8^{(-0,120)}_{(-0,174)}$ – 0,01 мм;
- симетричність пазу 18h9 – 0,1 мм;
- паралельність пазу 18h9 – 0,1 мм.

Ці вимоги забезпечуються правильним вибором схеми установаження деталі при її обробці.

Матеріал деталі – сталь 45 ГОСТ 1050-88. Маса деталі 4,72 кг. Заготовку можна отримувати штампуванням або використовувати прокат.

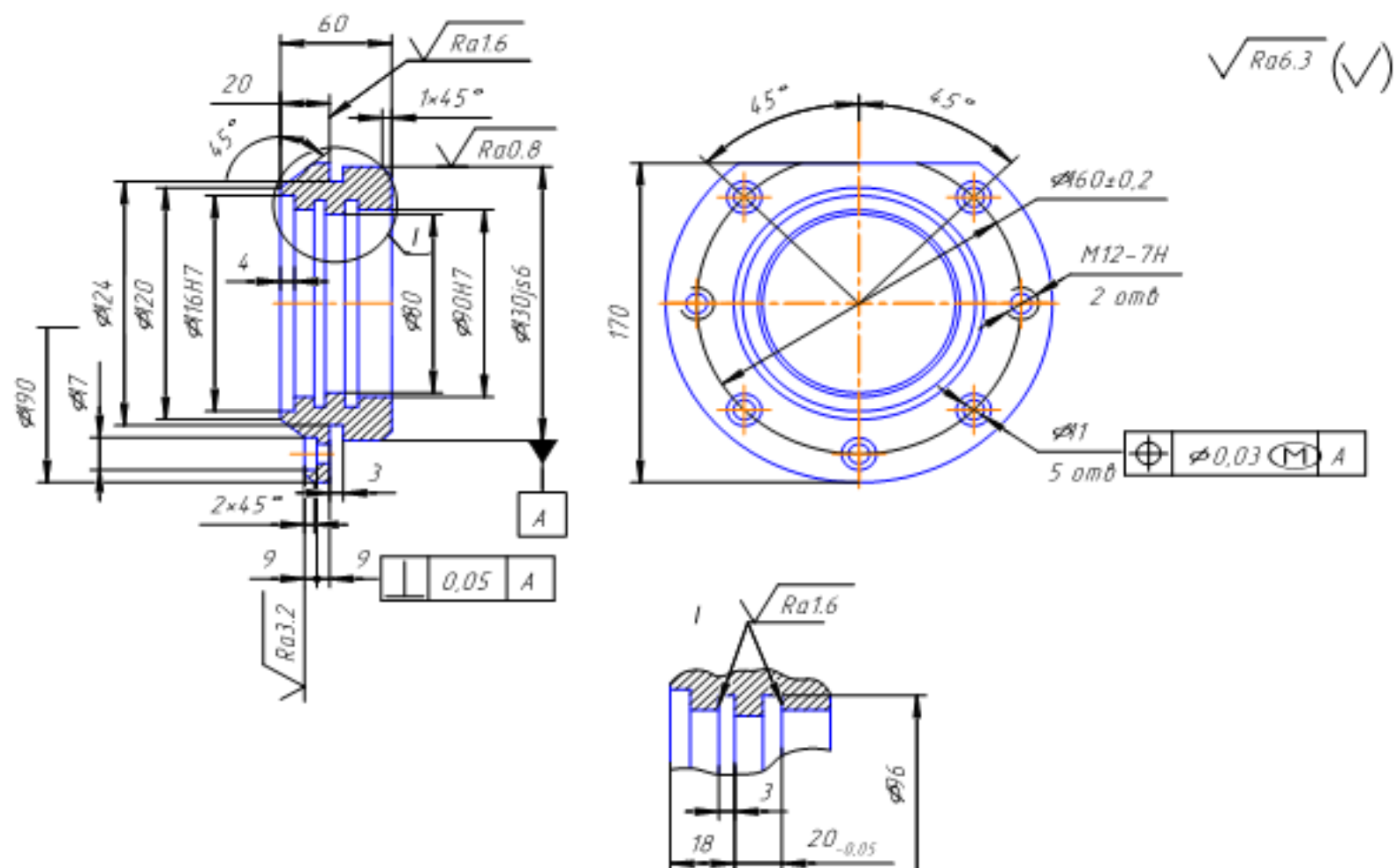
1.2 Вибір та критичний аналіз технологічного процесу виготовлення деталі

1.2.1 Існуючі технологічні процеси виготовлення деталі «Корпус»

Для проектування технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Корпус Г20.01.004» виконано аналітичний огляд відомих маршрутів в умовах заданого типу виробництва, а саме серійного [1-9].

Задана деталь «Корпус Г20.01.004» відноситься до класу корпусних але за своєю конфігурацією вона близька до деталей типу «Стакан» або «Фланець» [1, 7-9].

Типовий маршрут обробки деталі «Стакан» (рис. 1.2) представлений у вигляді таблиці 1.1.



Вид заготовки – виливок.
Матеріал – чавун СЧ20.

Рисунок 1.2 – Ескіз деталі «Стакан»

Таблиця 1.1 – Маршрут механічної обробки деталі «Стакан»

Операція	Зміст і найменування операції	Верстат, обладнання	Пристосування
1	2	3	4
005	Лиття		
010	Обрубка і очищення виливка		
015	Підрізати торці Ø130Js6/Ø90H7, торця Ø190(правий торець), точити поверхню Ø130Js6, точити канавку, розточити отвори Ø80 і Ø90H7, з підрізанням внутрішнього торця Ø90H7/ Ø80	Токарний патронний напівавтомат КТ141	Трикулачковий патрон
020	Підрізати торці Ø190(лівий торець), торець Ø144, розточити отвір Ø116H7, обточити поверхні Ø190 і конічну поверхню Ø144×45°	Токарний патронний напівавтомат КТ141	Трикулачковий патрон
025	Термічна обробка		
030	Підрізати торець Ø130Js6/Ø90H7 остаточно, точити поверхню Ø130Js6 з підрізанням торця Ø190(правий торець) під шліфування, фаски, канавку остаточно. Розточити отвір Ø90H7 з підрізанням внутрішнього торця Ø90H7/ Ø80 і отвір Ø80, канавки 3×Ø96 остаточно, притупити гострі кромки	Токарний патронний напівавтомат КТ141	Трикулачковий патрон
035	Підрізати торці Ø144/Ø116H7, точити поверхню Ø190, конусну поверхню Ø144×45° остаточно. Розточити отвори Ø90H7, з підрізанням внутрішнього торця Ø90H7/Ø80 під тонке розточування виточки Ø116H7 і двох канавок 3×Ø96	Токарний патронний напівавтомат КТ141	Трикулачковий пневматичний патрон

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
040	Свердли 5 отворів Ø11, два отвори Ø10,2 під різьбу М12-7Н, зенкувати 5 отворів Ø11/Ø17, фаски 2×60°, нарізати різьбу М12. Фрезерувати лиски у розмір 120	Багатоцільовий вертикальний фрезерно-свердлильний ГФ2171	Наладка УСПО
045	Зачистити заусенці	Машина для зняття заусенців	
050	Розточити два отвори Ø90Н7	Алмазно-розточний (спеціальний)	Установочне пристосування
055	Шліфувати Ø130Js6 з підшліфовуванням торця Ø190 (правий торець)	Круглошліфувальний напівавтомат 3У131ВМ	Спеціальна оправка
060	Промити деталь	Машина для миття	
065	Технічний контроль		
070	Нанесення антикорозійного покриття		

Аналіз типового технологічного процесу механічної обробки дозволяє зробити висновок, що існуючу схему обробки можна прийняти за основу. Однак, враховуючи середньосерійний характер виробництва, доцільно використовувати верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Обробка проводиться партіями, з періодичною заміною деталей одного типу на інший, тому потрібне постійне переналаштування верстатів.

1.2.2 Критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

Базовий технологічний процес механічної обробки деталі «Корпус Г20.01.004», що використовується на підприємстві наведено в таблиці. 1.2.

Таблиця 1.2 – Маршрут механічної обробки деталі «Корпус Г20.01.004» (І варіант ТП – базовий)

№ операції	Найменування і короткий зміст операції, технологічні бази	Обладнання
1	2	3
005	Токарна з ЧПК Точити правий торець попередньо, точити фаску, точити правий торець остаточно, розточити точний внутрішній отвір попередньо з підрізанням торця, розточити фаску, розточити канавку, розточити внутрішній отвір однократно, розточити точний внутрішній отвір остаточно.	1В340Ф30
010	Токарна з ЧПК Точити лівий торець попередньо, точити лівий торець остаточно, розточити точний внутрішній отвір попередньо, розточити фаску, розточити внутрішній отвір однократно, розточити точний внутрішній отвір остаточно.	1В340Ф30
015	Токарна з ЧПК Точити зовнішню поверхню попередньо, точити дві канавки однократно, точити зовнішню поверхню остаточно.	16А20Ф3
020	Внутрішньошліфувальна Шліфувати точний отвір з лівої сторони деталі.	3А240
025	Внутрішньошліфувальна Шліфувати точний отвір з правої сторони деталі.	3А240
030	Вертикально-фрезерна з ЧПК Фрезерувати паз однократно, центрувати два отвори, свердлити два отвори, нарізати різьбу в двох отворах.	ЛТ260МФ3
035	Вертикально-свердлильна Центрувати чотири отвори, свердлити чотири отвори, нарізати різь в чотирьох отворах.	2Р135Ф1
040	Круглошліфувальна Шліфувати зовнішню поверхню деталі.	3М151
045	Контрольна	

Базовий технологічний процес не побудований по принципу групової обробки деталей. Тому в його складанні не закладені основи групової технології. При обробці партії деталей за такою схемою не забезпечується

висока точність обробки, так як відбувається велика кількість переустановок деталей і виникають похибки при установленні деталі в пристосуваннях.

Звідси випливає висновок: необхідно замінити на операції 005 та 010 токарно-револьверні верстати з ЧПК 1В340Ф30 на токарно-револьверні верстати з ЧПК 1П420ПФ30 та 1П420ПФ40, що дасть можливість проводити точне точіння поверхонь деталі замість шліфування на 020 і 025 операціях, які не завантажені, а також об'єднати операції 010 та 045. Крім того, необхідно об'єднати операції 015 та 045 в базовому технологічному процесі та проводити обробку деталі на токарному верстаті з ЧПК моделі МК6801Ф3, що дасть можливість проводити точне точіння поверхонь деталі замість шліфування.

1.2.3 Сучасні досягнення в галузі технологій, обладнання та оснастки при виготовленні подібних виробів

При удосконаленні процесу механічної обробки, що є темою роботи, в області технології машинобудування доцільне використання групової механічної обробки.

Сучасні досягнення в галузі технології машинобудування дозволяють використовувати високопродуктивні та точні верстати і верстати з ЧПК, токарно-револьверні напівавтомати. Використання такого обладнання дає можливість використати принцип концентрації операцій, переходів на одному верстаті, що забезпечує скорочення часу на установку та зняття деталі, скорочення числа операцій, оборотних коштів в незавершеному виробництві, скорочення циклу підготовки нових виробів та термінів їх поставки, дає можливість використовувати робочу силу нижчої кваліфікації, скорочує кількість менш продуктивного обладнання, зменшує ручну працю.

Таким чином, розроблено удосконалений маршрут механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004», який наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Маршрут механічної обробки деталі «Корпус Г20.01.004»
(II варіант ТП – удосконалений)

№	Назва операції, зміст переходів	Тип обладнання
1	2	4
005	Токарно-револьверна з ЧПК 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити правий торець попередньо, фаску однократно. 3. Точити правий торець остаточно. 4. Розточити точну поверхню попередньо, підрізати торець однократно, точити фаску . 5. Розточити канавку однократно. 6. Розточити поверхню однократно. 7. Розточити точну поверхню попередньо. 8. Розточити точну поверхню остаточно. 9. Зняти заготовку.	Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ30
010	Токарно-револьверна з ЧПК 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити лівий торець попередньо. 3. Точити лівий торець остаточно. 4. Розточити точну поверхню попередньо, фаску однократно. 5. Розточити поверхню однократно. 6. Центрувати чотири отвори на торці деталі. 7. Свердлити чотири отвори. 8. Нарізати різьбу в чотирьох отворах. 9. Розточити точну поверхню попередньо. 10. Розточити точну поверхню остаточно. 11. Зняти заготовку.	Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ40
015	Вертикально-фрезерна з ЧПК Фрезерувати паз однократно, центрувати два отвори, свердлити два отвори, нарізати різьбу в двох отворах.	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3
020	Токарна з ЧПК Точити зовнішню поверхню попередньо, точити зовнішню поверхню попередньо, точити дві канавки однократно, точити зовнішню поверхню остаточно.	Токарний верстат з ЧПК МК6801Ф3
025	Контрольна	

Запропонований варіант маршруту механічної обробки побудований за принципом концентрації операцій, тобто на одному верстаті виконується велика кількість переходів механічної обробки. Така організація побудови технологічного процесу можлива завдяки використанню верстатів з ЧПК.

При цьому забезпечується досить висока точність обробки, так як кількість переустановок деталі мінімальна, і похибки, що виникають при установці деталі в пристосуваннях зведені до мінімуму.

Крім того, скорочується кількість верстатів, час на обробку, робітники, площі, а значить знижується собівартість та підвищується продуктивність процесу механічної обробки.

1.2.4 Вибір аналогу дільниці групової механічної обробки деталі типу «Корпус Г20.01.004»

Аналогом для розробки даного дипломного проекту є існуюча дільниця механічної обробки деталей типу «Корпус Г20.01.004» та існуючий технологічний процес механічної обробки даної деталі. Деталь виготовляється в механічному цеху базового підприємства. Базовий технологічний процес має ряд недоліків. У зв'язку з чим необхідні капітальні вкладення для придбання обладнання: токарно-револьверного верстату з ЧПК 1П420ПФ30 та 1П420ПФ40, токарного верстату з ЧПК МК6801Ф3 (1 шт.).

Розробка технічних вимог до об'єкту проектування:

- назва об'єкту: дільниця групової механічної обробки деталі типу «Корпус Г20.01.004»;
- склад об'єкту: дільниця повинна складатися з дільниці механічної обробки, складу заготовок, складу готових виробів, дільниці контролю якості виробів, міжопераційного транспорту;

- вихідні дані для проектування об'єкту: креслення деталі типу «Корпус Г20.01.004»; річна програма випуску – 3000 шт.; приведена програма – 19580 шт.;

- вимоги до рівня автоматизації: дільниця, що має бути спроектована, повинна мати досить високий рівень автоматизації, для чого обладнати дільницю верстатами з ЧПК або напівавтоматами;

- вимоги щодо безпеки праці: дільниця має бути спроектована відповідно вимогам безпеки праці.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС Г20.01.004»

2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі

2.1.1 Якісний аналіз технологічності конструкції деталі

Деталь «Корпус Г20.01.004» містить досить зручні базові поверхні, в якості яких можуть бути використані зовнішні поверхні, хоча бажано створити штучні технологічні бази у вигляді центрових отворів, які будуть використовуватися протягом усього технологічного процесу. Задана точність поверхонь може бути досягнута на верстатах підвищеної точності. Деталь містить ряд уніфікованих елементів, а саме – шпонковий паз та шліцева поверхня. Для механічної обробки важкодоступних місць не має, потреби у спеціальних пристосуваннях та вимірювальних інструментах теж немає.

Деталь містить ряд точних поверхонь 8 квалітету, які можуть бути отримані тонким точінням або шліфуванням. Крім того, на одній з поверхонь є шпонковий паз, який вимагає спеціального пристосувань для його виконання. На кресленні валу вказано ряд стандартних канавок, які можуть бути отримані стандартним ріжучим інструментом і слугують для виходу шліфувального круга при обробці точних поверхонь.

Матеріал деталі – сталь 45 ГОСТ 1050-88. Маса деталі 4,72 кг. Заготовку можна отримувати штампуванням або використовувати прокат. Виробництво серійне і доцільним є застосування верстатів, що дозволяють ввести елементи автоматизації в даних умовах, тобто верстати з ЧПК.

В цілому деталь не містить важкодоступних для обробки місць і може бути отримана із вказаними вимогами точності поверхонь та їх взаємного розташування.

2.1.2 Кількісний аналіз технологічності конструкції деталі

Коефіцієнт уніфікації [1, 9]:

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

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

Таблиця 2.1 – Лінійні розміри

Лінійний розмір	ø73	ø70	ø66	5	15	23	45	20	5	45	149	38	200	155
Уніфікований розмір	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-
Лінійний розмір	Ø76	3.5	ø75	Ø76.2	10	Ø92	212	40	20	Ø95	46	23	33	66
Уніфікований розмір	-	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-
Лінійний розмір	M8 (4 шт.)	18	89.5	R0.5	R0.5	R9	R9	M6	M6	0,5	1,6	2,5		
Уніфікований розмір	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
Кількість лінійних розмірів – 36							Кількість уніфікованих розмірів – 27							

Таблиця 2.2 – Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів

Розміри				Шорсткість	
Лінійні		Кутові			
P_x	$P_{x,y}$	P	P_y	Ш	Ш _y
40	24	4	4	3	3

Тоді коефіцієнт уніфікації буде рівним:

$$K_{\text{ye}} = \frac{31}{40} = 0,9 > 0,6 .$$

Умова виконується, деталь технологічна.

Коефіцієнт точності обробки [1, 9]:

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

де T_{φ} – середній квалітет точності;

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

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

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт точності обробки

Квалітет	Кількість поверхонь	Розрахунок
7	2	7·2=14
8	2	8·2=16
9	1	9·1=9
14	19	14·19=266
Всього	24	305

Тоді коефіцієнт точності обробки

$$T_{\varphi} = \frac{305}{24} = 12,7 ;$$

$$K_{\tau} = 1 - \frac{1}{12,7} = 0,92 > 0,8 .$$

Умова виконується, деталь технологічна.

Коефіцієнт шорсткості [1, 9]:

$$K_w = \frac{1}{III_{\varphi}}, \quad (2.4)$$

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

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

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

Таблиця 2.4 – Коефіцієнт шорсткості поверхні

Шорсткість R_a , мкм	Кількість поверхонь	Розрахунок
1,6	1	$1,6 \cdot 1 = 1,6$
3,2	9	$3,2 \cdot 9 = 28,8$
6,3	7	$6,3 \cdot 7 = 44,1$
12,5	7	$12,5 \cdot 7 = 87,55$
Всього	24	249,5

Тоді

$$Ш_{\varphi} = \frac{249,5}{24} = 10,4 ;$$

$$K_{ш} = \frac{1}{10,4} = 0,1 < 0,32 .$$

Умова виконується, деталь технологічна.

Отже, виконуються умови:

$$K_y = 0,79 > 0,6 ;$$

$$K_T = 0,92 > 0,8 ;$$

$$K_{ш} = 0,1 < 0,32 .$$

Тобто, деталь технологічна за якісними та кількісними показниками.

2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт

2.2.1 Визначення типу виробництва

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

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

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

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

Згідно креслення деталі встановлені найбільш характерні переходи механічної обробки деталі «Корпус Г20.01.004» і занесено до таблиці 2.5.

Згідно рекомендацій [9] наближено визначено тип виробництва, як серійний.

Для записаних в таблиці 2.5 переходів механічної обробки наближено визначено основний час механічної обробки.

Для встановлених переходів розраховуємо штучно-калькуляційний час

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

де $T_{осн}$ – основний час обробки, хв;

φ_k – коефіцієнт [1, 9].

Для кожного переходу механічної обробки необхідна кількість верстатів

$$C_p = \frac{N \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot F_q \cdot t \cdot \eta} \text{ [шт.]}, \quad (2.8)$$

де N – річна програма випуску деталі, $N = 3000$ шт.;

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

F_q – дійсний річний фонд часу, год. ($F_q = 3890$ год.);

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

Пророзрахункову кількість верстатів заокруглено до найближчого більшого числа і одержано прийняту кількість верстатів P .

Таблиця 2.5 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій

№ п/п	Зміст технологічних переходів	Формула для розрахунку $T_{\text{очн}} \times 10^{-3}$ хв.	Параметри обробки, мм	$T_{\text{очн}}$, хв	φ_k	$T_{\text{шт.к.}}$, хв.	m_p	P	$\eta_{z.f.}$	O	$K_{z.o.}$
1	Точіння попереднє поверхні $\varnothing 95d8 \begin{smallmatrix} (-0,120) \\ (-0,174) \end{smallmatrix}$	$0,17Dl$	$D=95;$ $l=212$	3,4	1,35	4,59	0,075	1	0,15	5,33	12,92
2	Точіння попереднє поверхні $\varnothing 95d8 \begin{smallmatrix} (-0,120) \\ (-0,174) \end{smallmatrix}$	$0,18Dl$	$D=95;$ $L=212$	3,63	1,35	4,9	0,08	1	0,16	5,0	
3	Точіння остаточне поверхні $\varnothing 95d8 \begin{smallmatrix} (-0,120) \\ (-0,174) \end{smallmatrix}$	$0,2Dl$	$D=95;$ $L=212$	4,03	1,35	5,44	0,085	1	0,17	4,7	
4	Розточування попереднє поверхні $\varnothing 75H8^{(+0,046)}$	$0,18Dl$	$D=75;$ $l=149$	2,01	1,35	2,7	0,045	1	0,09	8,89	
5	Розточування остаточне поверхні $\varnothing 75H8^{(+0,046)}$	$0,2Dl$	$D=75;$ $l=149$	2,23	1,35	3,01	0,048	1	0,096	8,33	

Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання:

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

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

P_i – кількість робочих місць для виконання даної операції.

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

$$O_i = \frac{\eta_{z.o.}}{\eta_{z.f.i}}, \quad (2.10)$$

де $\eta_{\text{н.н}}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання;

$\eta_{\text{з.ф.і}}$ – фактичний коефіцієнт завантаження обладнання, на i -ій операції.

Знайдено сумарну кількість операцій, що можуть бути виконані на всіх робочих місцях $\sum O_i$

$$\sum O_i = 10,7 + 10 + 9,4 + 17,8 + 16,7 = 64,6.$$

Розраховано сумарну кількість прийнятих верстатів $\sum P = 5$.

Всі розрахункові дані занесені до таблиці 2.5.

Встановлено коефіцієнт закріплення операцій

$$K_{\text{з.о.}} = \frac{66,6}{5} = 12,92.$$

Отже, $10 < K_{\text{з.о.}} = 12,92 < 20$ – виробництво середньосерійне.

2.2.2 Визначення форми організації роботи

Заданий добовий випуск виробів [9]:

$$N_{\text{д}} = \frac{N}{254} \text{ [шт.]}, \quad (2.11)$$

$$N_{\text{д}} = \frac{3000}{254} = 11,8 \rightarrow 12 \text{ (шт.)}$$

де 254 – кількість робочих днів у році.

Добова продуктивність потокової лінії:

$$Q_{\text{д}} = \frac{F_{\text{д}}}{T_{\text{шт}} - K_{\text{оп}}} \cdot \eta_{\text{з}} \text{ [шт.]}, \quad (2.12)$$

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

$$T_{\text{шт} - \kappa_{\text{ср}}} = \frac{\sum T_{\text{шт} - \kappa_i}}{\sum n_i} \text{ [хв]}, \quad (2.13)$$

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

Відповідно середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів становитиме:

$$T_{\text{шт} - \kappa_{\text{ср}}} = \frac{4,59 + 4,9 + 5,44 + 2,7 + 3,01}{5} = 4,128 \text{ (хв)}$$

Отже, добова продуктивність лінії становитиме:

$$Q_o = \frac{952 \cdot 0,8}{4,128} = 184,5 \rightarrow 185 \text{ (шт.)}$$

Оскільки потрібний добовий випуск виробів N_o значно менший добової продуктивності лінії Q_o ($N_o < Q_o$), то застосування однономенклатурної потокової лінії недоцільно. Тому приймається групова форма організації роботи.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску:

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

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

$$n = \frac{3000 \cdot 6}{254} = 70,8 \approx 71 \text{ (шт.)}$$

Розрахункова кількість змін на обробку всієї партії деталей на основних робочих місцях:

$$C = \frac{T_{\text{шт-к ср}} \cdot n}{476 \cdot 0,8} \text{ [змін]}, \quad (2.15)$$

$$C = \frac{4,128 \cdot 71}{476 \cdot 0,8} = 0,77 ; \quad C_{\text{пр}} = 1 \text{ зміна.}$$

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

$$n = \frac{C_{\text{пр}} \cdot 476 \cdot 0,8}{T_{\text{шт-к ср}}} = \frac{1 \cdot 476 \cdot 0,8}{4,128} = 92,2 \rightarrow 93 \text{ (шт.)}$$

Прийнято $n = 93$ шт.

Висновок. Тип виробництва – середньосерійний, форма організації роботи – групова, при цьому кількість деталей в партії для одночасного запуску складає 93 штук.

2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

2.3.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки

Орієнтуючись на робоче креслення деталі, масу та серійність виробництва встановлюємо метод одержання заготовки – пластичне деформування та трубний прокат, так як деталь виготовляється з матеріалу Сталь 45.

Можливі способи виготовлення заготовки пластичним деформуванням [10-12]:

- гаряче штампування на механічних пресах;
- гаряче штампування на молотах;
- штампування видавлюванням на гідравлічних пресах;
- штампування на горизонтально-кувальних машинах;
- трубний прокат.

На основі проведеного аналізу [10-12] обрано остаточно два способи виготовлення заготовки: штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП) та трубний прокат.

2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки для двох способів її виготовлення

Вибір норм точності заготовок [11]

- Клас точності. Обираємо відкрите штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах. Так, як у нас середньосерійне виробництво, обираємо клас точності поковки – Т4, Т5. Приймаємо – Т5.

- Група сталі. Матеріал деталі – Сталь 45 з вмістом вуглецю 0,40%. Отже, група сталі – М2.

- 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.

Орієнтовано масу штампованої заготовки (поковки) можна розрахувати за формулою:

$$Q_n = Q_{\text{дет}} \cdot K_p \text{ [кг]}, \quad (2.16)$$

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

K_p – коефіцієнт для визначення орієнтованої розрахункової маси штампованої заготовки (поковки), $K_p=1,3-1,6$. Приймаємо $K_p=1,3$.

$$Q_n = 4,72 \cdot 1,3 = 6,14 \text{ (кг)}.$$

Масу фігури знаходимо за формулою:

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

де V_{ϕ} – об'єм фігури, м^3 ;

ρ – густина матеріалу деталі, $\rho = 7,814 \cdot 10^{-6} \text{ кг/мм}^3$.

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot 1,05^2}{4} \cdot l \cdot 1,05 = \frac{3,14 \cdot 95^2 \cdot 1,05^2}{4} \cdot 212 \cdot 1,05 = 1655889 \quad (\text{мм}^3);$$

$$Q_{\phi} = 1655889 \cdot 7,814 \cdot 10^{-6} = 12,7 \text{ (кг)}.$$

Отже,

$$Q_n/Q_{\phi} = 6,14/12,7 = 0,48,$$

де Q_n/Q_{ϕ} – ступінь складності штамповки С2.

- Конфігурація поверхні роз'єднання штампа. Поверхня роз'єднання штампа буде плоскою, що забезпечує відносно просте виготовлення штампів і гарні умови обрізання облою.

- Вихідний індекс. Він визначається залежно від попередньо визначених параметрів – маси штампованої заготовки $Q_n = 6,136 \text{ кг}$, групи сталі – М2, ступеню складності С2 та класу точності Т5 за номограмою. Отже, вихідний індекс – 16.

- Вибір припусків на механічну обробку.

Основні припуски встановлюються залежно від вихідного індексу – 7, розміру та шорсткості оброблюваної поверхні (згідно з робочим кресленням деталі). Припуск призначається на сторону.

- Додаткові припуски на зміщення по поверхні роз'єднання штампа признаємо виходячи з того, що в даному випадку плоска конфігурація роз'єднання штампа і враховуючи клас точності – Т5 та масу заготовки.

Всі вибрані значення занесено до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахунок розмірів штампованої заготовки

Вихідні дані (норми точності)	Відкрите штампування на КГШП	
	Згідно з ГОСТ 7505-89	Прийнято
Клас точності	T4-T5	T5
Марка матеріалу	M2	M2
Ступінь складності	C2	C2
Індекс	16	16
Конфігурація поверхні роз'єднання штампа	П	П
Припуски основні:	Розрахункові розміри, мм	
	$\varnothing 95d8 \left(\begin{smallmatrix} -0,120 \\ -0,174 \end{smallmatrix} \right)$	212
	2,0	2,4
Додаткові на зміщення по поверхні роз'єднання штампа	0,4	0,4
Для врахування вигнутості і відхилення від площинності, прямолінійності	0,6	0,6
	Розміри заготовки, мм	
	$\varnothing 101$	218,8
Допуски розмірів:	$4,0 \left(\begin{smallmatrix} +2,7 \\ -1,3 \end{smallmatrix} \right)$	$4,5 \left(\begin{smallmatrix} +3,0 \\ -1,5 \end{smallmatrix} \right)$
На зміщення по поверхні роз'єднання штампа	1,0	
По вигнутість, відхилення від площинності та прямолінійності	1,2	
Радіусів заокруглень	2,0	
Величина залишкового облою	2,0	

• Додаткові припуски для врахування вигнутості і відхилення від площинності, прямолінійності призначаємо залежно від класу точності T5 та найбільшого габаритного розміру 212 мм.

• Загальний припуск на оброблювану поверхню визначається як сума основного та відповідних додаткових припусків. При призначенні величини припуску на поверхню, положення якої визначається двома і більше розмірами заготовки, встановлюється найбільше значення припуску для даної поверхні.

Загальний припуск на розміри заготовки

$$\varnothing 95d8 \rightarrow 95 + 2 \cdot (2,0 + 0,4 + 0,6) = 101 \text{ (мм)};$$

$$212 \rightarrow 212 + 2 \cdot (2,4 + 0,4 + 0,6) = 118,8 \text{ (мм)}.$$

- Допуски розмірів і допустимі відхилення лінійних розмірів призначаються залежно від вихідного індексу та розмірів штампованої заготовки.
- Допустимі величини зміщення по поверхні роз'єднання штампа та залишкового облою вибираються залежно від маси штампованої заготовки $Q_n = 6,136 \text{ кг}$ та класу точності T5.
- Допустимі відхилення від вигнутості, прямолінійності для плоских поверхонь встановлюються за найбільшим розміром штампованої заготовки – 218,8 мм та класом точності T5.
- Допуски радіусів заокруглень внутрішніх і зовнішніх кутів заготовки залежать від величини радіусів $r = 2 \text{ мм}$ та класу точності T5 і вибираються за таблицею 24.

Допустимі відхилення штампувальних нахилів встановлюються в межах $\pm 0,25$ їх нормальної величини 3-5°.

Заготовка із прокату.

Визначимо припуски для кожного переходу механічної обробки та визначимо потрібний діаметр прокату. Дані занесемо до таблиці 2.7.

Таблиця 2.8 – Розрахунок розмірів трубного прокату

Розмір деталі, мм	Переходи механічної обробки	Табличне значення припуску, мм	Розмір заготовки, мм
1	2	3	4
$\varnothing 95d8^{(-0,120)}_{(-0,174)}$	Точіння попереднє Точіння остаточне Шліфування однократне	1,5 0,5 0,25 $\Sigma 4,5$	$95 + 2 \cdot 4,5 = 99,5$
$\varnothing 70H8^{(+0,046)}$	Розточування попереднє Розточування остаточне Шліфування однократне	1,4 0,4 0,2 $\Sigma 2,0$	$70 - 2 \cdot 2,0 = 66$

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4
212	Підрізання торцю попереднє Підрізання торцю остаточне	1,2 0,3 $\Sigma 1,5$	 $212 + 2 \cdot 1,5 = 215$

Отже, параметри для вибору труби: зовнішній діаметр – 99,5 мм, внутрішній – 66 мм, довжина 215 мм.

Приймаємо трубу $\varnothing 102^{+0,6}_{-1,6}$ мм з товщиною стінки 18 мм, довжиною 215 мм.

Так як зовнішній діаметр перевищує розрахунковий на $102 - 99,5 = 2,5$ (мм), то на першому переході глибина різання повинна складати 2,75 мм (1,2 мм напуску). Внутрішній діаметр деталі $66^{+0,5}_{-1,1}$ мм не підлягає обробці. При вибраних розмірах товщини стінки (18 мм) буде забезпечено $\varnothing 66$: $\varnothing 102 - 2 \cdot 18 = 66$ (мм).

Отже, заготовка з прокату – Труба $\frac{102 \times 18 - \text{В ГОСТ } 8734 - 78}{\text{Сталь } 45 \text{ X ГОСТ } 1050 - 89}$.

Обираємо прокат довжиною 6 м, що дозволить отримати 27 заготовок з одного прутка.

2.3.3 Оформлення двох ескізів заготовок

Після виконання розрахунку розмірів заготовки, вибору конструктивних елементів заготовки (для двох найбільш доцільних способів її виготовлення) зображено ескіз заготовки для штампування на КГШП та заготовки з прокату (рис. 2.1).

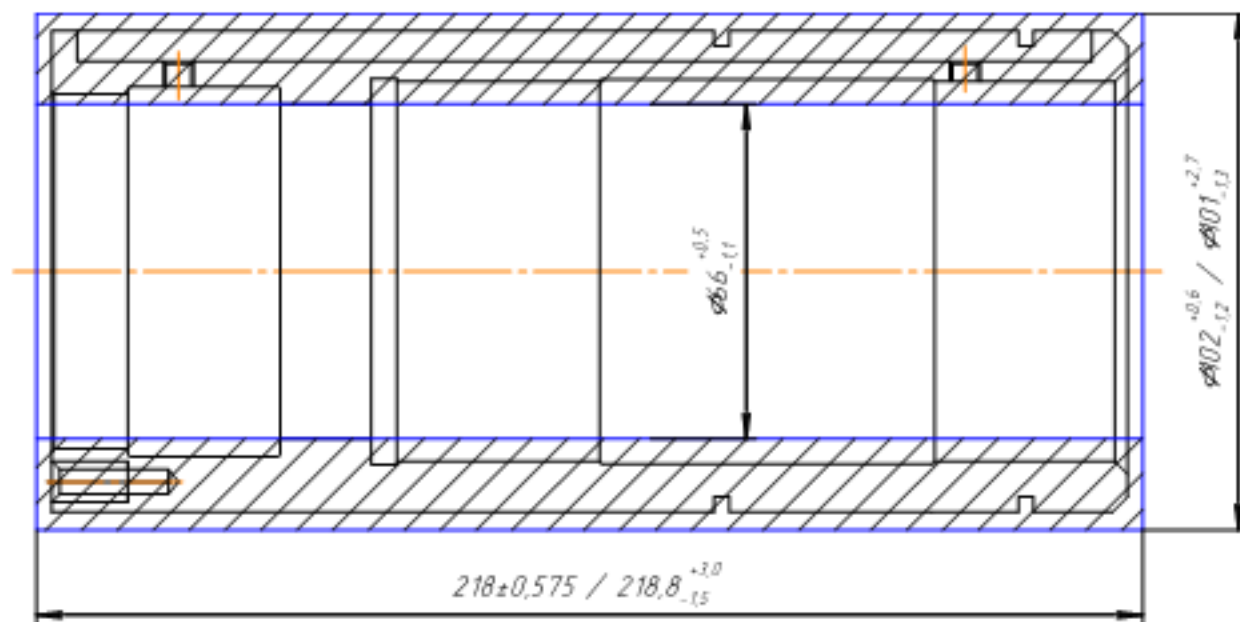


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки виготовленої з прокату / виготовленої штампуванням

Призначення технічних вимог на заготовки.

Технічні вимоги призначаються для кожного з альтернативних способів отримання заготовки [11].

Для штампованої заготовки.

1. Клас точності T5, група сталі M2, ступінь складності C2.
2. Не вказані штампувальні нахили 3-5°, радіуси заокруглень – 2 мм.
3. Допустима величина зміщення по площині роз'єднання штампа 1,0 мм.
4. Допустиме відхилення від площинності, прямолінійності – 1,2 мм.
5. Допуски радіусів заокруглень ± 1 мм.
6. Допустимі відхилення штампувальних нахилів $\pm 0,25$ мм.

Для заготовки із прокату.

1. Допустима кривизна заготовки 0,6 мкм/мм.

2.3.4 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси двох варіантів заготовки

Коефіцієнт точності маси заготовки [11]:

$$\gamma = G_{\text{дет}}/G_{\text{заг}}, \quad (2.18)$$

де $G_{\text{дет}}$ – маса деталі, кг;

$G_{\text{заг}}$ – маса заготовки, кг.

Масу заготовки визначаємо використовуючи прикладні комп'ютерні програми. Приклад використання програми при визначенні масо-центрувальних характеристик заготовки показано на рис. 2.2.

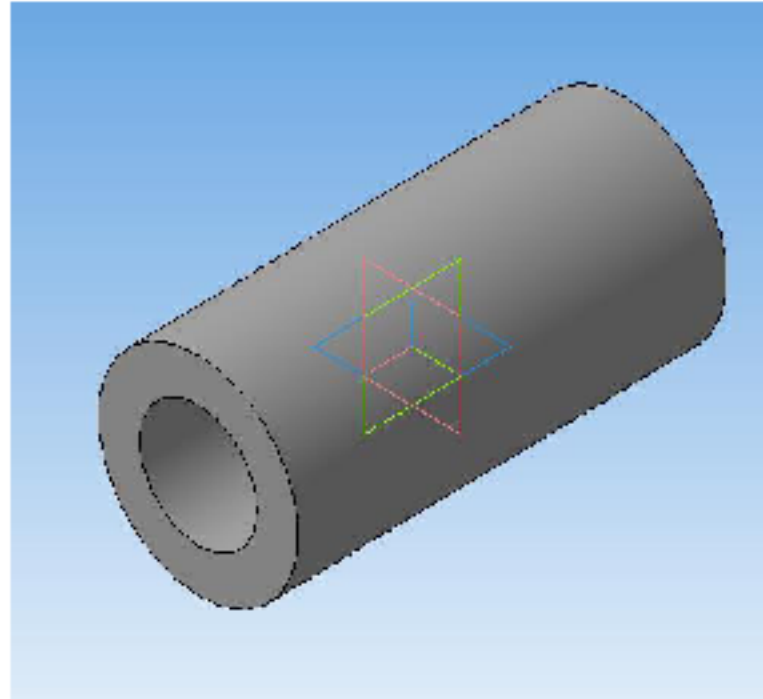


Рисунок 2.2 – Визначення маси заготовки

Тоді коефіцієнт точності маси штампованої заготовки

$$\gamma_{\text{шт}} = 4,72/9,11 = 0,52.$$

Коефіцієнт точності маси заготовки із прокату

$$\gamma_{\text{пр}} = 4,72/7,96 = 0,593.$$

2.3.5 Техніко-економічне порівняння двох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого

Вартість заготовки визначаємо за формулою [11]:

$$C_{\text{заг}} = \left(\frac{G_{\text{заг}}}{1000} \cdot C_{\text{шт}} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{\Pi} \right) - \left(\frac{G_{\text{заг}} - G_{\text{дем}}}{1000} \right) \cdot C_{\text{відх}} \quad [\text{грн.}], \quad (2.19)$$

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

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;

K_n – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва;

$C_{\text{відх}}$ – вартість 1 т стружки, для сталі $C_{\text{відх}} = 2250$ грн.

Призначаємо коефіцієнти: $K_T = 1$, $K_M = 1$, $K_C = 0,84$, $K_B = 0,87$, $K_n = 1$.

Тоді вартість штампованої заготовки:

$$C_{\text{шт.шт.}} = \frac{9,11}{1000} \cdot 16730 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 0,87 \cdot 1 - \frac{(9,11 - 4,72)}{1000} \cdot 2250 = 100,3 \text{ (грн.)}$$

Вартість заготовки із прокату:

$$C_{\text{пр}} = \frac{7,96}{1000} \cdot 1000 - \frac{(7,96 - 4,72)}{1000} \cdot 2250 = 76,3 \text{ (грн.)}$$

Економічний ефект:

$$E = (C_{\text{шт.шт.}} - C_{\text{шт.пр.}}) \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (2.20)$$

$$E = (100,3 - 76,3) \cdot 3100 = 74400 \text{ (грн.)}$$

Отже, економічно доцільніше виготовляти заготовку із трубного прокату.

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

Визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні $\emptyset 95d8 \begin{smallmatrix} -0,120 \\ -0,174 \end{smallmatrix}$ [1, 9]:

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

$$\varepsilon = \frac{2200}{54} = 40,7 ;$$

де $T_{\text{заг}} = 2200$ мкм – допуск заготовки; $T_{\text{дет}} = 54$ мкм – допуск деталі; ε – загальне уточнення; n – число ступенів обробки; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 \dots, \varepsilon_n$ – окремі ступені уточнення; $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ – допуски на проміжні розміри після технологічних переходів.

Приймаємо $n = 3$ ступені механічної обробки, призначивши: $\varepsilon_1 = 6$; $\varepsilon_2 = 4$; $\varepsilon_3 = 1,7$.

Тоді загальне уточнення

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 = 6 \cdot 4 \cdot 1,7 = 40,7. \quad (2.22)$$

Допуски на проміжні розміри:

$$T_1 = 2200/6 = 370 \text{ (мкм)} \quad (\approx \text{IT12});$$

$$T_2 = 370/4 = 92 \text{ (мкм)} \quad (\approx \text{IT9});$$

$$T_3 = 92/1,7 = 54 \text{ (мкм)} \quad (\text{IT8}).$$

Остаточно приймаємо наступні переходи механічної обробки даної поверхні: точіння попереднє; точіння остаточне; шліфування однократне (або точіння тонке).

Методи обробки інших точних поверхонь занесено до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Визначення способів і кількості ступенів механічної обробки

Поверхневий розмір	Шорсткість R_a , мкм	Загальне уточнення ε	Проміжні уточнення	Вид механічної обробки
$\varnothing 95d8^{(-0,120/-0,174)}$	1,6	40,7	$\varepsilon = 6 \cdot 4 \cdot 1,7$	Точіння попереднє (12 кв.) Точіння остаточне (9) Шліфування однократне (8)
$\varnothing 75H8^{(+0,046)}$	3,2	34,8	$\varepsilon = 6 \cdot 3,5 \cdot 1,65$	Розточування попереднє (12) Розточування остаточне (9) Шліфування однократне (8)
$\varnothing 70H8^{(+0,046)}$	3,2	34,8	$\varepsilon = 6 \cdot 3,5 \cdot 1,65$	Розточування попереднє (12) Розточування остаточне (9) Шліфування однократне (8)

2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чистових і чорнових технологічних баз

На першій операції виконується умова знімання мінімального припуску, обробляються чистові бази, тобто ті технологічні бази, які будуть використовуватись на наступних операціях. Тому важливо визначити насамперед чистові технологічні бази. Комплектом чистових баз в даній деталі є поверхня $\varnothing 75H8$ мм та зовнішній торець (рис. 2.3).

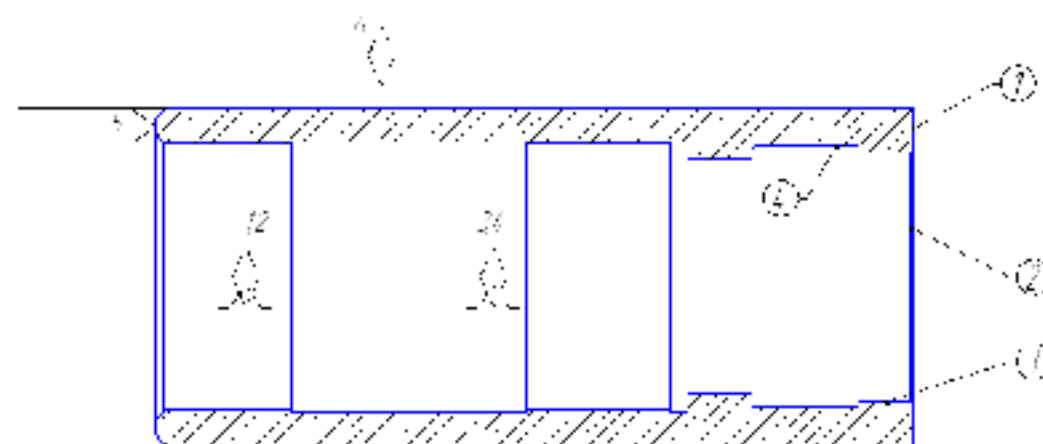


Рисунок 2.3 – Чистові технологічні бази

Виконаємо аналіз оброблюваних поверхонь та розмірів на всіх операціях механічної обробки та похибок базування, що виникають на кожній операції.

На всі діаметральні розміри похибка базування відсутня.

Похибка на розмір $155 \pm 0,25$ мм та $20 \pm 0,25$ мм відсутня – забезпечиться верстатом при свердлінні.

Для лінійного розміру $89,5_{-0,16}$ похибку базування визначаємо за формулою:

$$\varepsilon_{89,5} = \frac{T}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha / 2} - 1 \right) = \frac{0,16}{2} \left(\frac{1}{\sin(45^\circ)} - 1 \right) = 0,03 \text{ мм}$$

де α – кут призми $\alpha = 90^\circ$.

Умова обробки по точності виконується.

На розміри інші розміри похибка також не існує, так як присутня обробка з одного установа.

В цілому запропоновані схеми технологічних баз дозволяють обробити деталь із точністю вказаною на кресленні.

При подальшій механічній обробці забезпечується зв'язок оброблюваних і необроблюваних поверхонь.

На чорновій операції вирішується задача зняття мінімального припуску з поверхонь, що будуть виступати чистовими базами.

В якості чорнових технологічних баз можна використати схему базування на призми (рис. 2.4). Це забезпечить зняття рівномірного мінімального припуску із площини, яка використовується в якості установчої бази.

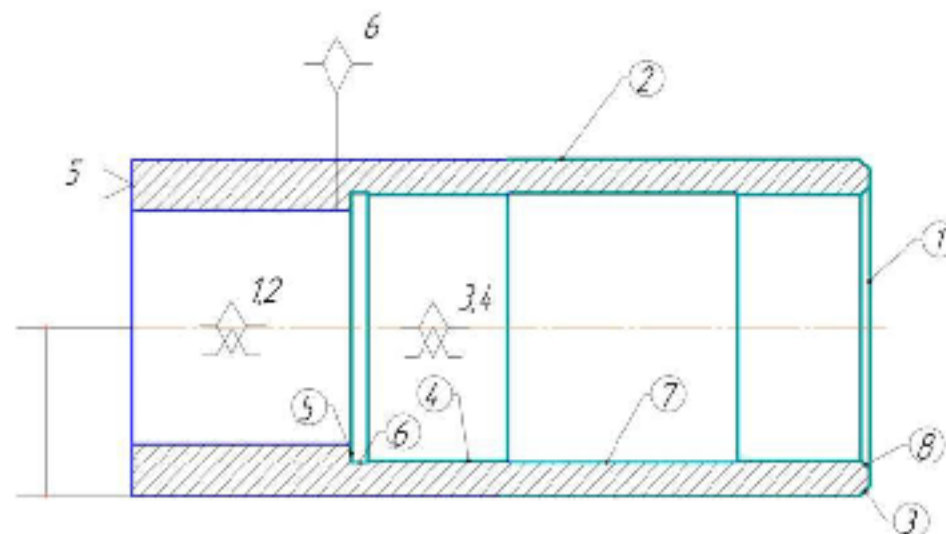


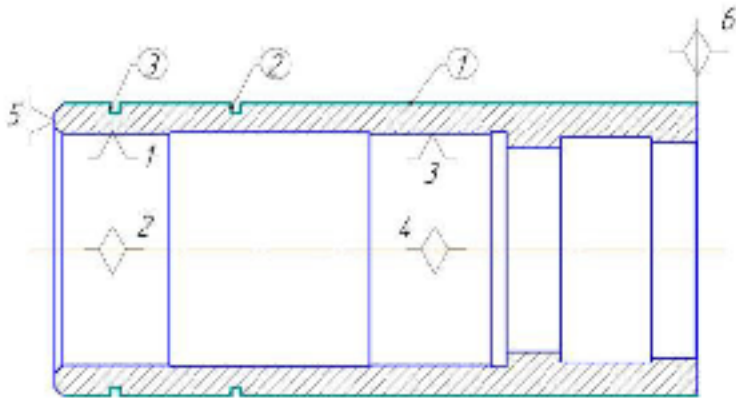
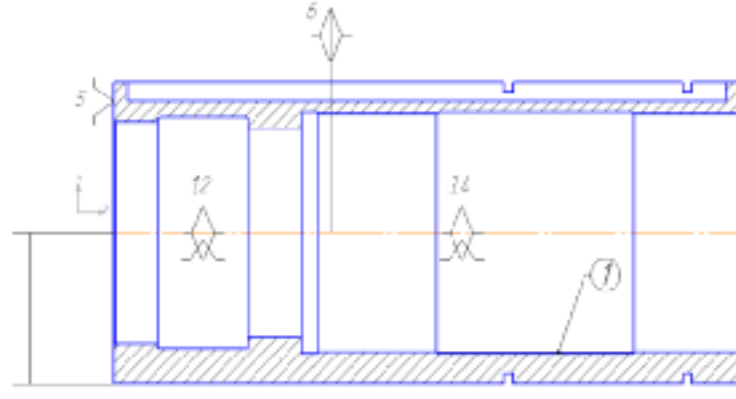
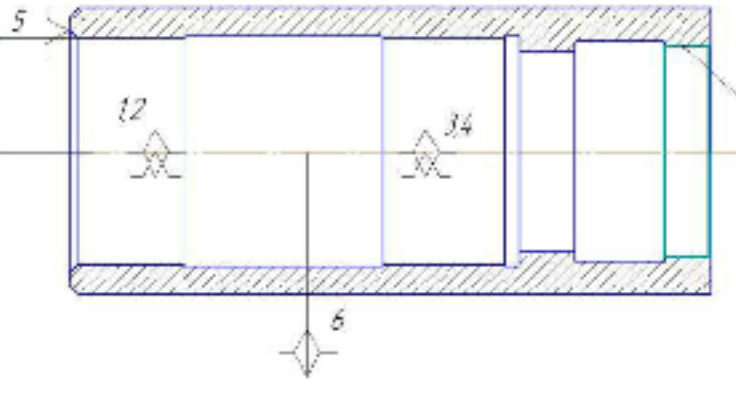
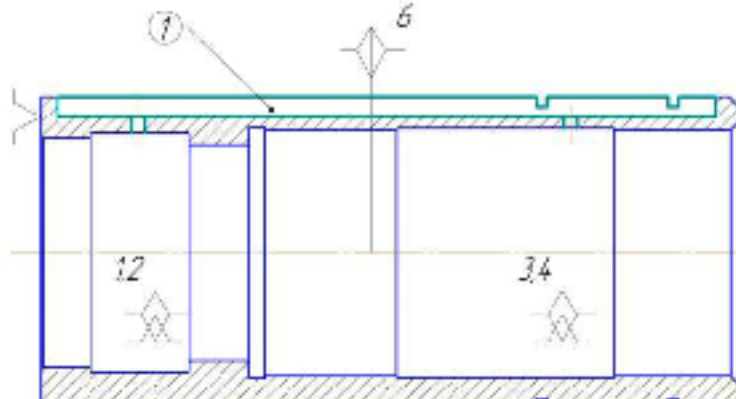
Рисунок 2.4 – Чорнові технологічні бази

2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки

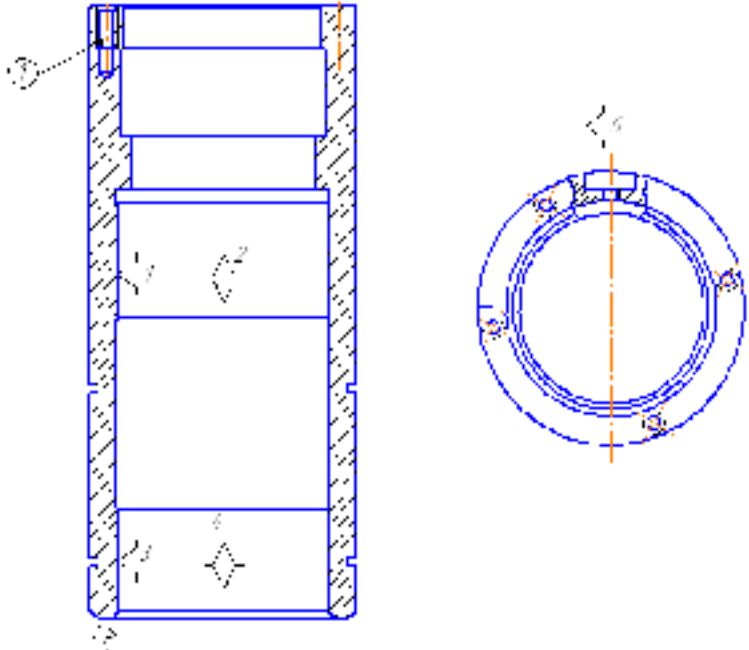
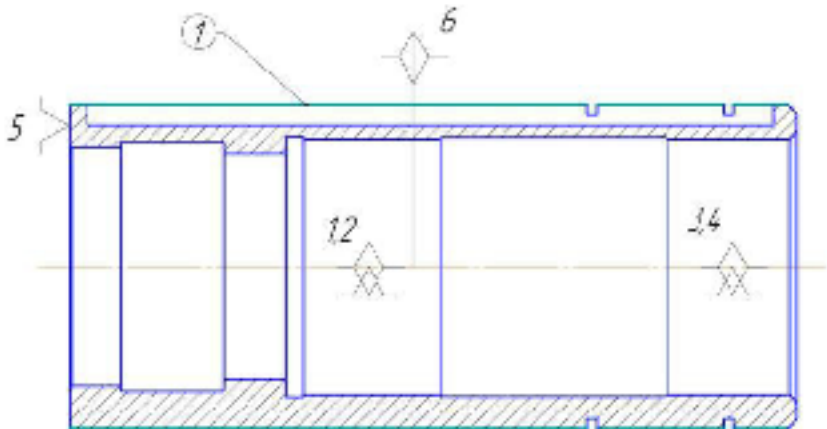
Таблиця 2.9 – Маршрут механічної обробки (варіант I)

№ оп.	Назва операції, зміст переходів	Ескіз обробки, схема базування	Верстат, пристосування
1	2	3	4
005	<u>Токарно-револьверна з ЧПК</u> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити торець 1 попередньо, фаску 3 однократно. 3. Точити торець 1 остаточно. 4. Розточити поверхню 4 попередньо, підрізати торець 5 однократно, точити фаску 8. 5. Розточити канавку 6 однократно. 6. Розточити поверхню 7 однократно. 7. Розточити поверхню 4 остаточно. 8. Зняти заготовку.		Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30
010	<u>Токарно-револьверна з ЧПК</u> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити торець 1 попередньо. 3. Точити торець 1 остаточно. 4. Розточити поверхню 3 попередньо, фаску 2 однократно. 5. Розточити поверхню 4 однократно. 6. Розточити поверхню 3 остаточно. 7. Зняти заготовку.		Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30

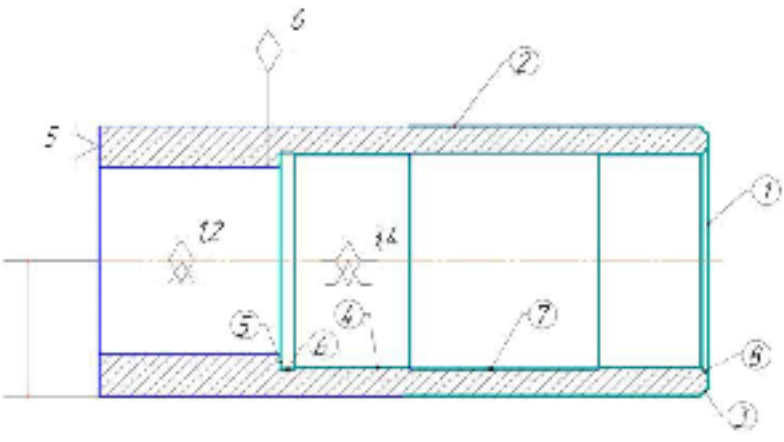
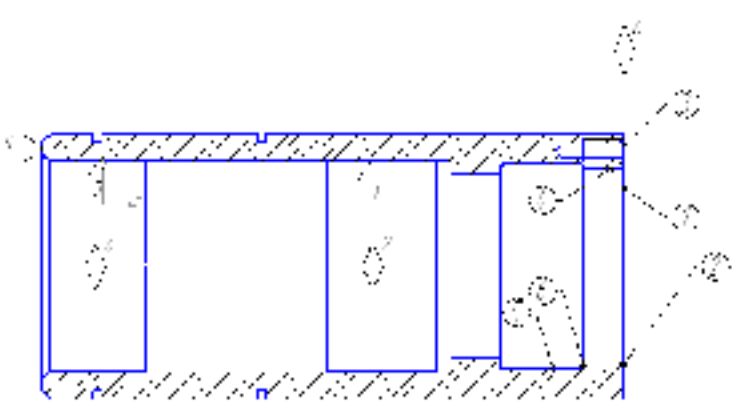
Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4
015	<u>Токарна з ЧПК</u> 1. Встановити та закріпити заготовку. 2. Точити поверхню 1 попередньо. 3. Точити канавки 2 і 3 однократно. 4. Точити поверхню 1 остаточно. 5. Зняти заготовку.		Токарний з ЧПК 16A20Ф3
020	<u>Внутрішньошліфувальна</u> 1. Встановити та закріпити заготовку. 2. Шліфувати поверхню 1 однократно. 3. Зняти заготовку.		Внутрішньо-шліфувальний верстат 3A240
025	<u>Внутрішньошліфувальна</u> 1. Встановити та закріпити та заготовку. 2. Шліфувати поверхню 1 однократно. 3. Зняти заготовку.		Внутрішньо-шліфувальний верстат 3A240
030	<u>Фрезерна з ЧПК</u> 1. Встановити та закріпити заготовку. 2. Фрезерувати паз 1. 3. Центрувати 2 отв. 2. 4. Свердлити 2 отвори 2. 5. Нарізати різьбу в 2 отв. 2. 6. Зняти заготовку.		Вертикально-фрезерний з ЧПК ЛТ260МФ3

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4
035	<u>Вертикально-свердлильна</u> 1. Встановити та закріпити заготовку. 2. Центрувати 4 отв. 1. 3. Свердлити 4 отв. 1. 4. Нарізати різь в 4 отв. 1. 5. Зняти заготовку.		Вертикально-свердлильний з ЧПК 2P135Ф1
040	<u>Круглошліфувальна</u> 1. Встановити та закріпити заготовку. 2. Шліфувати поверхню 1 однократно. 3. Зняти деталь.		Круглошліфувальний 3М151

Таблиця 2.10 – Маршрут механічної обробки (варіант II)

№ оп.	Назва операції, зміст переходів	Ескіз обробки, схема базування	Верстат, пристосування
1	2	3	4
005	<u>Токарно-револьверна з ЧПК</u> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити торець 1 попередньо, фаску 3 однократно. 3. Точити торець 1 остаточно. 4. Розточити поверхню 4 попередньо, підрізати торець 5 однократно, точити фаску 8. 5. Розточити канавку 6 однократно. 6. Розточити поверхню 7 однократно. 7. Розточити поверхню 4 попередньо. 8. Розточити поверхню 4 остаточно. 9. Зняти заготовку.		Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ30
010	<u>Токарно-револьверна з ЧПК</u> 1. Встановити і закріпити заготовку. 2. Точити торець 1 попередньо. 3. Точити торець 1 остаточно. 4. Точити поверхню 4 попередньо, фаску 2 однократно. 5. Точити поверхню 5 однократно. 6. Центрувати 4 отв. 3. 7. Свердлити 4 отв. 3.		Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ40

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4
	8. Нарізати різьбу в 4 отв. 3. 9. Розточити поверхню 4 попередньо. 10. Розточити поверхню 4 остаточно. 11. Зняти заготовку.		
015	<u>Вертикально-фрезерна з ЧПК</u> 1. Встановити та закріпити заготовку. 2. Фрезерувати паз 1 однократно. 3. Центрувати 2 отв. 2 5. Свердли 2 отв. 2. 5. Нарізати різьбу в 2 отв. 2. 6. Зняти заготовку.		Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3
020	<u>Токарна з ЧПК</u> 1. Встановити та закріпити заготовку. 2. Точити поверхню 1 попередньо. 3. Точити поверхню 1 попередньо. 4. Точити послідовно дві канавки 2. 5. Точити поверхню 1 остаточно. 6. Зняти деталь.		Токарний верстат з ЧПК МК6801Ф3

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

Критерієм оптимального вибору між двома варіантами механічної обробки є мінімізація приведених витрат на одиницю продукції. Під час вибору технологічного маршруту ці витрати можуть розраховуватися як питомі значення на 1 годину роботи обладнання.

Технологічна собівартість механічної обробки розраховується за формулою [1]:

$$C_{\sigma} = \frac{C_{\text{п-к}} \cdot T_{\text{шт-к}}}{60 \cdot k_{\text{в}}} \text{ [грн.]}, \quad (2.23)$$

де $C_{\text{п-к}}$ – приведені витрати роботи верстата, грн./год.;

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

$k_{\text{в}}$ – коефіцієнт виконання норм, який звичайно приймається рівним 1,3.

Штучно-калькуляційний час визначається за формулою наближеного нормування:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\sigma} \cdot \varphi_{\kappa} \text{ [хв.]},$$

де T_{σ} – основний час виконання обробки, хв;

φ_{κ} – коефіцієнт, що визначається типом обладнання [1, 9].

Виконаємо нормування операцій, I та II варіантів маршруту механічної обробки. Дані нормування операцій I варіанту маршруту механічної обробки занесемо до таблиці 2.12.

Таблиця 2.11 – Нормування операцій механічної обробки за формулами наближеного нормування (I варіант)

№ оп.	Назва операції, переходи	Основний час виконання обробки $T_o \times 10^{-3}$, хв	φ_k	Штучно-калькуляційний час $T_{шт-к}$, хв
1	2	3	4	5
005	Токарно-револьверна з ЧПК 2. Точити торець 1 попередньо, фаску 3 однократно. 3. Точити торець 1 остаточно. 4. Розточити поверхню 4 попередньо, підрізати торець 5 однократно, точити фаску 8. 5. Розточити канавку 6 однократно. 6. Розточити поверхню 7 однократно. 7. Розточити поверхню 4 остаточно.	$T_{o2} = 0,022(D^2-d^2)+0,022(D^2-d^2) = 0,022(95^2-75^2)+0,022(95^2-92^2) = 63$ $T_{o3} = 0,052(D^2-d^2) = 0,052(95^2-75^2) = 180$ $T_{o4} = 0,068Dl+0,022(D^2-d^2) = 0,068 \cdot 75 \cdot 149 + 0,022(75^2-66^2)+0,022(77,5^2-75^2) = 800$ $T_{o5} = 0,022(D^2-d^2) = 0,022(76,2^2-66^2) = 32$ $T_{o6} = 0,068Dl = 0,068 \cdot 76 \cdot 66 = 340$ $T_{o7} = 0,19Dl = 0,19 \cdot 75 \cdot 83 = 1180$ $\Sigma 2,6 \text{ хв}$	1,3	3,37
010	Токарно-револьверна з ЧПК 2. Точити торець 1 попередньо. 3. Точити торець 1 остаточно. 4. Розточити поверхню 3 попередньо, фаску 2 однократно. 5. Розточити поверхню 4 однократно. 6. Розточити поверхню 3 остаточно.	$T_{o2} = 0,022(D^2-d^2) = 0,022(95^2-75^2) = 75$ $T_{o3} = 0,05(D^2-d^2) = 0,05(95^2-75^2) = 180$ $T_{o4} = 0,068Dl+0,022(D^2-d^2) = 0,068 \cdot 70 \cdot 15 + 0,022(70,5^2-70^2) = 70$ $T_{o5} = 0,068Dl = 0,068 \cdot 73 \cdot 30 = 150$ $T_{o6} = 0,19Dl = 0,19 \cdot 70 \cdot 15 = 200$ $\Sigma 0,675 \text{ хв}$	1,3	0,88
015	Токарна з ЧПК 2. Точити поверхню 1 попередньо. 3. Точити канавки 2 і 3 однократно. 4. Точити поверхню 1 остаточно.	$T_{o2} = 0,075Dl = 0,075 \cdot 95 \cdot 212 = 1510$ $T_{o3} = 2 \cdot 0,022(D^2-d^2) = 2 \cdot 0,022(95^2-92^2) = 24$ $T_{o4} = 0,175Dl = 0,175 \cdot 95 \cdot 212 = 3520$ $\Sigma 5,06 \text{ хв}$	1,3	6,58
020	Внутрішньошліфувальна 2. Шліфувати поверхню 1 однократно.	$T_{o2} = 0,68dl = 0,68 \cdot 75 \cdot 83 = 4230$ $\Sigma 4,23 \text{ хв}$	1,55	6,56
025	Внутрішньошліфувальна 2. Шліфувати поверхню 1 однократно.	$T_{o2} = 0,68Dl = 0,68 \cdot 70 \cdot 15 = 714$ $\Sigma 0,714 \text{ хв}$	1,55	1,11

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4	5
030	Фрезерна з ЧПК 2. Фрезерувати паз 1. 3. Центрувати 2 отв. 2. 4. Свердлити 2 отвори 2. 5. Нарізати різьбу в отв. 2.	$T_{02} = 0,67l = 0,67 \cdot 200 = 1340$ $T_{03} = 2 \cdot 0,56Dl = 2 \cdot 0,56 \cdot 3 \cdot 4 = 13,4$ $T_{04} = 2 \cdot 0,56Dl = 2 \cdot 0,56 \cdot 5,5 \cdot 5,5 = 34$ $T_{05} = 2 \cdot 0,63Dl = 2 \cdot 0,63 \cdot 6 \cdot 5,5 = 42$ $\Sigma 1,42$ хв	1,4	1,97
035	Вртикально-свердлильна 2. Центрувати 4 отв. 1. 3. Свердлити 4 отв. 1. 4. Нарізати різь в 4отв. 1.	$T_{02} = 4 \cdot 0,56Dl = 4 \cdot 0,56 \cdot 4 \cdot 6 = 53,6$ $T_{03} = 4 \cdot 0,56Dl = 4 \cdot 0,56 \cdot 7,5 \cdot 23 = 388$ $T_{04} = 4 \cdot 0,63Dl = 4 \cdot 0,63 \cdot 8 \cdot 15 = 304$ $\Sigma 1,228$ хв	1,35	1,66
040	Круглошліфувальна 2. Шліфувати поверхню 1 однократно.	$T_{02} = 0,23Dl = 0,23 \cdot 95 \cdot 212 = 4630$ $\Sigma 4,63$ хв	1,52	7,04

Аналогічно розраховані норми часу для операцій II варіанту маршруту механічної обробки і занесемо до таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Нормування операцій механічної обробки за формулами наближеного нормування (II варіант)

№ оп.	Назва операції	Основний час виконання обробки T_o , хв	φ_k	Штучно-калькуляційний час $T_{шт-к}$, хв
1	2	3	4	5
005	Токарно-револьверна з ЧПК	4,16	1,3	5,4
010	Токарно-револьверна з ЧПК	1,49	1,3	1,94
015	Вертикально-фрезерна з ЧПК	1,42	1,4	1,97
020	Токарна з ЧПК	7,45	1,3	9,7

Технологічна собівартість виконання операцій варіантів маршруту механічної обробки наведено в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Технологічна собівартість виконання операцій, що відрізняються в маршрутах механічної обробки

Операції	Тип верстату	T_o , хв	$T_{шт-к}$, хв	$C_{н-с}$, грн./год.	C_o , грн.
1	2	3	4	5	6
І варіант ТП					
005	1В340Ф30	2,6	3,37	39,0	1,685
010	1В340Ф30	0,675	0,88	39,0	0,44
015	16А20Ф3	5,06	6,58	38,0	3,2
020	3А240	4,23	6,56	34,6	2,9
025	3А240	0,714	1,11	34,6	0,49
030	ЛТ260МФ3	1,42	1,97	80,7	20,4
045	2Р135Ф1	1,228	1,66	36,5	0,78
040	3М151	4,63	7,04	50,6	4,57
					Σ16,1
ІІ варіант ТП					
005	1П420ПФ30	4,16	5,4	47,5	3,29
010	1П420ПФ40	1,49	1,94	47,5	1,18
015	ЛТ260МФ3	1,42	1,97	80,7	2,04
020	МК6801Ф3	7,45	9,7	48,6	6,04
					Σ12,55

Отже, при використанні першого варіанту технологічного процесу технологічна собівартість операцій виготовлення деталі складатиме 16,1 грн., а при використанні другого варіанту – 12,55 грн.

Економічний ефект:

$$E = (C_{o1} - C_{o2}) \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (2.24)$$

$$E = (16,1 - 12,55) \cdot 3100 = 11005 \text{ (грн.)}$$

Отже, вироби виготовлені за другим із запропонованих технологічних процесів будуть мати меншу собівартість у порівнянні із деталлю, виготовленою за першим варіантом маршруту механічної обробки. Тому приймаємо другий варіант технологічного процесу як остаточний.

2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу

2.8.1 Вибір розташування технологічних розмірів [1]

Розміри B_1 і B_2 отримуються на операції 005 і визначають розташування торцю відносно чистової бази. Розміри B_3 , B_5 і B_6 визначають положення розточки відносно торця деталі. Розмір B_4 визначає розмір канавки.

Розміри B_7 і B_8 отримуються на операції 010 і визначають розташування торцю відносно чистової бази. Розміри B_9 і B_{10} визначають положення розточки відносно торця деталі.

Розміри B_{11} і B_{12} отримуються на операції 015 і визначають положення шпонкового пазу відносно чистової бази. Розміри B_{13} і B_{14} визначають положення різьбових отворів відносно чистової бази.

Розміри B_{15} і B_{16} отримуються на операції 020 і визначають положення зовнішніх канавок відносно чистової бази.

Схема розташування технологічних розмірів показана на рис. 2.5.

2.8.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів

Запишемо значення конструкторських розмірів:

$$K_1 = 212_{-0,3} \text{ мм } (\approx IT 11);$$

$$K_2 = 5 \pm 0,15 \text{ мм } (IT 14);$$

$$K_3 = 200 \pm 0,575 \text{ мм } (IT 14);$$

$$K_4 = 20 \pm 0,25 \text{ мм } (\approx IT 11);$$

$$K_5 = 155 \pm 0,25 \text{ мм } (\approx IT 12);$$

$$K_6 = 149^{+0,3} \text{ мм } (\approx IT 11);$$

$$K_7 = 45 \pm 0,31 \text{ мм } (IT 14);$$

$$K_8 = 5 \pm 0,15 \text{ мм } (IT 14);$$

$$K_9 = 38 \pm 0,31 \text{ мм } (IT 14);$$

$$K_{10} = 45^{+0,3} \text{ мм } (\approx IT 12);$$

$$K_{11} = 30 \pm 0,26 \text{ мм } (IT 14);$$

$$K_{12} = 20 \pm 0,26 \text{ мм (IT 14);}$$

$$K_{13} = 40 \pm 0,31 \text{ мм (IT 14).}$$

Співставляючи розташування технологічних розмірів з кресленням деталі, можна побачити, що деякі технологічні розміри співпадають з конструкторським, тому мають однакові допуски:

$$T(B_4) = T(5) = 0,3 \text{ мм (IT 14);}$$

$$T(B_8) = T(212) = 0,3 \text{ мм } (\approx \text{IT 11});$$

$$T(B_{11}) = T(5) = 0,3 \text{ мм (IT 14);}$$

$$T(B_{12}) = T(200) = 1,15 \text{ мм (IT 14);}$$

$$T(B_{14}) = T(155) = 0,5 \text{ мм } (\approx \text{IT 12});$$

$$T(B_{15}) = T(20) = 0,52 \text{ мм (IT 14).}$$

Допуски на всі інші технологічні розміри призначаємо по відповідним квалітетам точності:

$$T(B_1) = T(217,5) = 1,15 \text{ мм (IT 14);}$$

$$T(B_2) = T(216) = 0,29 \text{ мм (IT 11);}$$

$$T(B_3) = T(67) = 0,3 \text{ мм (IT 12);}$$

$$T(B_5) = T(178) = 0,4 \text{ мм (IT 12);}$$

$$T(B_6) = T(112) = 0,35 \text{ мм (IT 12);}$$

$$T(B_7) = T(213,5) = 0,46 \text{ мм (IT 12);}$$

$$T(B_9) = T(167) = 0,25 \text{ мм (IT 11);}$$

$$T(B_{10}) = T(197) = 0,46 \text{ мм (IT 12);}$$

$$T(B_{13}) = T(25) = 0,21 \text{ мм (IT 12);}$$

$$T(B_{16}) = T(60) = 0,3 \text{ мм (IT 12).}$$

Визначені допуски використовуються при подальших розрахунках технологічних розмірів.

2.8.3 Розмірна схема технологічного процесу

Розмірна схема технологічного процесу показана на рис. 2.5.

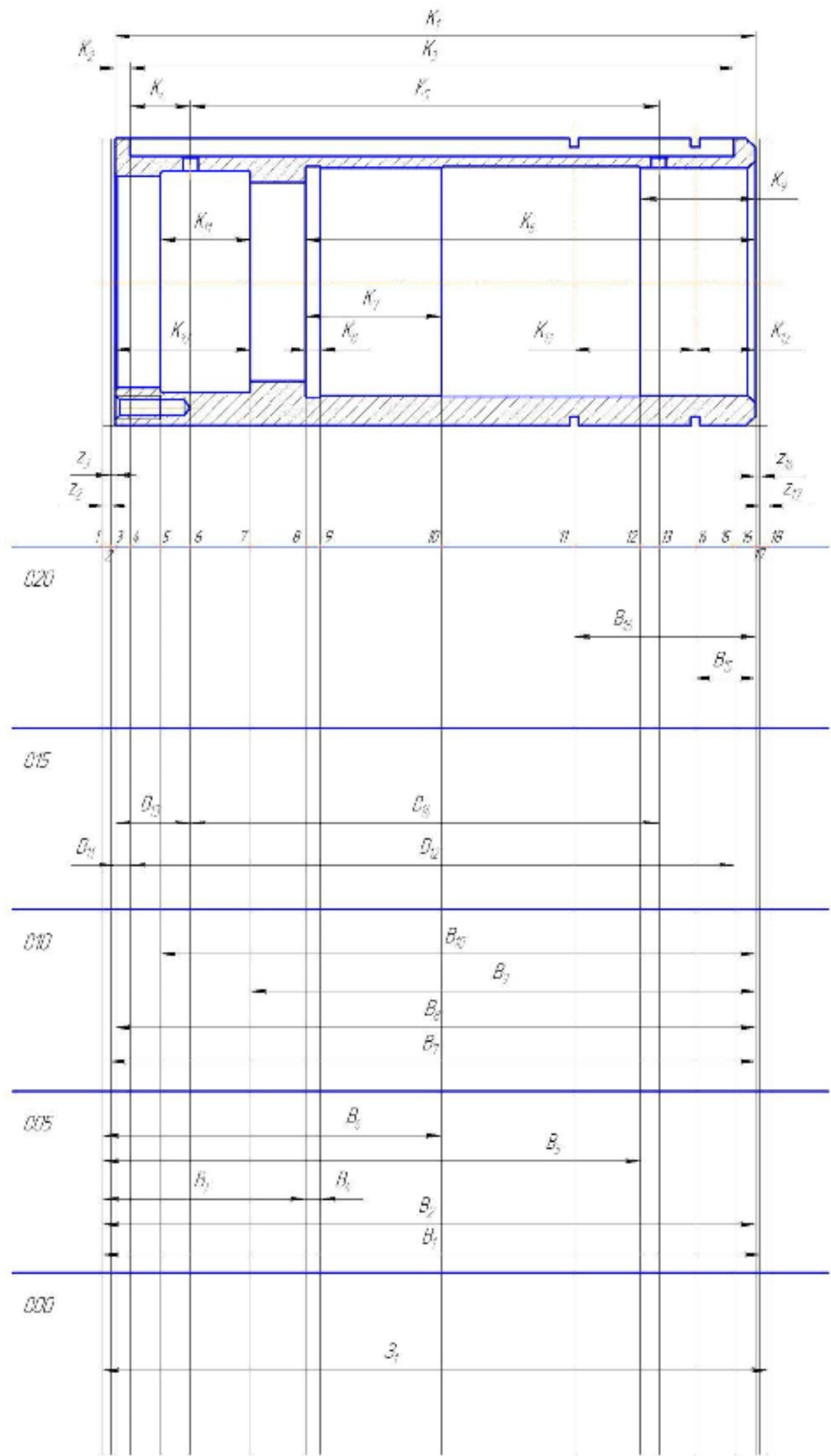


Рисунок 2.5 – Розмірна схема технологічного процесу

2.8.4 Похідний, вихідний граф-дерева, суміщений граф

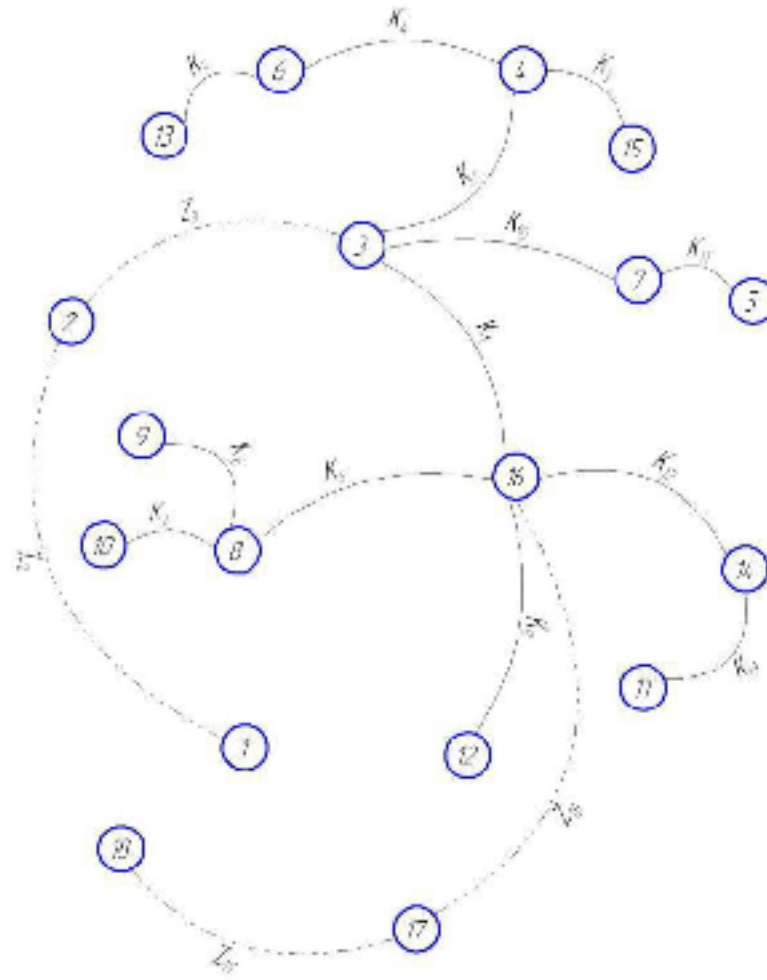


Рисунок 2.6 – Вихідний граф-дерево

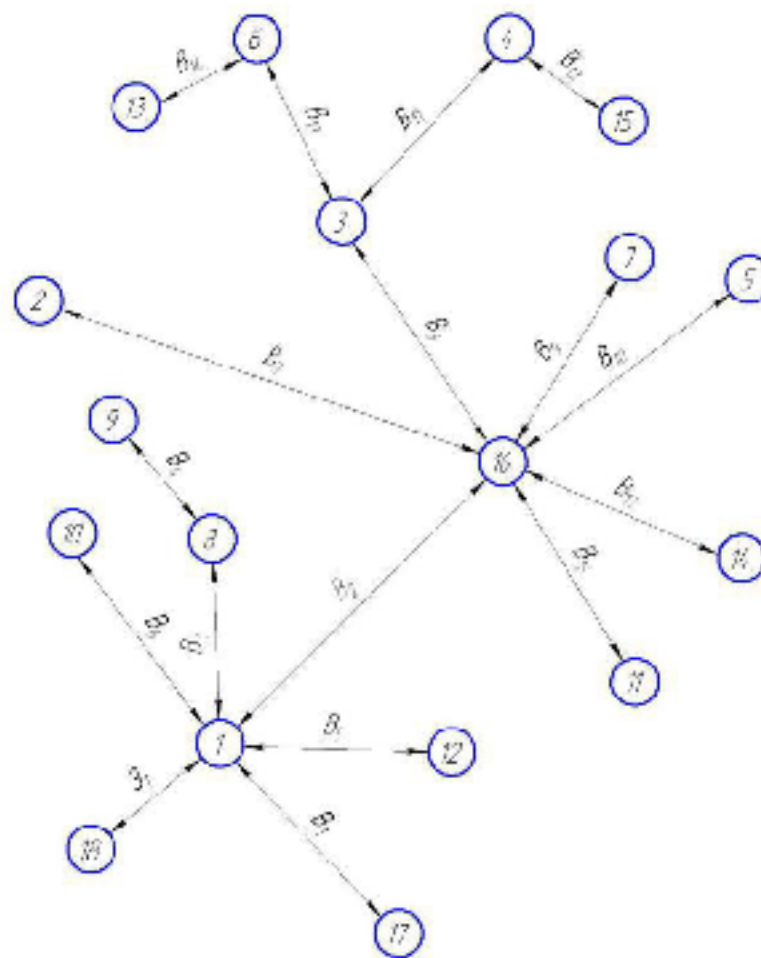


Рисунок 2.7 – Похідний граф-дерево

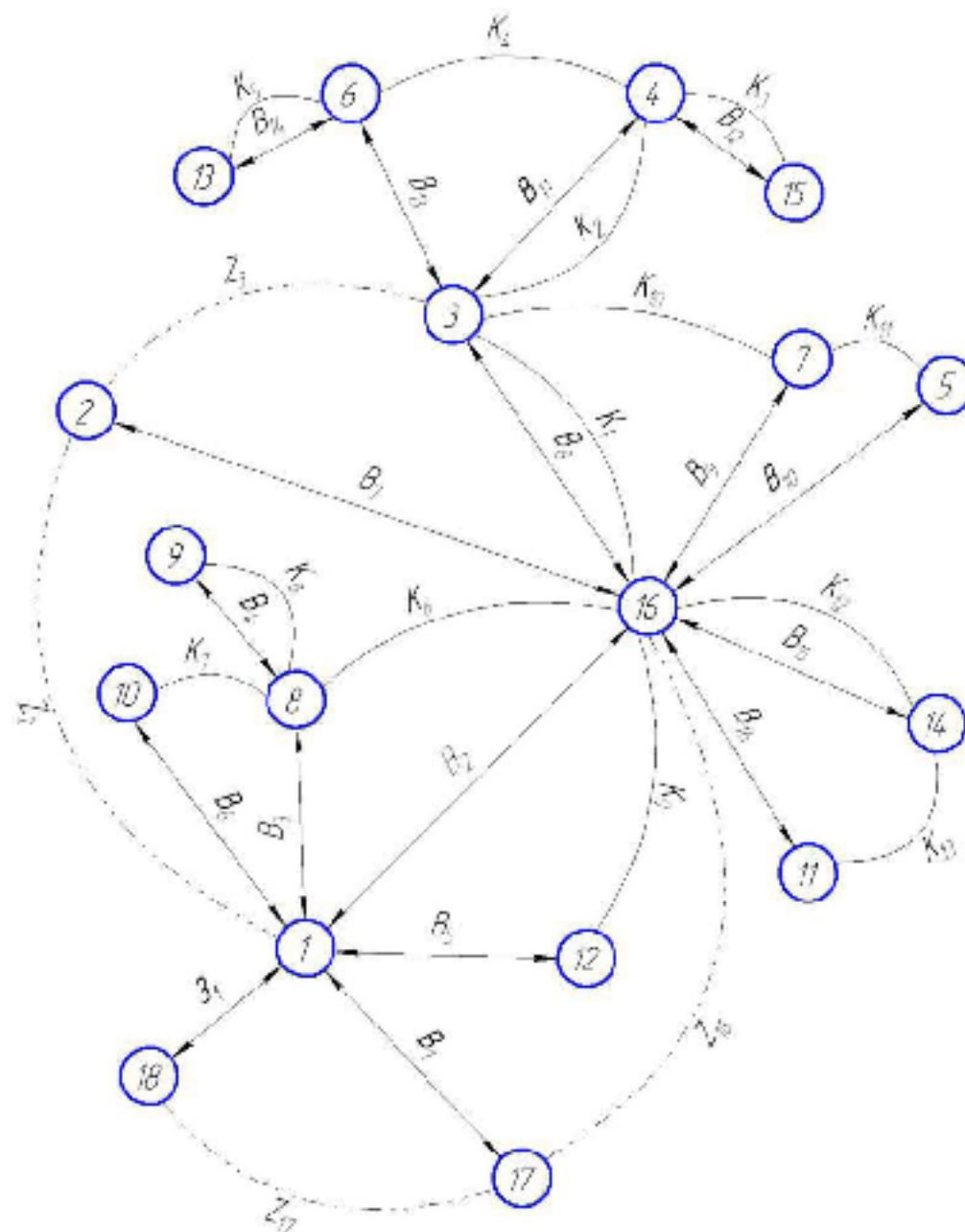


Рисунок 2.8 – Суміщений граф

2.8.5 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

Проміжні мінімальні припуски на механічну обробку плоских поверхонь призначаємо згідно рекомендацій [4]:

$$Z_{2\min} = 2,5 \text{ мм};$$

$$Z_{3\min} = 0,5 \text{ мм};$$

$$Z_{16\min} = 0,5 \text{ мм};$$

$$Z_{17\min} = 2,5 \text{ мм}.$$

2.8.6 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Рівняння технологічних розмірних ланцюгів представлено в табл. 2.14.

Таблиця 2.14 – Рівняння технологічних розмірних ланцюгів

№ р-ня	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Шуканий розмір
1	2	3	4
1	$-K_8 + B_4 = 0$	$K_8 = B_4$	B_4
2	$-K_1 + B_8 = 0$	$K_1 = B_8$	B_8
3	$-K_2 + B_{11} = 0$	$K_2 = B_{11}$	B_{11}
4	$-K_3 + B_{12} = 0$	$K_3 = B_{12}$	B_{12}
5	$-K_5 + B_{14} = 0$	$K_5 = B_{14}$	B_{14}
6	$-K_{12} + B_{15} = 0$	$K_{12} = B_{15}$	B_{15}
7	$-K_4 - B_{11} + B_{13} = 0$	$K_4 = B_{13} - B_{11}$	B_{13}
8	$-K_{13} + B_{16} - B_{15} = 0$	$K_{13} = B_{16} - B_{15}$	B_{16}
9	$-Z_3 + B_7 - B_8 = 0$	$Z_3 = B_7 - B_8$	B_7
10	$-Z_2 + B_2 - B_7 = 0$	$Z_2 = B_2 - B_7$	B_2
11	$-Z_{16} - B_2 + B_1 = 0$	$Z_{16} = B_1 - B_2$	B_1
12	$-Z_{17} - B_1 + 3_1 = 0$	$Z_{17} = 3_1 - B_1$	3_1
13	$-K_6 - B_3 + B_2 = 0$	$K_6 = B_2 - B_3$	B_3
14	$-K_9 - B_5 + B_2 = 0$	$K_9 = B_2 - B_5$	B_5
15	$-K_7 - B_3 + B_6 = 0$	$K_7 = B_6 - B_3$	B_6
16	$-K_{10} + B_8 - B_9 = 0$	$K_{10} = B_8 - B_9$	B_9
17	$-K_{11} + B_{10} - B_9 = 0$	$K_{11} = B_{10} - B_9$	B_{10}

2.8.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків

1. $K_8 = B_4$;

$$B_4 = 5 \pm 0,15 \text{ мм.}$$

2. $K_1 = B_8$;

$$B_8 = 212_{-0,3} \text{ мм.}$$

3. $K_2 = B_{11}$;

$$B_{11} = 5 \pm 0,15 \text{ мм.}$$

4. $K_3 = B_{12}$;

$$B_{12} = 200 \pm 0,575 \text{ мм.}$$

5. $K_5 = B_{14}$;

$$B_{14} = 155 \pm 0,25 \text{ мм.}$$

6. $K_{12} = B_{15}$;

$$B_{15} = 20 \pm 0,26 \text{ мм.}$$

$$7. K_{4\min} = B_{13\min} - B_{11\max};$$

$$B_{13\min} = B_{11\min} + K_{4\min} = 4,85 + 19,75 = 24,6 \text{ (мм);}$$

$$B_{13\max} = B_{13\min} + T(B_{13}) = 24,6 + 0,21 = 24,81 \text{ (мм);}$$

$$B_{13\text{ ном}} = \frac{B_{13\max} + B_{13\min}}{2} = \frac{24,81 + 24,6}{2} = 24,705 \pm 0,105 \text{ (мм).}$$

Перевіримо можливість забезпечення необхідної точності розміру K_4

$$K_{4\max} = B_{13\max} - B_{11\min} = 24,81 - 4,85 = 19,96 \text{ (мм).}$$

Поле розсіювання розміру K_4

$$\delta(K_4) = K_{4\max} - K_{4\min} = 19,96 - 19,75 = 0,21 \text{ (мм)} < T(K_4) = 0,5 \text{ (мм)} - \text{ умова}$$

виконується, точність розміру K_4 забезпечується.

$$8. K_{13\min} = B_{16\min} - B_{15\max};$$

$$B_{16\min} = B_{15\min} + K_{13\min} = 19,74 + 39,69 = 59,43 \text{ (мм);}$$

$$B_{16\max} = B_{16\min} + T(B_{16}) = 59,43 + 0,3 = 59,73 \text{ (мм);}$$

$$B_{16\text{ ном}} = \frac{B_{16\max} + B_{16\min}}{2} = \frac{59,73 + 59,43}{2} = 59,58 \pm 0,15 \text{ (мм).}$$

Перевіримо можливість забезпечення необхідної точності розміру K_{13}

$$K_{13\max} = B_{16\max} - B_{15\min} = 59,73 - 19,74 = 39,99 \text{ (мм).}$$

Поле розсіювання розміру K_{13}

$$\delta(K_{13}) = K_{13\max} - K_{13\min} = 39,99 - 39,69 = 0,3 \text{ (мм)} < T(K_{13}) = 0,62 \text{ (мм)} - \text{ умова}$$

виконується, точність розміру K_{13} забезпечується.

$$9. Z_{3\min} = B_{7\min} - B_{8\max};$$

$$B_{7\min} = Z_{3\min} + B_{8\min} = 0,5 + 211,7 = 212,2 \text{ (мм);}$$

$$B_{7\max} = B_{7\min} + T(B_7) = 212,2 + 0,46 = 212,66 \text{ (мм);}$$

$$B_{7\text{ ном}} = \frac{B_{7\max} + B_{7\min}}{2} = \frac{212,66 + 212,2}{2} = 212,43 \pm 0,23 \text{ (мм);}$$

$$Z_{3\max} = B_{7\max} - B_{8\min} = 212,66 - 211,7 = 0,96 \text{ (мм).}$$

$$10. Z_{2\min} = B_{2\min} - B_{7\max};$$

$$B_{2\min} = Z_{2\min} + B_{7\min} = 2,5 + 212,2 = 214,7 \text{ (мм);}$$

$$B_{2\max} = B_{2\min} + T(B_2) = 214,7 + 0,29 = 214,99 \text{ (мм);}$$

$$B_{2\text{ном}} = \frac{B_{2\text{макс}} + B_{2\text{мін}}}{2} = \frac{214,99 + 214,7}{2} = 214,845 \pm 0,145 \text{ (мм)};$$

$$Z_{2\text{макс}} = B_{2\text{макс}} - B_{7\text{мін}} = 214,99 - 212,2 = 2,79 \text{ (мм)}.$$

$$11. Z_{16\text{мін}} = B_{1\text{мін}} - B_{2\text{макс}};$$

$$B_{1\text{мін}} = Z_{16\text{мін}} + B_{2\text{мін}} = 0,5 + 214,7 = 215,2 \text{ (мм)};$$

$$B_{1\text{макс}} = B_{1\text{мін}} + T(B_1) = 215,2 + 1,15 = 216,35 \text{ (мм)};$$

$$B_{1\text{ном}} = \frac{B_{1\text{макс}} + B_{1\text{мін}}}{2} = \frac{216,35 + 215,2}{2} = 215,775 \pm 0,575 \text{ (мм)};$$

$$Z_{16\text{макс}} = B_{1\text{макс}} - B_{2\text{мін}} = 216,35 - 214,7 = 1,65 \text{ (мм)}.$$

$$12. Z_{17\text{мін}} = 3_{1\text{мін}} - B_{1\text{макс}};$$

$$3_{1\text{мін}} = Z_{17\text{мін}} + B_{1\text{мін}} = 2,5 + 215,2 = 217,7 \text{ (мм)};$$

$$3_{1\text{макс}} = 3_{1\text{мін}} + T(3_1) = 217,7 + 1,15 = 218,85 \text{ (мм)};$$

$$3_{1\text{ном}} = \frac{3_{1\text{макс}} + 3_{1\text{мін}}}{2} = \frac{218,85 + 217,2}{2} = 218,025 \pm 0,575 \text{ (мм)};$$

$$Z_{17\text{макс}} = 3_{1\text{макс}} - B_{1\text{мін}} = 218,85 - 215,2 = 3,65 \text{ (мм)}.$$

$$13. K_{6\text{мін}} = B_{2\text{мін}} - B_{3\text{макс}};$$

$$B_{3\text{мін}} = B_{2\text{мін}} - K_{6\text{мін}} = 214,7 - 149 = 65,7 \text{ (мм)};$$

$$B_{3\text{макс}} = B_{3\text{мін}} + T(B_3) = 65,7 + 0,3 = 66 \text{ (мм)};$$

$$B_{3\text{ном}} = \frac{B_{3\text{макс}} + B_{3\text{мін}}}{2} = \frac{66 + 65,7}{2} = 65,85 \pm 0,15 \text{ (мм)}.$$

Перевіримо можливість забезпечення необхідної точності розміру K_6

$$K_{6\text{макс}} = B_{2\text{макс}} - B_{3\text{мін}} = 214,99 - 65,7 = 149,29 \text{ (мм)}.$$

Поле розсіювання розміру K_6

$\delta(K_6) = K_{6\text{макс}} - K_{6\text{мін}} = 149,29 - 149 = 0,29 \text{ (мм)} < T(K_6) = 0,3 \text{ (мм)}$ – умова виконується, точність розміру K_6 забезпечується.

$$14. K_{9\text{мін}} = B_{2\text{мін}} - B_{5\text{макс}};$$

$$B_{5\text{макс}} = B_{2\text{макс}} - K_{9\text{мін}} = 214,99 - 37,69 = 177,3 \text{ (мм)};$$

$$B_{5\text{мін}} = B_{5\text{макс}} - T(B_5) = 177,3 - 0,4 = 176,9 \text{ (мм)};$$

$$B_{5\text{ном}} = \frac{B_{5\text{макс}} + B_{5\text{мін}}}{2} = \frac{177,3 + 176,9}{2} = 177,1 \pm 0,2 \text{ (мм)}.$$

Перевіримо можливість забезпечення необхідної точності розміру K_9

$$K_{9\max} = B_{2\max} - B_{5\min} = 214,99 - 176,9 = 38,09 \text{ (мм)}.$$

Поле розсіювання розміру K_9

$\delta(K_9) = K_{9\max} - K_{9\min} = 38,09 - 37,69 = 0,4 \text{ (мм)} < T(K_9) = 0,62 \text{ (мм)}$ – умова виконується, точність розміру K_9 забезпечується.

$$15. K_{7\min} = B_{6\min} - B_{3\max};$$

$$B_{6\min} = B_{3\min} + K_{7\min} = 65,7 + 44,69 = 110,39 \text{ (мм)};$$

$$B_{6\max} = B_{6\min} + T(B_6) = 110,39 + 0,35 = 110,74 \text{ (мм)};$$

$$B_{6\text{ ном}} = \frac{B_{6\max} + B_{6\min}}{2} = \frac{110,74 + 110,39}{2} = 110,565 \pm 0,175 \text{ (мм)}.$$

Перевіримо можливість забезпечення необхідної точності розміру K_7

$$K_{7\max} = B_{6\max} - B_{3\min} = 110,74 - 65,7 = 45,04 \text{ (мм)}.$$

Поле розсіювання розміру K_7

$\delta(K_7) = K_{7\max} - K_{7\min} = 45,04 - 44,69 = 0,35 \text{ (мм)} < T(K_7) = 0,62 \text{ (мм)}$ – умова виконується, точність розміру K_7 забезпечується.

$$16. K_{10\min} = B_{8\min} - B_{9\max};$$

$$B_{9\max} = B_{8\max} - K_{10\min} = 212 - 45 = 167 \text{ (мм)};$$

$$B_{9\min} = B_{9\max} - T(B_9) = 167 - 0,25 = 166,75 \text{ (мм)};$$

$$B_{9\text{ ном}} = \frac{B_{9\max} + B_{9\min}}{2} = \frac{167 + 166,75}{2} = 166,875 \pm 0,125 \text{ (мм)}.$$

Перевіримо можливість забезпечення необхідної точності розміру K_{10}

$$K_{10\max} = B_{8\max} - B_{9\min} = 212 - 166,75 = 45,25 \text{ (мм)}.$$

Поле розсіювання розміру K_{10}

$\delta(K_{10}) = K_{10\max} - K_{10\min} = 45,25 - 45 = 0,25 \text{ (мм)} < T(K_{10}) = 0,3 \text{ (мм)}$ – умова виконується, точність розміру K_{10} забезпечується.

$$17. K_{11\min} = B_{10\min} - B_{9\max};$$

$$B_{10\min} = B_{9\min} + K_{11\min} = 166,75 + 29,74 = 196,49 \text{ (мм)};$$

$$B_{10\max} = B_{10\min} + T(B_{10}) = 196,49 + 0,46 = 196,95 \text{ (мм)};$$

$$B_{10\text{ ном}} = \frac{B_{10\max} + B_{10\min}}{2} = \frac{196,95 + 196,49}{2} = 196,72 \pm 0,23 \text{ (мм)}.$$

Перевіримо можливість забезпечення необхідної точності розміру K_{11}

$$K_{11\max} = B_{10\max} - B_{9\min} = 196,95 - 166,75 = 30,2 \text{ (мм)}.$$

Поле розсіювання розміру K_{11}

$\delta(K_{11}) = K_{11\max} - K_{11\min} = 30,2 - 29,74 = 0,46 \text{ (мм)} < T(K_{11}) = 0,52 \text{ (мм)}$ – умова виконується, точність розміру K_{11} забезпечується.

В результаті виконаних розрахунків визначені розміри заготовки, технологічні розміри та значення припусків на механічну обробку.

Таблиця 2.15 – Чисельні значення конструкторських розмірів

Конструкторські розміри	Чисельні значення, мм			
	Допуск	Мінімальні значення	Максимальні значення	Номінальні значення
1	2	3	4	5
K_1	0,3	211,7	212	$212_{-0,3}$
K_2	0,3	4,85	5,15	$5 \pm 0,15$
K_3	1,15	199,425	200,575	$200 \pm 0,575$
K_4	0,5	19,75	20,25	$20 \pm 0,25$
K_5	0,5	154,75	155,25	$155 \pm 0,25$
K_6	0,3	149	149,3	$149^{+0,3}$
K_7	0,62	44,69	45,31	$45 \pm 0,31$
K_8	0,3	4,85	5,15	$5 \pm 0,15$
K_9	0,62	37,69	38,31	$38 \pm 0,31$
K_{10}	0,3	45	45,3	$45^{+0,3}$
K_{11}	0,52	29,74	30,26	$30 \pm 0,26$
K_{12}	0,52	19,74	20,26	$20 \pm 0,26$
K_{13}	0,62	39,69	40,31	$40 \pm 0,31$

Таблиця 2.16 – Чисельні значення припусків

Припуск	Чисельні значення, мм	
	мінімальні значення	максимальні значення
Z_2	2,5	2,79
Z_3	0,5	0,96
Z_{16}	0,5	1,65
Z_{17}	2,5	3,65

Таблиця 2.17 – Чисельні значення технологічних розмірів

Технологічні розміри	Чисельні значення, мм			
	Допуск	Мінімальні значення	Максимальні значення	Номінальні значення
1	2	3	4	5
B ₁	1,15	215,2	216,35	215,775±0,575
B ₂	0,29	214,7	214,99	214,845±0,145
B ₃	0,3	65,7	66	65,85±0,15
B ₄	0,3	4,85	5,15	5±0,15
B ₅	0,4	176,9	177,3	177,1±0,2
B ₆	0,35	110,39	110,74	110,565±0,175
B ₇	0,46	212,2	212,66	212,43±0,23
B ₈	0,3	211,7	212	212 _{-0,3}
B ₉	0,25	166,75	167	166,875±0,125
B ₁₀	0,46	196,49	196,95	196,72±0,23
B ₁₁	0,3	4,85	5,15	5±0,15
B ₁₂	1,15	199,425	200,575	200±0,575
B ₁₃	0,21	24,6	24,81	24,705±0,105
B ₁₄	0,5	154,75	155,25	155±0,25
B ₁₅	0,52	19,74	20,26	20±0,26
B ₁₆	0,3	59,43	59,73	59,58±0,15

Таблиця 2.18 – Чисельні значення розмірів заготовки

Розміри заготовки	Чисельні значення, мм			
	Допуск	Мінімальні значення	Максимальні значення	Номінальні значення
З ₁	1,15	217,7	218,85	218,025±0,575

Висновок. Розрахункові рівняння складаються переважно із 2-3 ланок, що дозволяє без особливих труднощів визначити технологічні розміри, розміри вихідної заготовки і максимальні припуски. В цілому, технологічний процес механічної обробки є задовільним, корекція допусків технологічних розмірів і (або) маршруту механічної обробки не потрібна.

2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

2.9.1 Визначення припусків і технологічних розмірів на механічну обробку зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 95d8 \begin{smallmatrix} -0,120 \\ -0,174 \end{smallmatrix}$

Значення R_z і T , які характеризують якість поверхні заготовки визначаємо згідно [1], вони складають відповідно 200 і 300 мкм.

Значення R_z і T після технологічних переходів знаходимо по [1], записуємо їх в розрахункову таблицю 2.19.

Таблиця 2.19 – Розраховані припуски на обробку і проміжні граничні розміри по технологічним переходам для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 95d8 \begin{smallmatrix} -0,120 \\ -0,174 \end{smallmatrix}$

Технологічний процес механічної обробки поверхні $\varnothing 95d8 \begin{smallmatrix} -0,120 \\ -0,174 \end{smallmatrix}$	Елементи припуску, мкм				Розрах. припуск $2Z_{\min}$, мкм	Розрах. розмір d_p , мкм	Допуск δ , мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	R_z	T	ρ	ϵ_y				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}^{op}$	$2Z_{\max}^{op}$
Заготовка	200	300	14	—	—	96,696	2200	96,696	98,896	-	-
Точіння попереднє	100	100	1	120	2·621	95,454	350	95,454	95,804	1242	3092
Точіння попереднє	50	50	-	7	2·214	95,026	87	95,026	95,113	428	691
Точіння остаточне	30	30	-	-	2·100	94,826	54	94,826	94,88	200	233
										$\Sigma 1870$	$\Sigma 4016$

Сумарне значення просторових відхилень для заготовки з сортового прокату визначаємо по формулі:

$$\rho_3 = \rho_{\text{кор}} \cdot \quad (2.25)$$

Короблення слід враховувати як в діаметральному, так і в осьовому перерізі, тому

$$\rho_3 = \rho_{\text{кор}} = \sqrt{(\Delta_K D)^2 + (\Delta_K \ell)^2} = \sqrt{(0,6 \cdot 95)^2 + (0,6 \cdot 212)^2} \approx 14 \text{ (мкм)},$$

де $\Delta_K = 0,6$ – питома кривизна заготовки (прокату) [1],

$D = 95$ мм – діаметр оброблюваної поверхні,

$\ell = 212$ мм – довжина оброблюваної поверхні.

Остаточні просторові відхилення:

- після точіння попереднього $\rho_1 = 0,06 \cdot \rho_3 = 0,06 \cdot 14 = 1$ (мкм);

- після точіння попереднього $\rho_2 = 0,04 \cdot \rho_3 = 0,04 \cdot 14 = 0,04$ (мкм).

Похибка установки при попередньому точінні

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\varepsilon_{\theta}^2 + \varepsilon_3^2} \text{ [мкм]}, \quad (2.26)$$

де ε_{θ} – похибка базування,

ε_3 – похибка закріплення.

При вибраній схемі базування $\varepsilon_{\theta} = 0$.

Похибку закріплення заготовки [1] ε_3 приймаємо рівною 120 мкм.

Тоді похибка установки при попередньому точінні

$$\varepsilon_1 = \sqrt{0^2 + 120^2} = 120 \text{ (мкм)}.$$

Остаточні похибки установки

- при послідовному точінні попередньому $\varepsilon_2 = 0,06 \cdot \varepsilon_1 = 0,06 \cdot 120 = 7$ (мкм),

- при точінні остаточному $\varepsilon_3 = 0,05 \cdot \varepsilon_1 = 0,05 \cdot 7 = 0,35$ (мкм).

На основі записаних в таблиці даних проводимо розрахунок мінімальних значень між операційних припусків, користуючись загальною формулою [1]:

$$2Z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{y_i}^2}) \text{ [мкм]}. \quad (2.27)$$

Мінімальний припуск

$$\text{- під точіння попереднє } 2Z_{\min} = 2(200 + 300 + \sqrt{14^2 + 120^2}) = 2 \cdot 621 \text{ (мкм)},$$

$$\text{- під точіння попереднє } 2Z_{\min} = 2(100 + 100 + \sqrt{7^2 + 1^2}) = 2 \cdot 214 \text{ (мкм)},$$

$$\text{- під точіння остаточне } 2Z_{\min} = 2(50 + 50 + \sqrt{0^2 + 0^2}) = 2 \cdot 100 \text{ (мкм)}.$$

Розрахункові розміри:

$$d_{p2} = 94,826 + 0,2 = 95,026 \text{ (мм)};$$

$$d_{p1} = 95,026 + 0,428 = 95,454 \text{ (мм)};$$

$$d_{p\text{заг}} = 95,454 + 1,242 = 96,696 \text{ (мм)}.$$

Визначаємо найбільші граничні розміри $d_{\max}$:

$$d_{\max 3} = 94,826 + 0,054 = 94,88 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 2} = 95,026 + 0,087 = 95,113 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 1} = 95,454 + 0,35 = 95,804 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max \text{ заг}} = 96,696 + 2,2 = 98,896 \text{ (мм)}.$$

Граничні значення припусків:

$$2Z_{\max 3}^{\text{сп}} = 95,113 - 94,88 = 0,233 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\max 2}^{\text{сп}} = 95,804 - 95,113 = 0,691 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\max 1}^{\text{сп}} = 98,896 - 95,804 = 3,092 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\min 3}^{\text{сп}} = 95,026 - 94,826 = 0,2 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\min 2}^{\text{сп}} = 95,454 - 95,026 = 0,428 \text{ (мм)};$$

$$2Z_{\min 1}^{\text{сп}} = 96,696 - 95,454 = 1,242 \text{ (мм)}.$$

Результати розрахунків записуємо в таблицю 2.20.

Схема графічного розташування розрахованих припусків на обробку і проміжних граничних розмірів по технологічним переходам для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 95d8 \begin{smallmatrix} -0,120 \\ -0,174 \end{smallmatrix}$ показана на рис. 2.9.

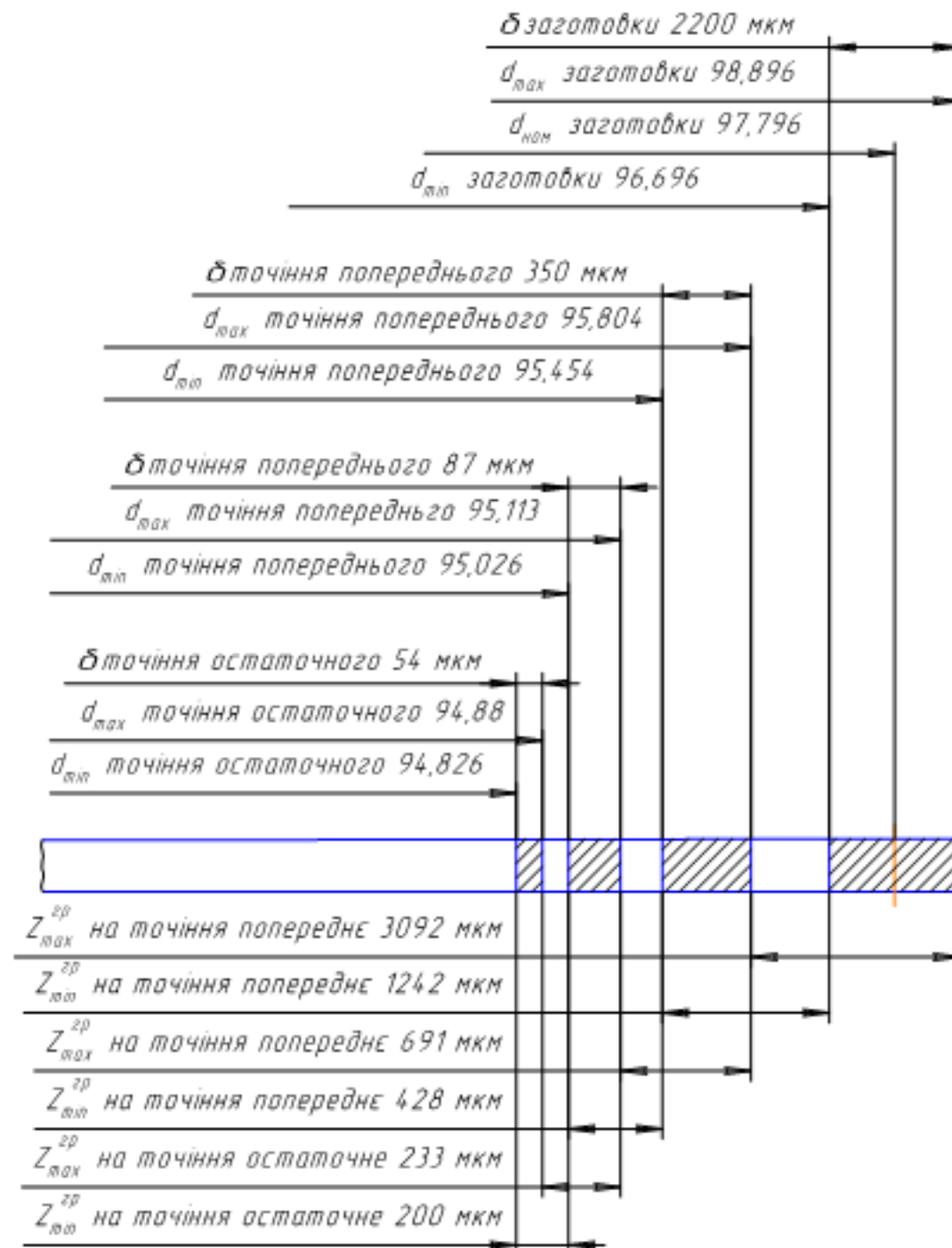


Рисунок 2.9 – Схема графічного розташування припусків і допусків на обробку зовнішньої циліндричної поверхні кришки $\varnothing 95d8 \begin{smallmatrix} -0,120 \\ -0,174 \end{smallmatrix}$

Проводимо перевірку правильності виконаних розрахунків

$$2Z_{\max 3} - 2Z_{\min 3} = 233 - 200 = 33 \text{ (мкм)}; \quad \delta_2 - \delta_3 = 87 - 54 = 33 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 2} - 2Z_{\min 2} = 691 - 428 = 263 \text{ (мкм)}; \quad \delta_1 - \delta_2 = 350 - 87 = 263 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 1} - 2Z_{\min 1} = 3092 - 1242 = 1850 \text{ (мкм)}; \quad \delta_{\text{заг}} - \delta_1 = 2200 - 350 = 1850 \text{ (мкм)}.$$

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

Нормативний вибір припусків та між операційних розмірів на інші циліндричні поверхні показано в табл. 2.20.

Таблиця 2.20 – Нормативний вибір припусків та між операційних розмірів на інші циліндричні поверхні

Поверхня $\phi 75H8^{(+0,046)}$, $R_a = 3,2$ мкм							
Технологічні переходи обробки	Розрахунковий мінімальний припуск $2Z_{\min}$, мм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мм	
				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	-	66,046	1600	64,446	66,046	-	-
1. Розточування попереднє	2·3000	72,046	300	71,746	72,046	6,0	7,3
2. Розточування попереднє	2·900	73,846	74	73,772	73,846	1,8	2,026
3. Розточування остаточне	2·600	75,046	46	75	75,046	1,2	1,228
Поверхня $\phi 70H8^{(+0,046)}$, $R_a = 3,2$ мкм							
Заготовка	-	66,046	1600	64,446	66,046	-	-
1. Розточування попереднє	2·1000	68,046	300	67,746	68,046	2,0	3,3
2. Розточування попереднє	2·700	69,446	74	69,372	69,446	1,4	1,626
3. Розточування остаточне	2·300	70,046	46	70	70,046	0,6	0,628

2.10 Призначення режимів різання

Приведемо приклад аналітичного розрахунку режимів різання для точіння попереднього поверхні $\phi 95d8^{(-0,120)}_{(-0,174)}$.

Для операції попереднього точіння поверхні $\phi 95d8^{(-0,120)}_{(-0,174)}$ вибираємо марку сплава для ріжучої частини різця Т15К6. Різець прохідний: $\alpha=12^\circ$; $r=2.4$; $\varphi=45^\circ$; $\varphi_1=45^\circ$; $\lambda=0$; $R_a=2.5$ (мкм.).

При чорновому точінні $t = 3,0$ (мм); $T = 60$ (хв.).

Згідно [13-15] вибираємо подачу $S=0,7-1,2$ мм/об.

Приймаємо $S=0,8$ мм/об.

Знаходимо швидкість різання за формулою [13-15]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \text{ [м/хв.]}, \quad (2.28)$$

де $C_v=340$; $x=0,15$; $y=0,45$; $m=0,20$ за [13-15].

Поправковий коефіцієнт K_v складається з:

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{пв} \cdot K_{ИБ} \cdot K_{\phi} \cdot K_{\phi 1}, \quad (2.29)$$

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

$$K_{MV} = K_z \left(\frac{750}{\sigma_b} \right)^{n_v}, \quad (2.30)$$

де $K_z=1$ – коефіцієнт, що характеризує групу сталі, $n_v=1$, $\sigma_b=500-610$ МПа [13-15].

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

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

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

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

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

Отже,

$$V = \frac{340}{60^{0.2} \cdot 3,0^{0.15} \cdot 0,8^{0.45}} \cdot 1,18 = 154,63 \left(\frac{M}{XB} \right);$$

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \text{ [об/хв.]} \quad (2.31)$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 154,63}{3,14 \cdot 95} = 518 \text{ (об/хв.)}$$

Приймаємо $n = 520$ об/хв.

Розраховуємо дійсну швидкість різання за формулою:

$$V_s = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ [м/хв.]}, \quad (2.32)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 95 \cdot 520}{1000} = 155,12 \left(\frac{M}{XB} \right).$$

Сила різання

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \text{ [Н]}, \quad (2.33)$$

де $C_p=300$, $x=1$, $y=0,75$, $n=-0,15$ згідно [13-15].

$K_p=K_{mp} \cdot K_{фр} \cdot K_{ур} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{гр}=0,51 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1=0,51$ – поправковий коефіцієнт [13-15].

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

Отже,

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 3,0^1 \cdot 0,8^{0.75} \cdot 155,12^{-0.15} \cdot 0,51 = 303,5 \text{ (Н)}.$$

Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \text{ [кВт]}, \quad (2.34)$$

$$N_{\max} = \frac{303,5 \cdot 155,12}{1020 \cdot 60} = 0,77 \text{ (кВт)}.$$

Висновок. Потужність різання складає $N_{\max} = 0,77$ кВт, а потужність попередньо вибраного верстата МК6801Ф3 – $N = 11$ кВт. Оскільки потужність різання менша, ніж вибраного попередньо верстата $N = 0,77 \text{ кВт} < N = 11 \text{ кВт}$, то верстат може бути використаний для обробки.

Приведемо приклад аналітичного розрахунку режимів різання для свердління отвору $\varnothing 7,5$.

Аналітичний розрахунок режимів різання для свердління отвору $\varnothing 7,5$ розпочинається із визначення глибини різання, яка рівна половині діаметру отвору, який свердлиться і в даному випадку складає 3,75 мм.

Подачу рекомендують приймати в межах від 0,15 до 0,20 мм/об при заданих умовах обробки. Приймаємо подачу рівною 0,20 мм/об.

Швидкість різання визначається за формулою:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v \text{ [м/хв.]}, \quad (2.35)$$

де T – стійкість інструменту, 15 хв.;

C_v, x_v, y_v, m, q_v – коефіцієнти і показники степені в формулі для розрахунку швидкості різання.

Згідно з [13-15] вони рівні:

$$C_v=9,8; y=0,5; m=0,2, q=0,4.$$

K_v – загальний поправковий коефіцієнт, який є добутком цілого ряду коефіцієнтів, які враховують реальні умови механічної обробки:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv}, \quad (2.36)$$

Всі складові відображають вплив певного фактора на швидкість різання:

K_{Mv} – якість оброблюваної поверхні, 1,36;

K_{uv} – матеріал ріжучої частини, 1,0 (P6M5);

K_{lv} – глибину отвору, що свердлиться, 0,6.

Отже, загальний поправковий коефіцієнт:

$$K = 1,36 \cdot 1,0 \cdot 0,6 = 0,816.$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{9,8 \cdot 7,5^{0,4}}{15^{0,2} \cdot 0,2^{0,5}} \cdot 0,816 = 22,27 \text{ (м/хв.)}$$

Крутний момент при свердлінні розраховується за формулою:

$$M = 10 \cdot C_m D^q S^y K_p \text{ [Н·м]}, \quad (2.37)$$

де C_m , q , y – коефіцієнти і показники степені для розрахунку крутного моменту при свердлінні.

Вони рівні: $C_m=0,0345$; $q=2$; $y=0,8$.

Коефіцієнт K_p рівний коефіцієнтові K_{mp} і рівний одиниці. З урахуванням цього крутний момент:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 7,5^2 \cdot 0,2^{0,8} \cdot 1,0 = 4,34 \text{ (Н·м)}.$$

Осьова сила при свердлінні визначається за формулою:

$$P_o = 10 \cdot C_p D^q S^y K_p \text{ [Н]}, \quad (2.38)$$

де C_p , q , x – коефіцієнти і показники степені для розрахунку осьової сили при свердлінні. Вони рівні: $C_p=68$; $q=1$; $y=0,7$.

З урахуванням цього осьова сила:

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 9,5^1 \cdot 0,2^{0,7} \cdot 1,0 = 1476,74 \text{ (Н)}.$$

Потужність різання визначається за формулою:

$$N_e = M_{кр} \cdot n / 9750 \text{ [кВт]}, \quad (2.39)$$

де n – число обертів інструмента, що становить:

$$n = 1000 \cdot 22,27 / 3,14 \cdot 6,7 = 1058,56 \text{ (об/хв.)}$$

Потужність:

$$N = 4,34 \cdot 1058,56 / 9750 = 0,47 \text{ (кВт)}.$$

Висновок. Потужність різання складає $N_{max} = 0,47$ кВт, а потужність попередньо вибраного верстата 1П420ПФ30 – $N = 30$ кВт. Оскільки потужність різання менша, ніж вибраного попередньо верстата $N_{max} = 0,47$ кВт $< N = 30$ кВт, то верстат може бути використаний для обробки.

В таблиці 2.21 наведені результати визначення (за нормативами) режимів різання на обробку конструкторських баз і кріпильних отворів для розробленого маршруту механічної обробки даної деталі.

Таблиця 2.21 – Режими різання на обробку конструкторських баз і кріпильних отворів

Операції, переходи	Режими різання			
	S , мм/об	n , об/хв.	V , м/хв.	t , мм
1	2	3	4	5
005 Токарна з ЧПК				
2. Точити торець 1 попередньо, фаску 3 однократно.	0,4	500	227,6	2,5
3. Точити торець 1 остаточно.	0,15	800	257,6	0,5
4. Розточити поверхню 4 попередньо, підрізати торець 5 однократно, точити фаску 8.	0,4	500	327,8	3,0
5. Розточити канавку 6 однократно.	0,4	500	433,5	1,3
6. Розточити поверхню 7 однократно.	0,4	500	257,6	1,2
7. Розточити поверхню 4 попередньо.	0,15	800	325,4	0,9
8. Розточити поверхню 4 остаточно.	0,1	1200	327,6	0,6
010 Токарна з ЧПК				
2. Точити торець 1 попередньо.	0,4	600	227,5	2,5
3. Точити торець 1 остаточно.	0,15	800	232,2	0,5
4. Точити поверхню 4 попередньо, фаску 2 однократно.	0,2	800	320	1,0
5. Точити поверхню 5 однократно.	0,2	800	85,4	2,5
6. Центрувати 4 отв. 3.	0,1	800	95,8	2,5
7. Свердлити 4 отв. 3.	0,1	800	25,4	4,1
8. Нарізати різьбу в 4 отв. 3.	0,05	250	28	1,0
9. Розточити поверхню 4 попередньо.	0,15	1000	320	0,7
10. Розточити поверхню 4 остаточно.	0,1	1200	320	0,3
015 Токарна з ЧПК				
2. Фрезерувати паз 1 однократно.	125	125	25,8	6,0
3. Центрувати 2 отв. 2	0,1	800	12,6	2,0
5. Свердлити 2 отв. 2.	0,1	800	21,3	3,0
5. Нарізати різьбу в 2 отв. 2.	0,05	250	28	1,0
020 Вертикально-фрезерна з ЧПК				
2. Точити поверхню 1 попередньо.	0,2	800	335,2	1,5
3. Точити поверхню 1 попередньо.	0,15	1000	336	0,5
4. Точити послідовно дві канавки 2.	0,2	1000	334	3,0
5. Точити поверхню 1 остаточно.	0,1	1200	336	0,2

2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та дослідження впливу глибини різання на вибір оптимальних режимів різання

2.11.1 Математичне моделювання технологічного процесу

Оптимізація технологічних процесів та режимів різання, зокрема, базується на побудові математичних моделей. Для встановлення математичної моделі виділяють технічні обмеження, які в найбільшій мірі визначають процес, що описується, та критерій оптимальності [1, 16-18].

Вибір тих чи інших обмежень залежить від виду обробки та визначається конкретними умовами технологічного, конструкційного та організаційно-виробничого характеру. Такими обмеженнями є ріжучі властивості інструмента, що визначаються його стійкістю; потужність електродвигуна приводу головного руху; найменша і найбільша швидкості різання (частота обертання шпинделя) та подача, що дозволяються кінематикою верстата; міцність та жорсткість ріжучого інструмента; точність обробки; шорсткість обробленої поверхні.

В якості оцінної функції при оптимізації по двом параметрам (n, S) зазвичай використовують мінімальну собівартість

$$F_{\min} = c I(nS), \quad (2.40)$$

де c – коефіцієнт, що не залежить від режимів різання n та S . З цього виразу видно, що функція $F_{\min}$ буде найменшою, коли добуток nS буде максимальним.

Технічні обмеження будуються на основі відомих залежностей. Так, технічне обмеження по стійкості інструмента для точіння буде отримано з виразів для швидкості різання:

$$v = \frac{C_v}{T^{m_t} S^{p_v}} K_v; \quad (2.41)$$

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \quad (2.42)$$

де T – період стійкості інструмента, хв.;

m – показник відносної стійкості;

t – глибина різання, мм;

D – діаметр заготовки, мм;

C_v, x_v, y_v – коефіцієнти, що характеризують умови обробки;

K_v – загальний поправочний коефіцієнт.

Після нескладних перетворень отримаємо технічне обмеження в наступному вигляді:

$$nS^{y_v} \leq \frac{318 C_v K_v}{DT^{-m} t^{x_v}}. \quad (2.43)$$

Аналогічно визначаються і решта технічних обмежень. Для вибору оптимальних значень режимів різання з використанням методів лінійного програмування усі технічні обмеження та оцінна функція приводяться до лінійного вигляду логарифмуванням. Так, вираз (2.43) після логарифмування буде мати вигляд

$$\ln n + y_v \ln S = \frac{318 C_v K_v}{DT^{-m} t^{x_v}}. \quad (2.44)$$

Введемо позначення

$$x_1 = \ln n; \quad x_2 = \ln 100 S;$$

$$b_1 = \ln \frac{318 C_v K_v}{DT^{-m} t^{x_v}} 100^{-y_v}.$$

(в позначення x_2 подача S множиться на 100, щоб уникнути отримання від'ємних значень логарифмів) та отримаємо перше технічне обмеження в лінійному вигляді:

$$x_1 + y_v x_2 \leq b_1. \quad (2.45)$$

Для оцінної функції з врахуванням її вигляду (2.45) після логарифмування будемо мати

$$f_0 = (x_1 + x_2)_{\max}. \quad (2.46)$$

Приведення всіх технічних обмежень до лінійного вигляду та представлення їх у вигляді системи нерівностей в сукупності з оціночною функцією дає математичну модель процесу різання металів.

Визначення оптимальних режимів різання з допомогою побудованої математичної моделі виконується графічним методом. В цьому випадку кожне технічне обмеження представлене граничною прямою, яка визначає на півплощину, де можливе існування розв'язків системи нерівностей. Граничні прямі, перетинаючись, утворюють багатокутник рішень, всередині якого будь-яка точка відповідає всім без виключення обмеженням.

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

На головному інтерфейсі розташовані вікна для завдання вихідних даних.

Після перевірки вихідних даних натиснути кнопку «ЗАСТОСУВАТИ ДАНІ». На екрані з'являються обмеження:

- зелені лінії – обмеження за діапазоном частоти обертання верстату;
- сині лінії – обмеження за діапазоном подач верстату;
- фіолетова лінія – обмеження за силою подачі верстату;
- світло-зелена лінія – обмеження за шорсткістю;
- коричневі лінії – обмеження за стійкістю різця та потужністю верстату.

Пересуваючи мишку по полю рисунка, отримують криву (тонка червона лінія), кожна точка якої відповідає максимальній величині добутку $S \cdot n$. Внизу, під графічним вікном, з'являються значення подачі на оберт і частоти обертання шпинделя, що відповідають положенню перехрестя мишки. Перехрестя мишки підводять до вершини зони допустимих значень, що утворена обмеженнями так, щоб крива торкалась тільки однієї вершини і не пересікала зони обмежень, а потім натискають ліву клавішу. У спеціальному

віконці, що розміщене над графічним вікном інтерфейсу, з'являються оптимальні значення частоти обертання шпинделя і повздовжньої подачі, а також складової P_z сили різання і потужності різання, що відповідають оптимальному режиму різання.

При натисканні кнопки «Reset» поле рисунку очищається і можна проводити аналогічні маніпуляції для визначення оптимального режиму різання з іншими вихідними даними.

Мета роботи – встановлення залежності впливу глибини різання на режими різання при точінні зовнішньої циліндричної поверхні.

Задачі, які вирішуються при дослідженні:

- вплив глибини різання на швидкість різання V , м/хв.;
- вплив глибини різання на частоту обертання n , об/хв.;
- вплив глибини різання на подачу S , мм/об.;
- вплив глибини різання на повздовжню подачу $S_{\text{повд}}$, мм/хв.;
- вплив глибини різання на складову сили різання P_z , Н;
- вплив глибини різання на потужність різання N , кВт;
- залежність вказаних вище параметрів від величини оброблюваного діаметра ($\varnothing 40$; $\varnothing 95$; $\varnothing 120$ мм).

2.11.2 Дослідження оптимальних режимів різання

Розглянуто обробку діаметральної поверхні з розмірами $\varnothing 40$; $\varnothing 95$; $\varnothing 120$ мм.

Виконується чорнове точіння діаметра діаметральної поверхні з різними глибинами різання t : 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5 мм.

Одержані результати досліджень для $\varnothing 95$ приведені на рис. 2.10-2.15.

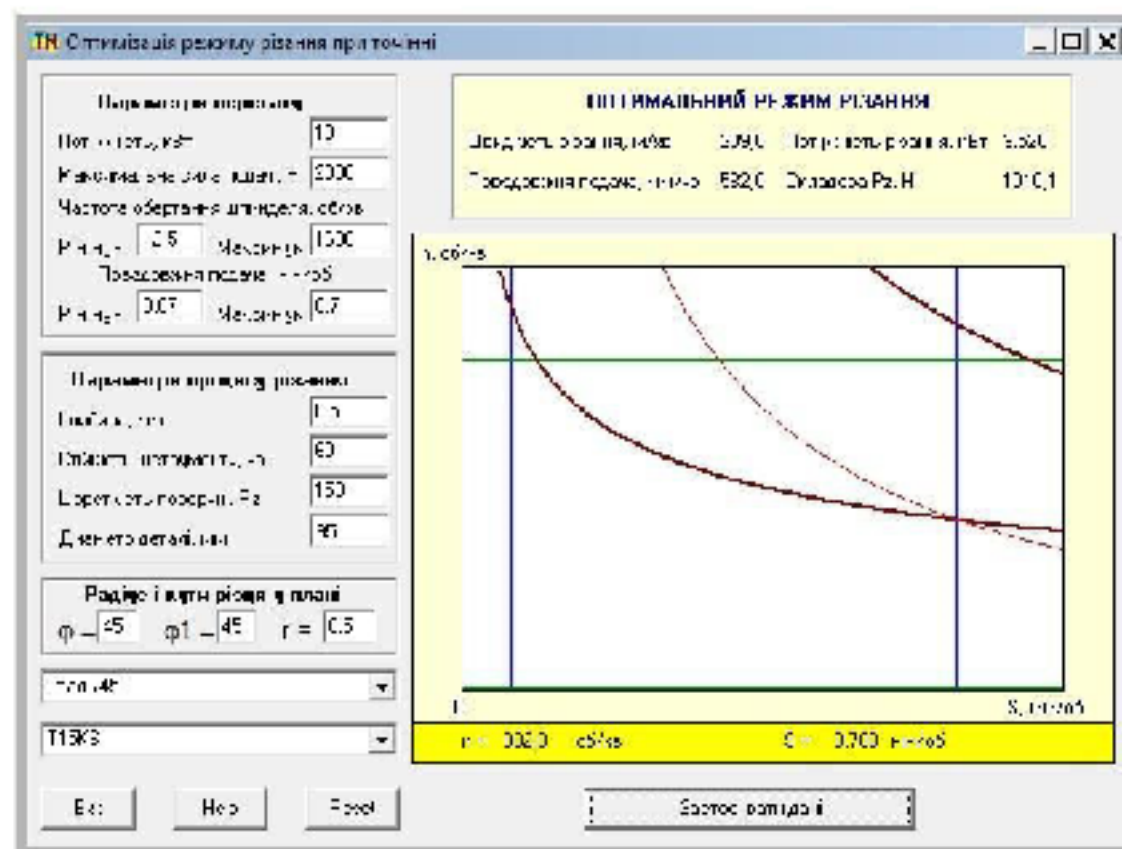


Рисунок 2.10 – Оптимізація режимів різання для чорнового точіння $\varnothing 95$
при $t = 0,5$ мм

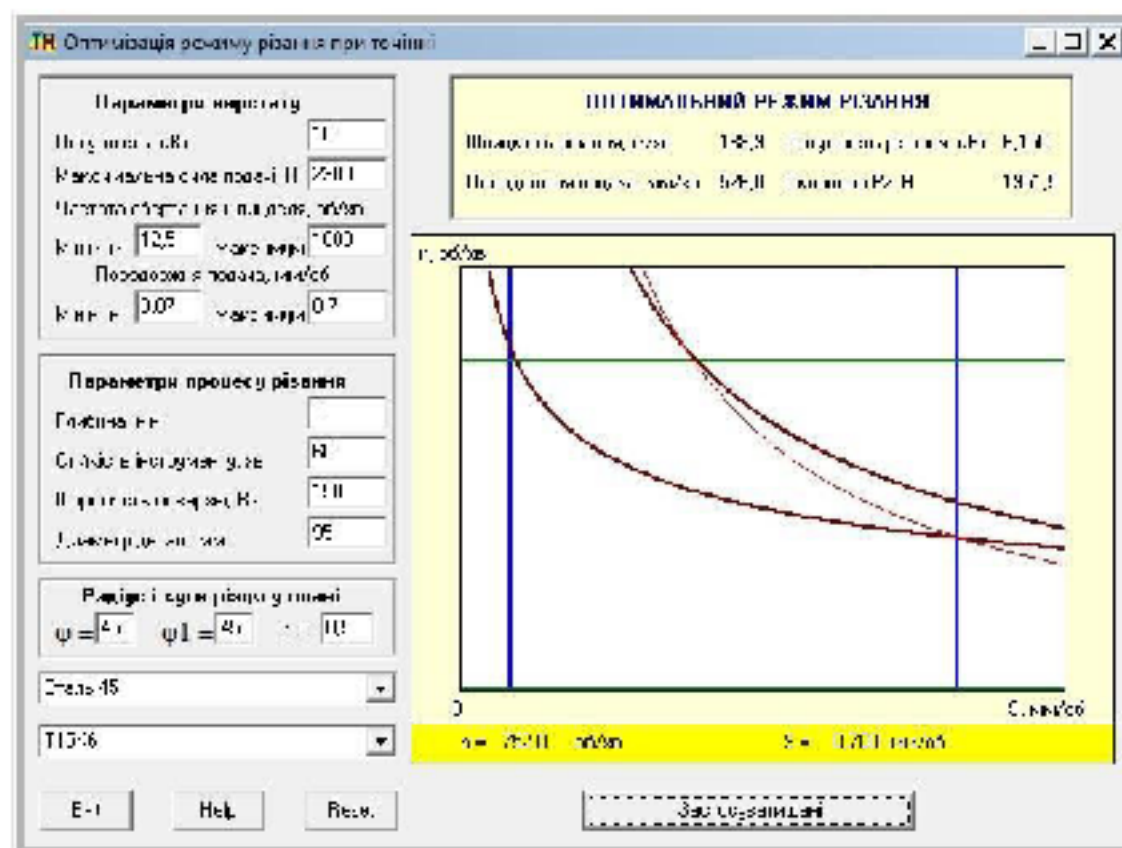


Рисунок 2.11 – Оптимізація режимів різання для чорнового точіння $\varnothing 95$
при $t = 1,0$ мм

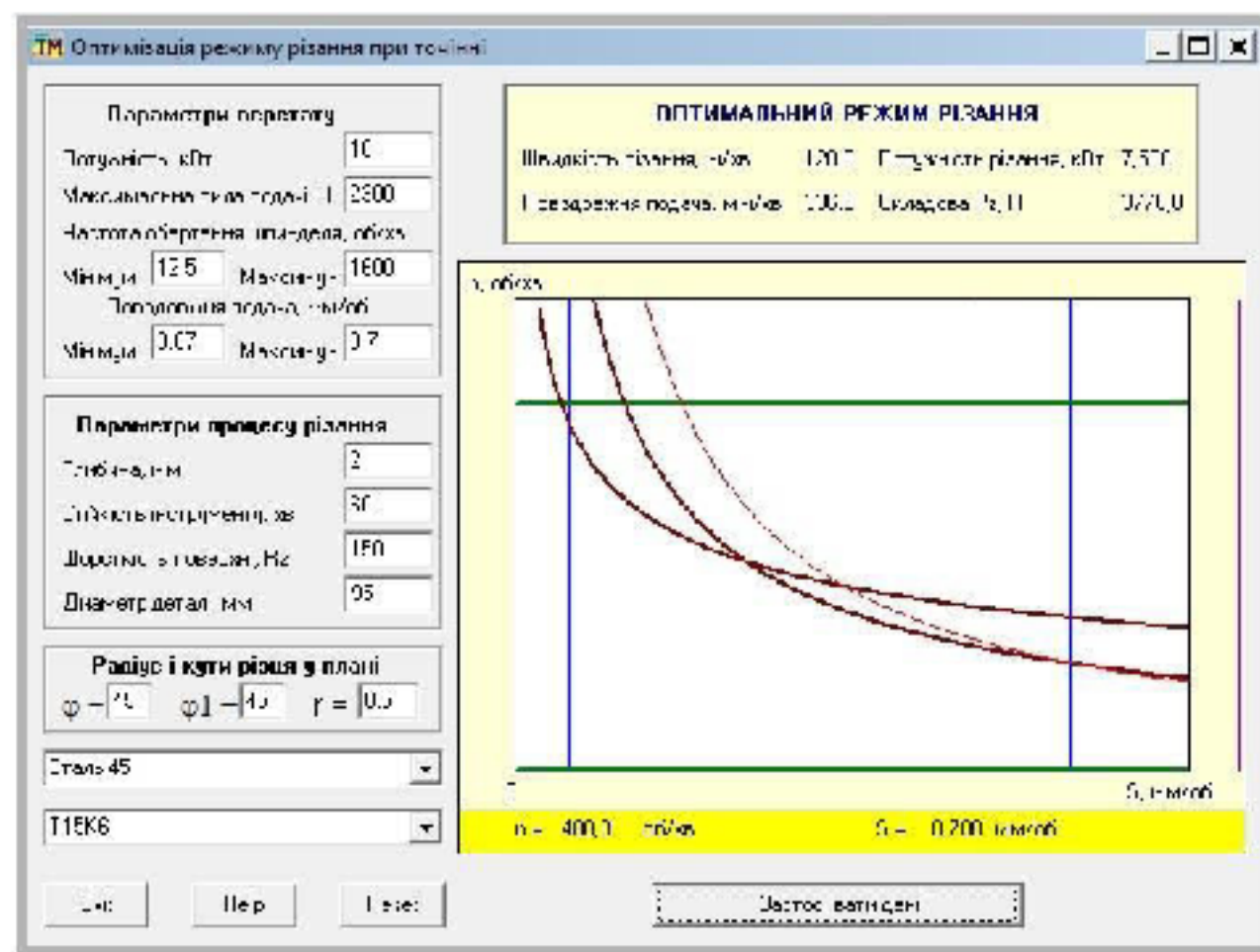


Рисунок 2.12 – Оптимізація режимів різання для чорнового точіння $\varnothing 95$ при $t = 2,0$ мм

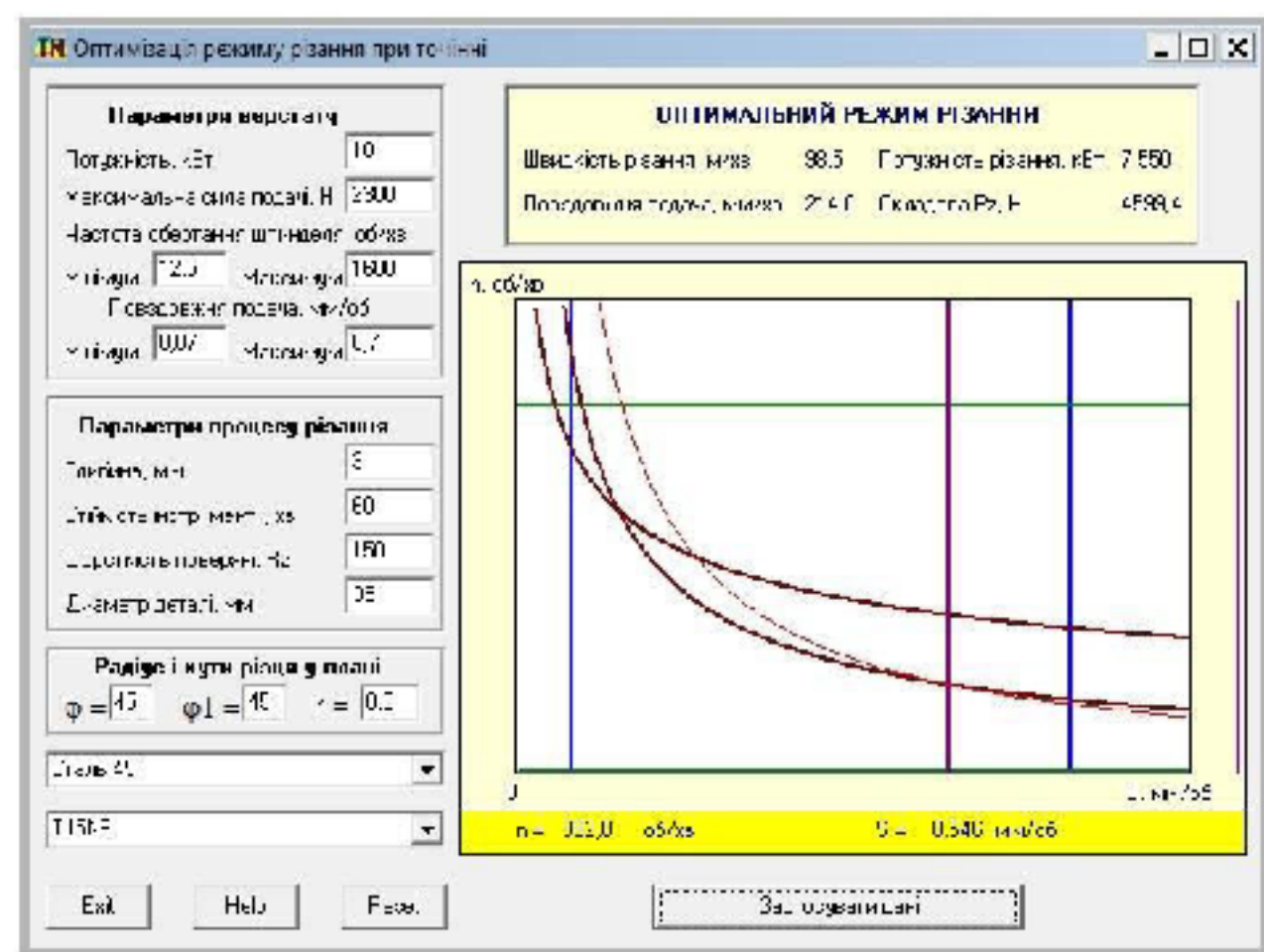


Рисунок 2.13 – Оптимізація режимів різання для чорнового точіння $\varnothing 95$ при $t = 3,0$ мм

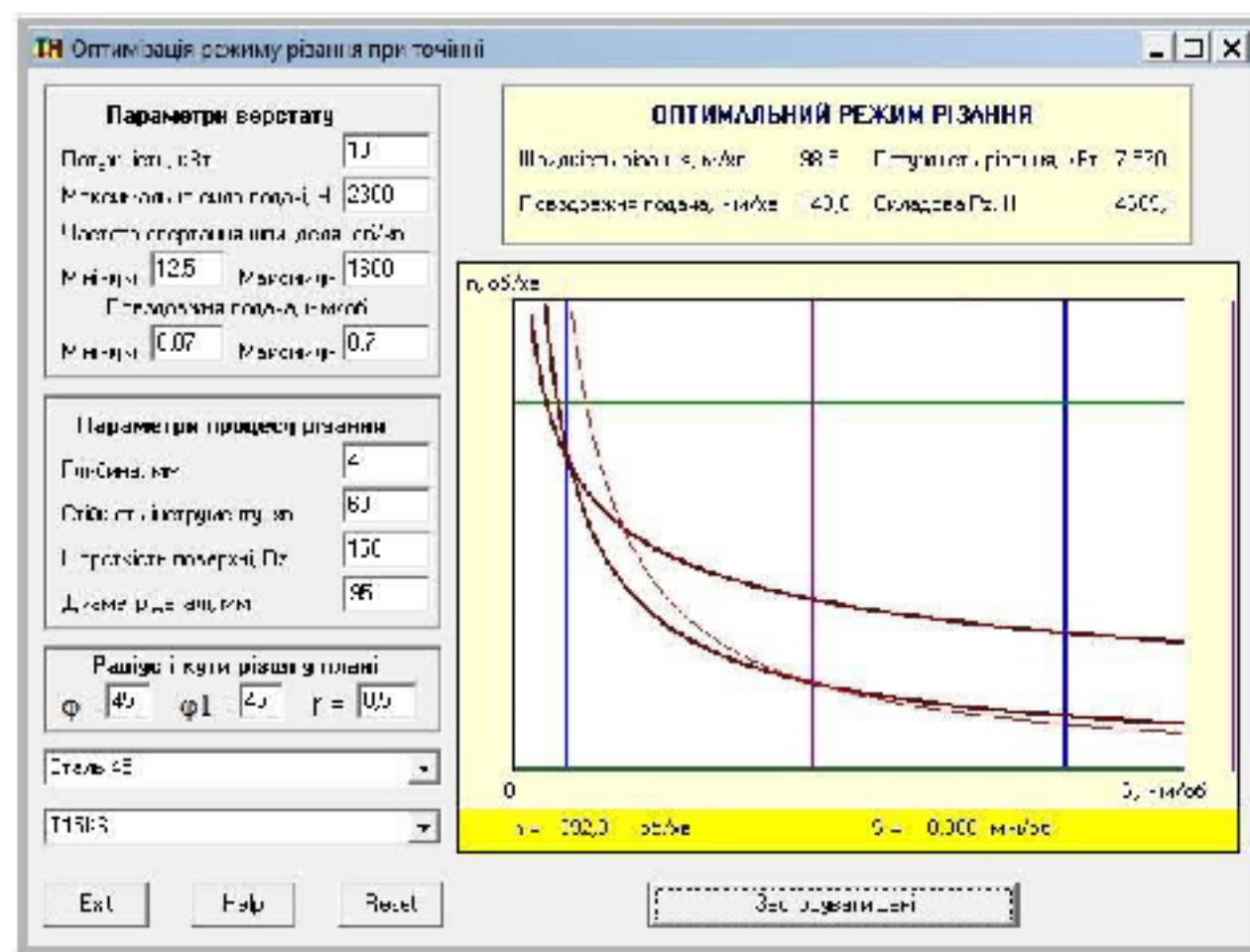


Рисунок 2.14 – Оптимізація режимів різання для чорнового точіння $\varnothing 95$ при $t = 4,0$ мм

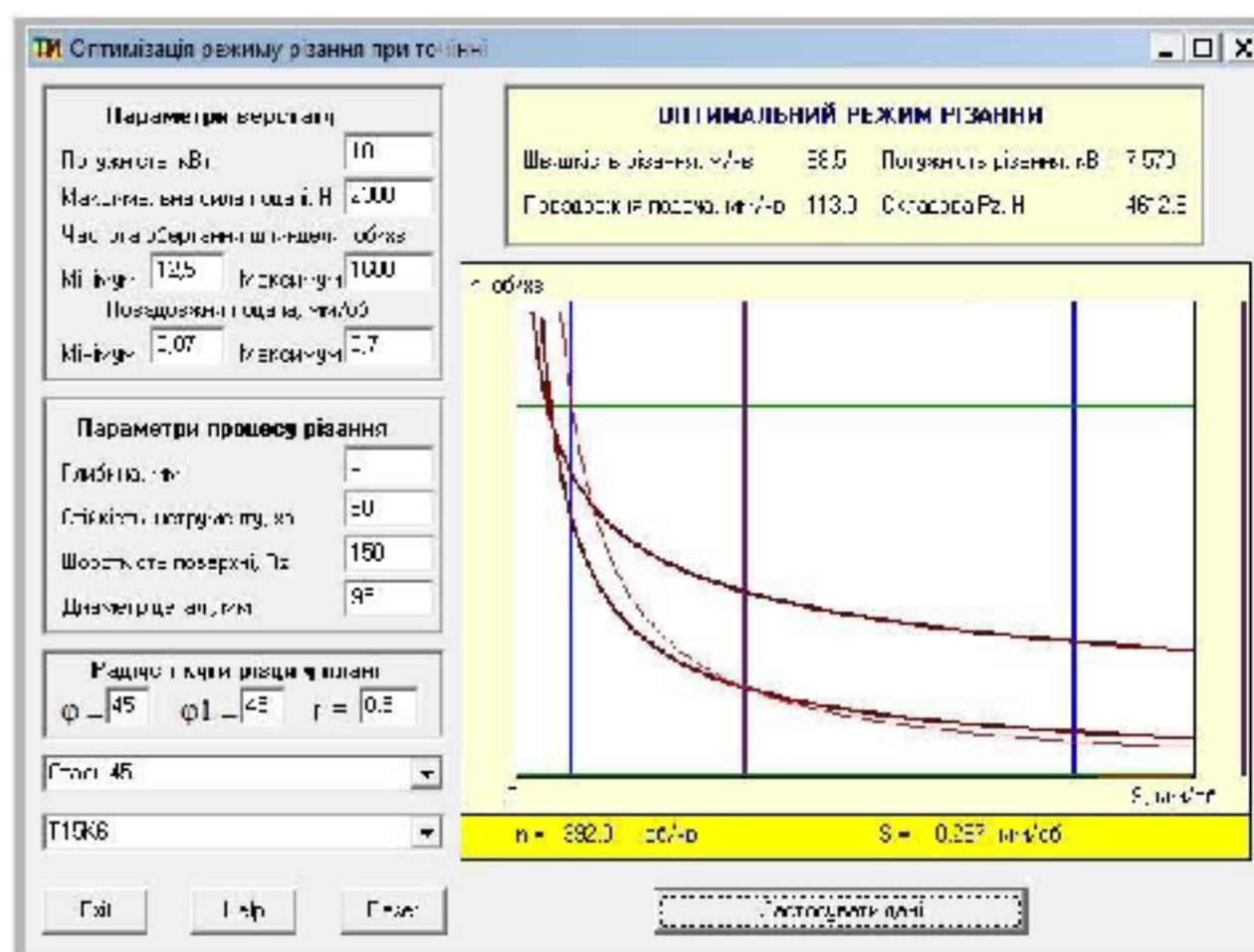


Рисунок 2.15 – Оптимізація режимів різання для чорнового точіння $\varnothing 95$ при $t = 5,0$ мм

За результатами досліджень побудовані графічні залежності оптимальних значень V , n , S , $S_{\text{позд}}$, P_z та N від глибини різання t для вказаних розмірів діаметра поверхні, що приведені на рис. 2.16-2.21.

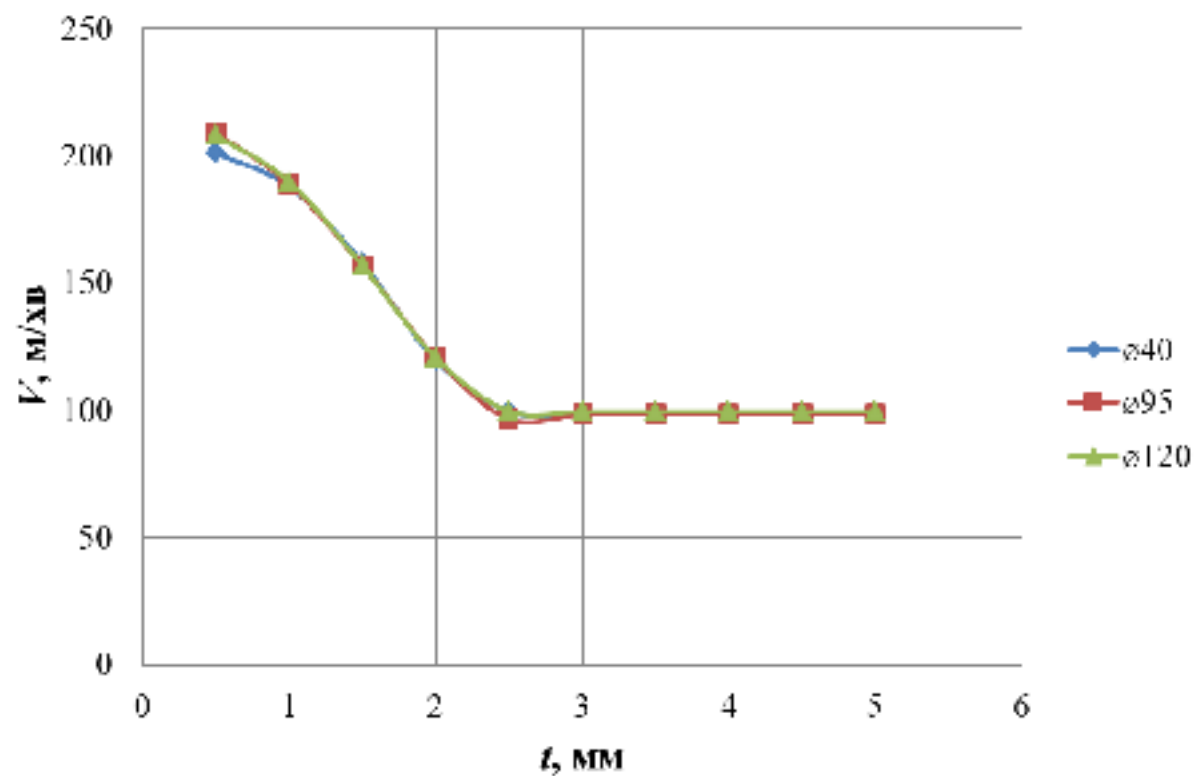


Рисунок 2.16 – Залежність оптимального значення швидкості різання V від глибини різання t

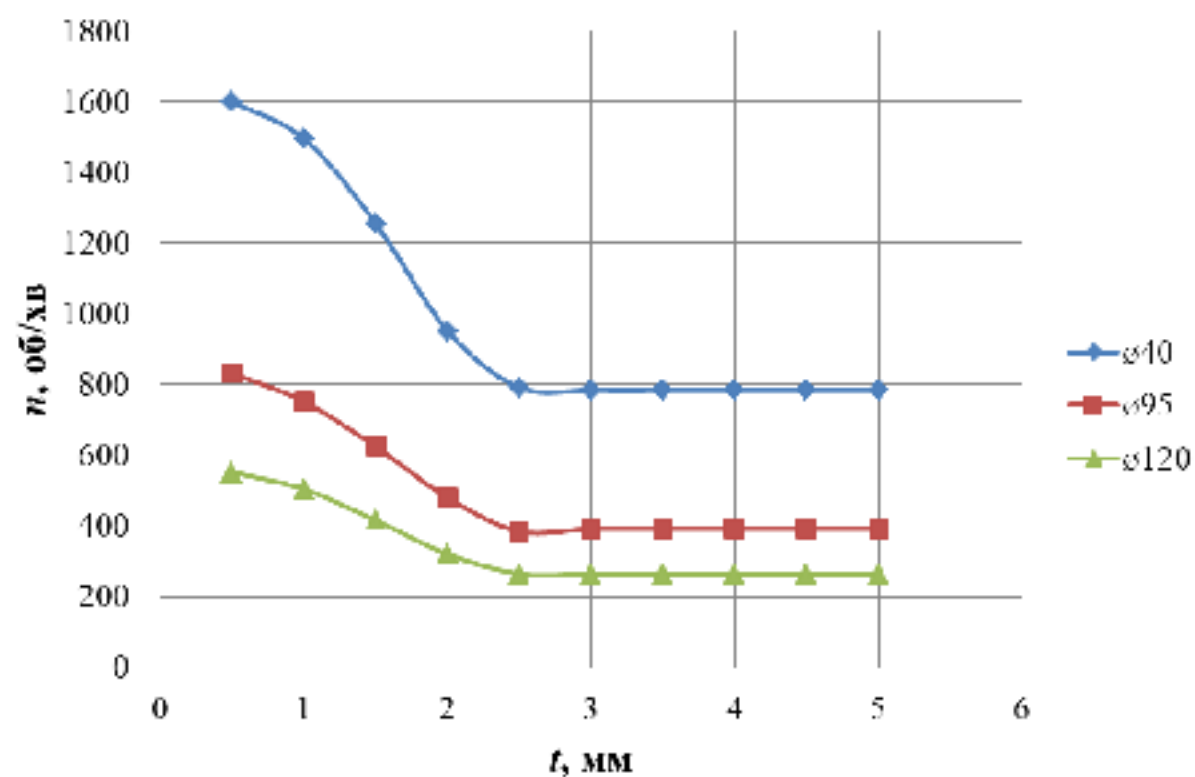


Рисунок 2.17 – Залежність оптимального значення частоти обертання n від глибини різання t

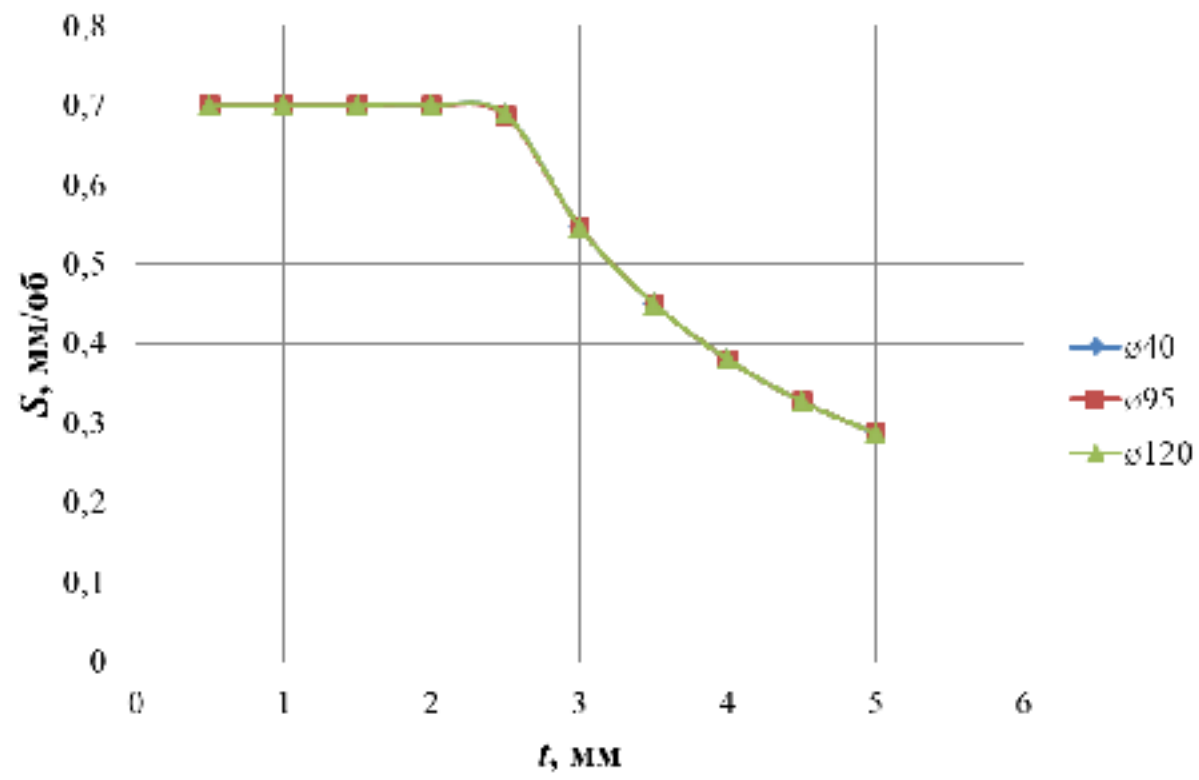


Рисунок 2.18 – Залежність оптимального значення подачі S від глибини різання t

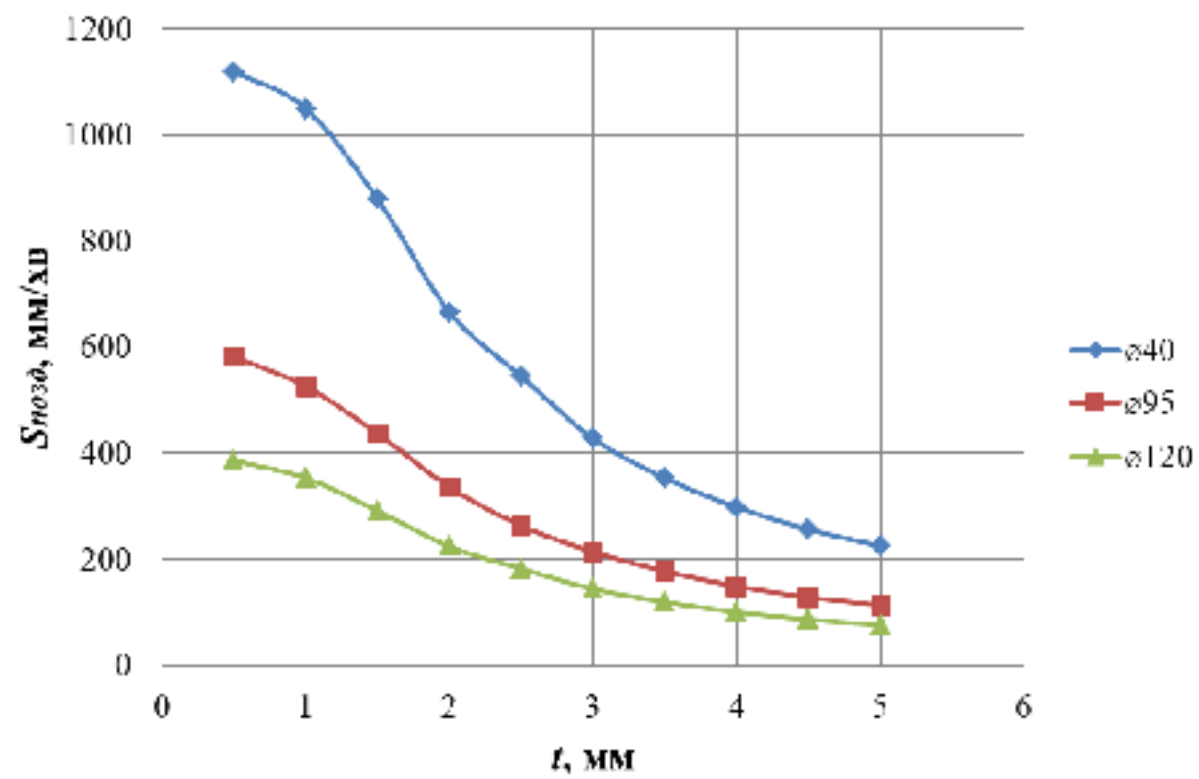


Рисунок 2.19 – Залежність оптимального значення поздовжньої подачі $S_{\text{позд}}$ від глибини різання t

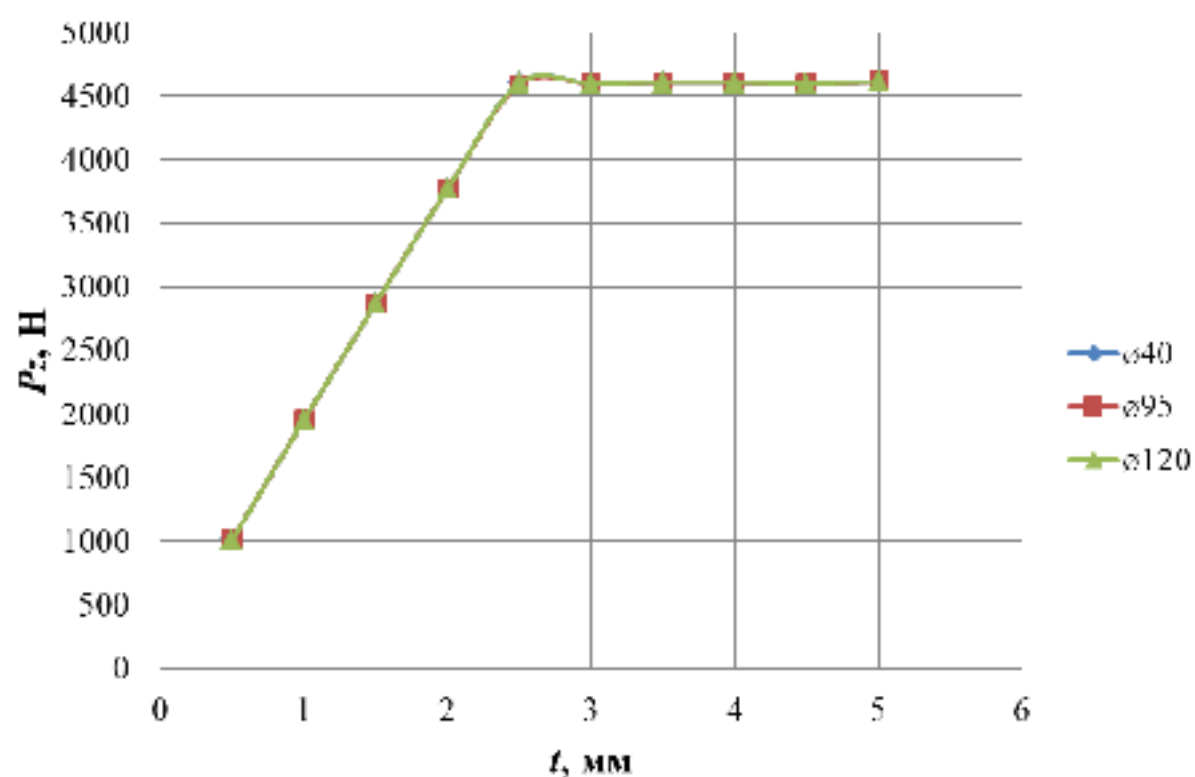


Рисунок 2.20 – Залежність оптимального значення складової сили різання P_z від глибини різання t

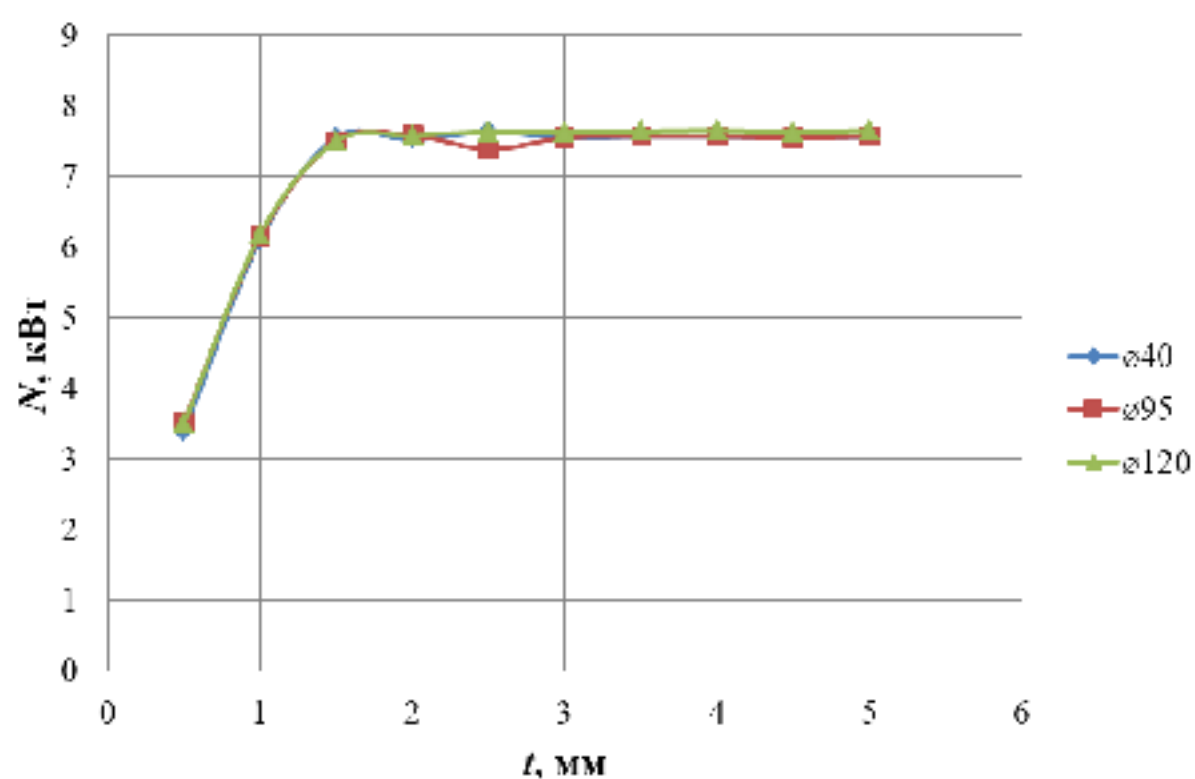


Рисунок 2.21 – Залежність оптимального значення потужності різання N від глибини різання t

2.11.3 Висновки

Виконано математичне моделювання технологічного процесу та оптимізовано режими різання при чорновому точінні поверхонь різного діаметру. В результаті проведеної роботи можна зробити такі висновки.

1. Оптимальне значення швидкості різання V при невеликих глибинах різання t (0,5-2 мм) нелінійно зменшується при збільшенні глибини. При збільшенні глибини від 2,5 до 5 мм оптимальна швидкість різання залишається постійною. В обох частинах залежності величина діаметру практично не впливає на оптимальні значення швидкості різання.

2. Оптимальне значення частоти обертання n нелінійно залежить від глибини різання t при невеликих глибинах різання (0,5-2 мм), зменшуючись при збільшенні глибини різання. При зростанні глибини різання від 2,5 до 5 мм оптимальне значення частоти обертання залишається постійним. Характер залежності оптимального значення частоти обертання n від глибини різання t при збільшенні розміру оброблюваної діаметральної поверхні аналогічний, числові значення зменшуються при збільшенні діаметра.

3. Оптимальне значення подачі S при невеликих глибинах різання t (0,5-2,5 мм) не змінюється. При збільшенні глибини різання від 2,5 до 5 мм залежність має нелінійний характер, оптимальне значення подачі зменшується при збільшенні глибини різання. Розмір оброблюваної діаметральної поверхні не впливає на оптимальне значення подачі при розглядуваних глибинах різання.

4. Оптимальне значення поздовжньої подачі $S_{\text{позд}}$ нелінійно залежить від глибини різання t . Збільшення величини розміру оброблюваної діаметральної поверхні призводить до зменшення значень оптимальної поздовжньої подачі при збільшенні глибини різання.

5. Залежність оптимального значення складової сили різання P_z від глибини різання t має змінний характер. В діапазоні від 0,5 до 2,5 мм вона зростає при збільшенні глибини різання. При збільшенні глибини різання від 2,5 до 5 мм залежність є незмінною (постійне значення P_z). Характер залежності не змінюється при збільшенні розміру оброблюваної поверхні.

6. Оптимальне значення потужності різання N має нелінійну залежність від глибини різання t при її невеликих значеннях (0,5-1,5 мм). При збільшенні глибини різання $>1,5$ мм оптимальне значення потужності різання практично не

залежить від глибини різання. Характер залежності не змінюється від збільшення розміру оброблюваної поверхні.

7. Виконані дослідження можуть бути використані в навчальному процесі студентів, а також на виробництві.

2.12 Визначення технічних норм часу на операції

Проведемо детальний розрахунок технічних норм часу на операцію 005. Розрахунок технічних норм часу для верстатів з ЧПК проводимо згідно [1, 13-15].

Норма штучно-калькуляційного часу визначається по формулі для серійного виробництва:

$$T_{шк-к} = \frac{T_{п-з}}{n} + T_{шт} \text{ [хв.]}, \quad (2.47)$$

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

$T_{шт}$ – штучний час,

n – кількість деталей в налагоджуваній партії.

Визначаємо склад підготовчо-заключного часу:

- налагодження верстата, інструменту і пристосування – 16 хв.;
- отримання інструменту і пристосування до початку роботи і здача їх після завершення роботи – 10 хв.

$$T_{п-з} = 16 + 10 = 26 \text{ (хв.)}$$

Прийнято розмір партії деталей $n = 186$ шт.

Норма штучного часу для верстатів з ЧПК визначається за формулою:

$$T_{шт} = T_{осн} + T_{доп} + T_{оис} + T_{всп} \text{ [хв.]}, \quad (2.48)$$

де $T_{осн}$ – основний час обробки, хв.;

де $T_{осн}$ – основний час обробки, хв.;

$T_{доп}$ – допоміжний час, хв.;

$T_{обс}$ – час обслуговування, хв.;

$T_{відп}$ – час відпочинку, хв.

Розрахунок основного часу $T_{осн}$ для операції 005 по переходам проводимо за формулою:

$$T_{осн} = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} \text{ [хв.]}, \quad (2.49)$$

де L – довжина робочого ходу, мм;

i – кількість робочих ходів;

n – частота обертання шпинделя, об/хв.;

S – подача, мм/об.

$$L = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер} \text{ [мм]}, \quad (2.50)$$

$l_{обр}$ – довжина обробки, мм;

$l_{вр}$ – довжина врізання, мм;

$l_{пер}$ – довжина перебігу, мм.

Перехід 2. Підрізати торець 1 попередньо, фаску 3 однократно

$$T_{осн\ 2} = \frac{18 + 3 + 3}{500 \cdot 0,4} + \frac{3 + 2}{500 \cdot 0,4} = 0,125 \text{ (хв.)}$$

Перехід 3. Точити торець 1 остаточно

$$T_{осн\ 3} = \frac{18 + 3 + 3}{800 \cdot 0,15} = 0,2 \text{ (хв.)}$$

Перехід 4. Розточити поверхню 4 попередньо, підрізати торець 5 однократно, точити фаску 8

$$T_{оч 4} = \frac{149 + 5}{500 \cdot 0,4} + \frac{5,5 + 2}{500 \cdot 0,4} + \frac{2,5 + 2}{500 \cdot 0,4} = 0,83 \text{ (хв.)}$$

Перехід 5. Розточити канавку 6 однократно

$$T_{оч 5} = \frac{5,1 + 3}{500 \cdot 0,4} = 0,0405 \text{ (хв.)}$$

Перехід 6. Розточити поверхню 7 однократно

$$T_{оч 6} = \frac{66}{500 \cdot 0,4} = 0,33 \text{ (хв.)}$$

Перехід 7. Розточити поверхню 4 попередньо

$$T_{оч 7} = \frac{83 + 3}{800 \cdot 0,15} = 0,717 \text{ (хв.)}$$

Перехід 8. Розточити поверхню 4 остаточно

$$T_{оч 8} = \frac{83 + 3}{1200 \cdot 0,1} = 0,717 \text{ (хв.)}$$

Таким чином

$$\Sigma T_{оч 005} = 2,957 \text{ хв.}$$

Допоміжний час визначаємо згідно нормативів [1, 13]

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{в.з.}} + T_{\text{з.р.}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{вим}} \quad [\text{хв.}], \quad (2.51)$$

де $T_{\text{в.з.}} + T_{\text{з.р.}} = 0,2$ – час на встановлення і зняття деталі, закріплення і розкріплення;

$T_{\text{уп}}$ – час на прийоми управління верстатом і додаткові прийоми: ввімкнення і вимкнення верстата кнопкою – $0,01 \cdot 2$ хв.; встановлення заданого взаємного розташування деталі і інструмента по координатам – $0,32$ хв.; перевірка приходу інструменту в задану точку після обробки – $0,15$ хв.; час на поворот револьверної головки (7 разів) – $0,015 \cdot 7 = 0,105$ хв.; час на підведення та відведення інструменту (8 разів) – $0,025 \cdot 8 = 0,2$ хв.;

$$T_{\text{уп}} = 0,2 + 0,02 + 0,32 + 0,15 + 0,105 + 0,2 = 0,995 \text{ (хв.)};$$

$T_{\text{вим}}$ – час на контрольні вимірювання: вимірювання штангенциркулем – $0,011$ хв.; час на зовнішній огляд і перевірку робочими зразками шорсткості – $0,013$ хв.;

$$T_{\text{вим}} = 0,19/5 + 0,013 = 0,05 \text{ (хв.)}$$

Допоміжний час

$$T_{\text{доп}} = 0,995 + 0,05 = 1,045 \text{ (хв.)}$$

Оперативний час

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{осн}} + T_{\text{доп}} \quad [\text{хв.}], \quad (2.52)$$

$$T_{\text{оп}} = 2,957 + 1,045 = 4,002 \text{ (хв.)}$$

$T_{\text{об}} + T_{\text{вип}} –$ час на технічне і організаційне обслуговування робочого місця та час перерв та відпочинку і індивідуальні потреби робітника, що складає 9% від оперативного часу;

$$T_{об} + T_{вцп} = \frac{T_{оп} \cdot 7}{100} = \frac{4,002 \cdot 7}{100} = 0,28 \text{ (хв.)}$$

Штучний час

$$T_{шт} = 4,002 + 0,28 = 4,28 \text{ (хв.)}$$

Штучно-калькуляційний час

$$T_{шт-к} = \frac{26}{186} + 4,28 = 4,21 \text{ (хв.)}$$

На інші операції технічні норми часу визначаємо аналогічно згідно рекомендацій і дані розрахунків зводимо в таблицю 2.22.

Таблиця 2.22 – Технічні норми часу операцій, хв.

№ оп-ції	Найменування операції	T_o	$T_{доп}$			$T_{оп}$	$T_{об}$		$T_{вцп}$	$T_{шт}$	$T_{п-з}$	п	$T_{шт-к}$
			$T_{в.з.} + T_{з.р.}$	$T_{уп}$	$T_{вим}$		$T_{тех}$	$T_{орг}$					
005	Токарно-револьверна з ЧПК	2,957	0,2	0,995	0,05	4,002	–	–	Σ0,28	4,28	26	186	4,21
010	Токарно-револьверна з ЧПК	3,48	0,2	0,48	0,06	4,22	–	–	Σ0,29	4,51	26	186	4,65
015	Вертикально-фрезерна з ЧПК	1,26	0,06	0,05	0,024	1,51	0,5	0,02	0,05	2,08	23	186	1,92
020	Токарна з ЧПК	7,45	0,2	0,48	0,1	2,98	–	–	Σ0,3	2,99	25	186	9,24

3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС Г20.01.004»

3.1 Розрахунок приведеної програми

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

$$N_{пр} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{прі}, [\text{шт.}] \quad (3.1)$$

Для визначення коефіцієнтів K_1 , K_2 , K_3 скористаємося даними таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Дані для розрахунку приведеної програми

Деталі	Маса, кг	Про- грама, шт.	Квалітет / Шорсткість								
			6	7	8	9	10	11	12	13	14
Корпус Г20.01.004 (розрахун- ковий пред- ставник)	2,1	3000	-	2	2	1	-	-	-	-	19
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-
			-	-	1	-	9	7	7	-	-
			-	-	-	-	-	-	-	-	-
Корпус циліндра Ц50	4,0	600	6	7	8	9	10	11	12	13	14
			-	3	2	-	1	-	6	-	32
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-
			-	4	2	-	1	2	35	-	-
Втулка	1,2	30000	-	1	2	-	-	3	1	-	65
			6	7	8	9	10	11	12	13	14
			3	2	-	1	-	2	1	-	22
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	-	-
			3	2	-	1	3	2	20	-	-
			-	-	-	-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{m_i}{m_{p.pr.}}\right)^2}, \quad (3.2)$$

де m_i – маса деталі розглядуваного виробу;

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

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

$$\text{для корпусу циліндра Ц50: } K_{1c} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_c}{m_{p.pr.}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{4,0}{2,1}\right)^2} = 1,53;$$

$$\text{для втулки: } K_{1B1} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{B1}}{m_{p.pr.}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{1,2}{2,1}\right)^2} = 0,69.$$

Для визначення коефіцієнта K_2 скористаємося залежністю:

$$K_2 = \left(\frac{N_{p.pr.}}{N_i}\right)^\alpha, \quad (3.3)$$

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

$$\text{для корпусу циліндра Ц50: } K_{2c} = \left(\frac{N_{p.pr.}}{N_i}\right)^\alpha = \left(\frac{3000}{600}\right)^{0,15} = 1,27;$$

$$\text{для втулки: } K_{2B1} = \left(\frac{N_{p.pr.}}{N_i}\right)^\alpha = \left(\frac{3000}{30000}\right)^{0,15} = 0,708.$$

K_3 – коефіцієнт, що враховує точність, шорсткість, складність конструкції деталі та конструктивні показники. Для технологічно подібних деталей визначається за формулами

$$K_3 = K_{31} \cdot K_{32}, \quad (3.4)$$

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

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

$$K_{32} = \left(\frac{\overline{R_{ai}}}{\overline{R_{a.pn}}} \right)^{\alpha_2} \quad (3.5)$$

$$K_{31} = \left(\frac{\overline{K_{Ti}}}{\overline{K_{T.pn}}} \right)^{\alpha_1}, \quad (3.6)$$

де K_{Ti} і $K_{T.pn}$ – середні значення квалітету точності деталі, що приводиться і деталі-представника;

R_{ai} і $R_{a.pn}$ – середні значення параметра R шорсткості поверхні деталі, що приводиться і деталі-представника.

Середній квалітет точності $K_{T.pn} = 12,7$.

Середня шорсткість $R_{a.pn} = 10,4$ мкм.

Знайдемо значення коефіцієнта K_3 для кожної деталі:
для корпусу циліндра Ц50:

$$\overline{K_{T.pn}^B} = \frac{\sum K_B \cdot n_{KB}}{\sum n_{KB}} = \frac{7 \cdot 3 + 8 \cdot 2 + 10 \cdot 1 + 12 \cdot 6 + 14 \cdot 32}{3 + 2 + 1 + 6 + 32} = 12,9;$$

$$K_{3,1} = \left(\frac{\overline{K_T^B}}{\overline{K_{T.pn}^B}} \right)^{\alpha_1} = \frac{(12,9)^{\alpha_1}}{(12,7)^{\alpha_1}} = \frac{0,81}{0,86} = 0,94;$$

для втулки:

$$\overline{K_{T.pn}^{B2}} = \frac{\sum K_B \cdot n_{KB}}{\sum n_{KB}} = \frac{6 \cdot 3 + 7 \cdot 2 + 9 \cdot 1 + 11 \cdot 2 + 12 \cdot 1 + 14 \cdot 22}{3 + 2 + 1 + 2 + 1 + 22} = 11,2;$$

$$K_{3,1} = \left(\frac{\overline{K_T^{B2}}}{\overline{K_{T.pn}^{B2}}} \right)^{\alpha_1} = \frac{(11,2)^{\alpha_1}}{(12,7)^{\alpha_1}} = \frac{0,91}{0,86} = 1,058.$$

Знайдемо значення коефіцієнта $K_{3,2}$ для кожної деталі:
для корпусу циліндра Ц50:

$$\overline{R_a^{B1}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{nos}}{\sum n_{nos}} = \frac{1,25 \cdot 4 + 1,6 \cdot 4 + 3,2 \cdot 1 + 6,3 \cdot 2 + 12,5 \cdot 35}{4 + 4 + 1 + 2 + 35} = 10,1;$$

$$K_{32}^{B1} = \left(\frac{\overline{R_a^{B1}}}{\overline{R_{a,pu}}} \right)^{\alpha^2} = \frac{(10,1)^{\alpha^2}}{(10,4)^{\alpha^2}} = \frac{0,95}{0,965} = 0,98 ;$$

для втулки:

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

$$K_{32}^{B1} = \left(\frac{\overline{R_a^{B1}}}{\overline{R_{a,pu}}} \right)^{\alpha^2} = \frac{(9)^{\alpha^2}}{(10,4)^{\alpha^2}} = \frac{0,955}{0,965} = 0,99 .$$

Знайдемо значення коефіцієнта K_3 для кожної деталі:

- для корпусу циліндра Ц50: $K_3 = 0,94 \cdot 0,98 = 0,92 ;$

- для втулки: $K_3 = 1,058 \cdot 0,99 = 1,047$

Знайдемо значення коефіцієнта $K_{пр}$ для кожного виробу

- для корпусу циліндра Ц50: $K_{прB} = 1,53 \cdot 1,27 \cdot 0,92 = 1,985 ;$

- для втулки: $K_{прB} = 0,69 \cdot 0,71 \cdot 1,047 = 0,513 .$

На основі приведених вище розрахунків приведена програма становитиме:

$$N_{пр} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{прi} = 3000 \cdot 1,0 + 600 \cdot 1,985 + 30000 \cdot 0,513 = 19580 \quad (\text{шт.})$$

Приймаємо $N_{пр} = 19580$ шт.

Результати розрахунку занесено до табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок приведеної програми

Найменування виробу	Річний випуск, шт.	Маса одного виробу, кг	Коефіцієнт приведення				Приведена програма
			по масі	по серійності	по складності	загальний	на річний випуск
Корпус Г20.01.004	3000	2,1	1,0	1,0	1,0	1,0	3000
Корпус циліндра Ц50	600	2,5	1,53	1,27	0,92	1,985	1190
Втулка	30000	1,8	0,69	0,71	1,047	0,513	15390
Всього							19580

Отже, при подальших розрахунках кількості обладнання, працівників та інших складових ділянки буде використовуватися приведена програма, тобто проектується ділянка, на якій вироблятиметься 2 подібні деталі.

3.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

Визначаємо кількість верстатів при непотоковій формі організації роботи за формулою [9, 19]:

$$C_p = \frac{T_{\Sigma}}{F} \text{ [шт.]}, \quad (3.7)$$

де F – фонд часу роботи верстату, год.

$$T_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m T_{um-ij} \cdot N_i}{60} \text{ [хв.]} \quad (3.8)$$

$$\text{Операція 005: } C_{p005} = \frac{4,21 \cdot 19580}{3890 \cdot 60} = 0,35 ;$$

$$\text{операція 010: } C_{p010} = \frac{4,65 \cdot 19580}{3890 \cdot 60} = 0,39 ;$$

$$\text{операція 015: } C_{p015} = \frac{1,92 \cdot 19580}{3890 \cdot 60} = 0,16 ;$$

$$\text{операція 020: } C_{p020} = \frac{9,24 \cdot 19580}{3890 \cdot 60} = 0,77 .$$

Приведені розрахунки зведемо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок кількості верстатів

№ операції	C_p	C_{np}
005	0,35	1
010	0,39	1
015	0,16	1
020	0,77	1

Приймаємо на всіх операціях по одному верстату.

Визначаємо коефіцієнт завантаження верстатів за формулою

$$\eta_z = \frac{C_p}{C_{np}}, \quad (3.9)$$

де C_p – розрахована кількість верстатів,

C_{np} – прийнята кількість верстатів.

$$\text{Операція 005: } \eta_{z005} = \frac{0,35}{1} = 0,35 ;$$

$$\text{операція 010: } \eta_{z010} = \frac{0,39}{1} = 0,39 ;$$

$$\text{операція 015: } \eta_{z015} = \frac{0,16}{1} = 0,16 ;$$

$$\text{операція 020: } \eta_{z020} = \frac{0,77}{1} = 0,77 .$$

Приведені розрахунки зводимо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Коефіцієнт завантаження верстатів

№ операції	$\eta_{\text{в}}$
005	0,35
010	0,39
015	0,16
020	0,77

Середній коефіцієнт завантаження $\eta_{\text{вср}} = 0,42$.

Визначаємо коефіцієнт використання за основним часом за формулою

$$\eta_{\text{осн}} = \frac{T_{\text{осн}}}{T_{\text{шт}} - \kappa}, \quad (3.10)$$

$$\text{Операція 005: } \eta_{\text{осн 005}} = \frac{2,957}{4,21} = 0,7 ;$$

$$\text{операція 010: } \eta_{\text{осн 010}} = \frac{3,48}{4,65} = 0,75 ;$$

$$\text{операція 015: } \eta_{\text{осн 015}} = \frac{1,26}{1,92} = 0,66 ;$$

$$\text{операція 020: } \eta_{\text{осн 020}} = \frac{7,45}{9,24} = 0,81 .$$

Приведені розрахунки зводимо до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Коефіцієнт використання за основним часом

№ операції	$\eta_{\text{осн}}$
005	0,7
010	0,75
015	0,66
020	0,81

Середній коефіцієнт використання за основним часом $\eta_{\text{осн ср}} = 0,73$.

Таблиця 3.6 – Розрахунок кількості обладнання

$N_{оп}$	Назва операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Коефіцієнт завантаження	Середній коефіцієнт завантаження	Коефіцієнт завантаження по основному часу	Середній коефіцієнт використання за основним часом
005	Токарно-револьверна з ЧПК	0,35	1	0,35	0,42	0,7	0,73
010	Токарно-револьверна з ЧПК	0,39	1	0,39		0,75	
015	Вертикально-фрезерна з ЧПК	0,16	1	0,16		0,66	
020	Токарна з ЧПК	0,77	1	0,77		0,81	

3.3 Побудова графіків завантаження обладнання

Графік завантаження обладнання показаний на рисунку 3.1. Графік використання обладнання за основним часом показаний на рис. 3.2.

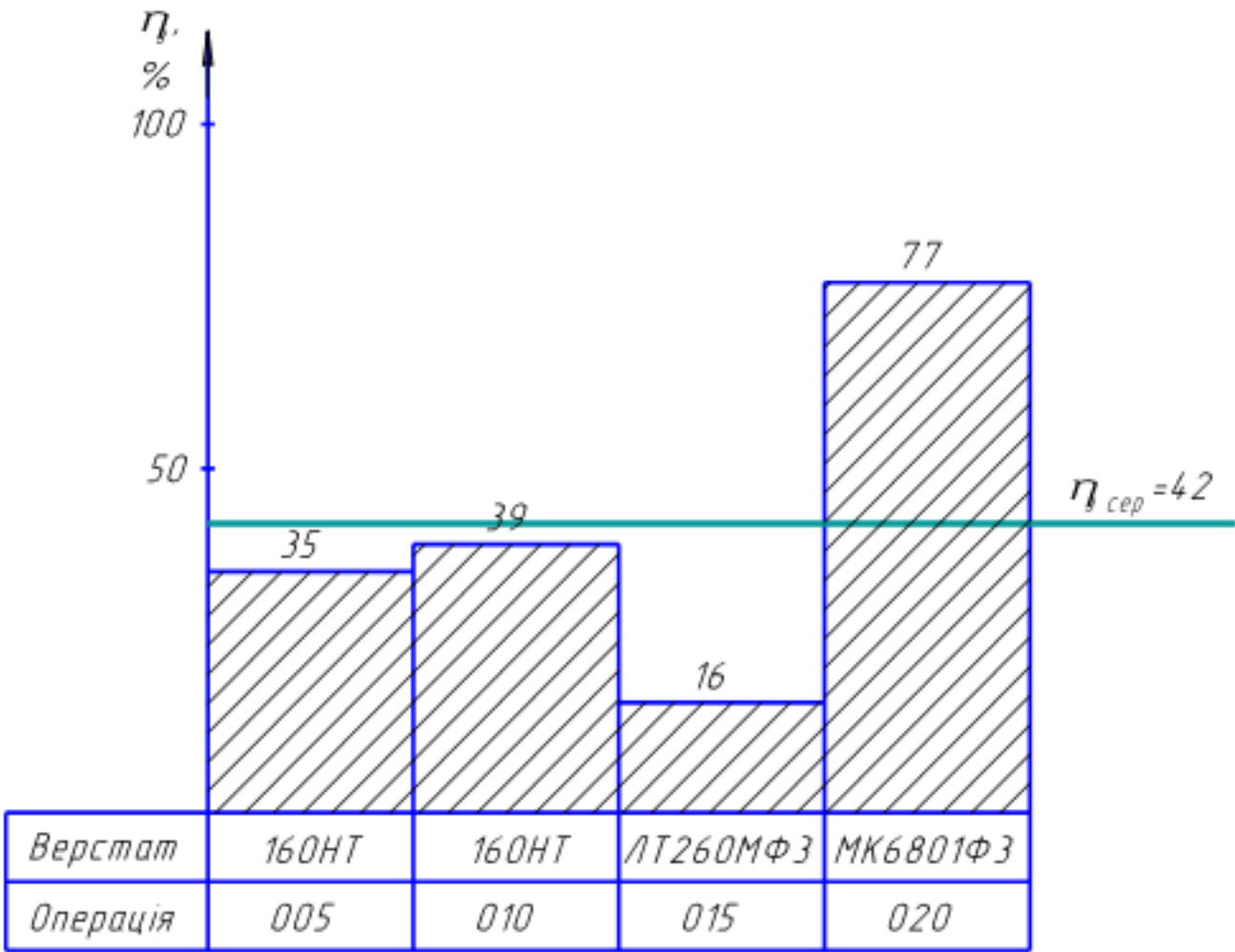


Рисунок 3.1 – Графік завантаження обладнання

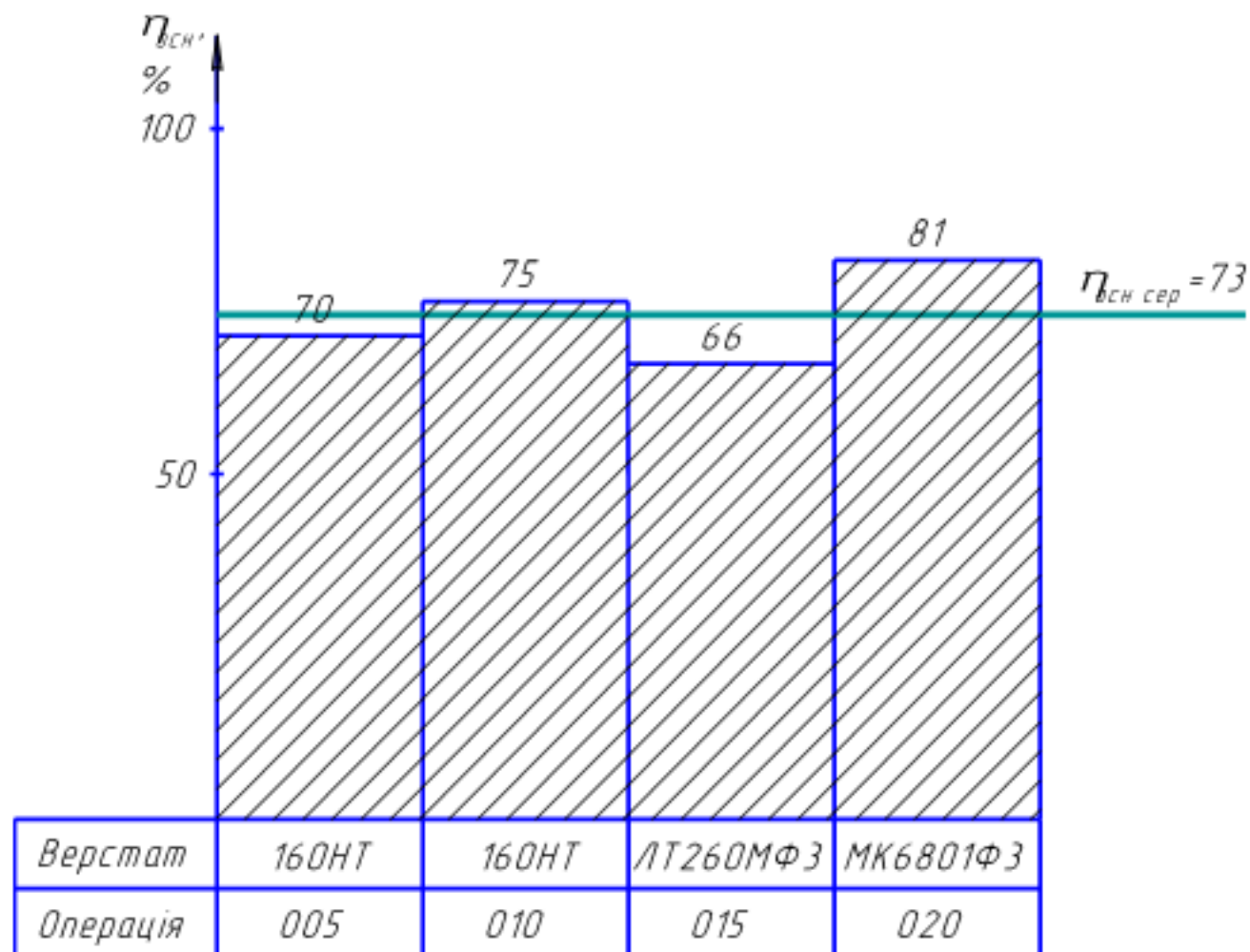


Рисунок 3.2 – Графік використання обладнання за основним часом

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

Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом є досить високим. Це свідчить про правильність побудови запропонованого варіанту технологічного процесу.

3.4 Розрахунок кількості робітників на дільниці

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

$$P_i = \frac{\Phi_{\text{д}} \cdot C_{\text{вр}} \cdot \eta_z \cdot \eta_{\text{осн}}}{\Phi_p \cdot K_m} \text{ [шт.]}, \quad (3.11)$$

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

Φ_p – ефективний річний фонд роботи верстатника, $\Phi_v=1860$ год.

(тривалість робочої неділі – 41 год., основної відпустки – 18 днів);

Φ_s – ефективний фонд роботи верстата, год.;

K_m – коефіцієнт багатоверстатного обслуговування, $K_m=1,0\dots2,2$;

η_z – коефіцієнт завантаження обладнання;

$\eta_{осн}$ – коефіцієнт використання обладнання по основному часу.

Так кількість верстатників на операції 005 складає:

$$P_{005} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,35 \cdot 0,7}{1860 \cdot 1} = 0,5 .$$

Приймаємо 1 токаря.

Кількість верстатників на операції 010 складає:

$$P_{010} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,39 \cdot 0,75}{1860 \cdot 1} = 0,61 .$$

Приймаємо 1 токаря.

Кількість верстатників на операції 015 складає:

$$P_{015} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,16 \cdot 0,66}{1860 \cdot 1} = 0,22 .$$

Приймаємо 1 фрезерувальника.

Кількість верстатників на операції 020 складає:

$$P_{020} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,77 \cdot 0,81}{1860 \cdot 1} = 1,3 .$$

Приймаємо 2 токаря.

Результати розрахунків записуємо до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Кількість робітників-верстатників

№ оп.	Назва операції	Прийнята кількість верстатів, $C_{вр}$	Φ_{ϕ} , год.	η_z	$\eta_{осн}$	K_{κ}	P_i , чол.	$P_{вр}$, чол.
005	Токарна з ЧПК	1	3890	0,35	0,7	1	0,5	1
010	Токарна з ЧПК	1	3890	0,39	0,75	1	0,61	1
020	Фрезерна	1	3890	0,16	0,66	1	0,22	1
025	Токарна з ЧПК	1	3890	0,77	0,81	1	1,3	2

Так як, на операціях робітники повністю не завантажені, то потрібно довантажити їх роботою з іншими деталями, крім врахованих в приведеній програмі.

Згідно таблиці 3.7 сума всіх основних робочих – 5 чол.

Кількість допоміжних робітників:

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

Приймаємо 1 допоміжного робітника.

Кількість ІТР:

$$P_{ИТР} = (0,16...0,22) \cdot 4 = 0,64...0,88.$$

Приймаємо 1 чол. ІТР.

Кількість службовців:

$$P_{скл} = (0,09...0,019) \cdot 5 = 0,045...0,095.$$

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

Кількість молодшого обслуговуючого персоналу:

$$P_{\text{МОП}} = 0,02 \cdot (5+2+1+1) = 0,18.$$

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

Отримані дані занесемо до таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Відомість складу працюючих ділянки

Категорії працюючих	Спосіб визначення	Розрахункова кількість	Прийнята кількість
Основні робітники-верстатники	розрахунок	5	5
Допоміжні робітники	20...25%	1,0...1,25	1
ІТР	16...22%	0,64...0,88	1
СКП	0,9...1,9%	0,045...0,095	1
МОП	2%	0,18	1

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС Г20.01.004»

4.1 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 4.1 [20].

Таблиця 4.1 – 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 витрачати 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 4.2.

Таблиця 4.2 – 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 4.2 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 4.3.

Таблиця 4.3 – Основні параметри інноваційного рішення

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

Визначимо абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

$$K_{\text{я.я.}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{III}} \cdot \alpha_i, \quad (4.1)$$

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

$$K_{\text{я.я.}} = 10 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,4 + 8 \cdot 0,2 + 7 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,15 = 11,7.$$

Визначимо відносний рівень якості окремих параметрів інноваційного рішення, порівнюючи його показники з абсолютними показниками якості аналогу (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Основні параметри інноваційного рішення та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий	Новий (інноваційне рішення)		
Кількість верстатів, шт.	8	4	2,0	0,4
Кількість основних робітників, чол.	15	5	3,0	0,4
Середній розряд робітників	4	3	1,33	0,2
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,31	0,42	1,35	0,15
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом	0,34	0,73	2,15	0,15
Собівартість заготовки, грн.	100,3	76,3	-	-

Відносні (одиничні) показники якості з будь-якого параметра q_i , що занесено у відповідні колонки таблиці 4.3, визначаються за формулами:

$$q_i = \frac{P_{Hi}}{P_{Bi}}, \quad (4.2)$$

або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}}, \quad (4.3)$$

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

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

$$K_{\text{к.к.}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (4.4)$$

$$K_{\text{к.к.}} = 2,0 \cdot 0,4 + 3,0 \cdot 0,4 + 1,33 \cdot 0,2 + 1,35 \cdot 0,15 + 2,15 \cdot 0,15 = 2,79.$$

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:

$$K = \frac{I_{\text{и.в.}}}{I_{\text{с.к.}}}, \quad (4.5)$$

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

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I_{е.п.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Hei}}{\sum_{i=1}^n P_{Bei}}, \quad (4.6)$$

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

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

Оскільки індекс технічних параметрів дорівнює відносному рівню якості нашого інноваційного продукту, то він буде рівним 2,79. За формулою (4.6) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I_{е.п.} = \frac{100,3}{76,3} = 1,31.$$

Тоді, користуючись формулою (4.5), розрахуємо загальний показник конкурентоспроможності:

$$K = \frac{2,79}{1,31} = 2,13.$$

Оскільки $K > 1$, то запропонована нова технологія виготовлення деталі «Корпус Г20.01.004» є більш доцільнішою і конкурентноспроможною, ніж базова.

4.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004»

4.2.1 Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу

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

$$K = Z_o + Z_{доd} + Z_n + B_{бyд} + B_{обл} + B_{тp} + B_{осн} + B_{им} + B_{пу} + B_{м} + B_{ос} \text{ [грн.]}, \quad (4.7)$$

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.;

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

Z_n – нарахування на заробітну плату розробників, грн.;

$B_{бyд}$ – вартість будівлі, що її займає діляниця, грн.;

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

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

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

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

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

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

4.2.2 Основна заробітна плата розробників

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

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p} \text{ [грн.]}, \quad (4.8)$$

де k – кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

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

t_i – число днів роботи конкретного розробника, грн.;

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

Таблиця 4.5 – 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	16000	727,27	10	7272,73	
Інженер-технолог	14000	636,36	8	5090,91	
Інженер-конструктор	14000	636,36	8	5090,91	
Економіст	14000	636,36	8	5090,91	
Всього				z_o	22545,46

4.2.3 Додаткова заробітна плата розробників

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

$$z_{\text{доп}} = H_{\text{доп}} \cdot z_o \text{ [грн.]}, \quad (4.9)$$

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

$$z_{\text{доп}} = 0,1 \cdot 22545,46 = 2254,55 \text{ (грн.)}$$

4.2.4 Єдиний страховий внесок розробників (ЄСВ)

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

$$z_{\text{є}} = (z_o + z_{\text{доп}}) \cdot H_{\text{є}} \text{ [грн.]}, \quad (4.10)$$

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

$$З_{\text{н}} = (22545,46 + 2254,55) \cdot 0,22 = 5456,0 \text{ (грн.)}$$

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:

$$B_{\text{буд.}} = C_{\text{пр}} \cdot S_{\text{заг}} \text{ [грн.]}, \quad (4.11)$$

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.

$$B_{\text{буд.}} = 800 \cdot 110 = 88000 \text{ (грн.)}$$

4.2.6 Початкова вартість технологічного обладнання

Балансову вартість нового обладнання розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{обл}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i \text{ [грн.]}, \quad (4.12)$$

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

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

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

k – кількість найменувань обладнання встановленого на ділянці.

Таблиця 4.6 – Вартість обладнання

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	K_i	Вартість, грн.
1	Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ30	555000	1	1,1	610500
2	Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ40	555000	1	1,1	610500
3	Токарний верстат з ЧПК МК6801Ф3	400000	1	1,1	444000
Всього					1665000

Витрати на придбання, монтаж та налагодження двох токарно-револьверних верстатів з ЧПК 1П420ПФ30 та 1П420ПФ40 і одного токарного верстату з ЧПК МК6801Ф3 складають (в даному випадку придбані верстати, що були у використанні): 1665000 грн.

Реалізуємо верстати, що були на базовій ділянці:

- 2 верстати 1В340Ф30 по ціні 150000 грн.: $2 \cdot 150000 = 300000$ (грн.);
- 1 верстат 16А20Ф3 по ціні 50000 грн.;
- 2 верстати 3А240 по ціні 50000 грн.: $2 \cdot 50000 = 100000$ (грн.);
- 1 верстат 2Р135Ф1 по ціні 40000 грн.;
- 1 верстат 3М151 по ціні 30000 грн.

Всього реалізовано верстатів на 520000 грн.

Отже, витрати на обладнання

$$B_{\text{обз}} = 1665000 - 520000 = 1145000 \text{ (грн.)}$$

4.2.7 Початкова вартість транспортних засобів

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

4.2.8 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:

$$B_{\text{мо}} = B_{\text{обл}} \cdot \frac{K_{\text{м}}}{100 \%} \text{ [грн.]}, \quad (4.13)$$

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

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

$$B_{\text{мо}} = 1145000 \cdot 0,10 = 114500 \text{ (грн.)}$$

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

$$B_{\text{осн}} = (0,2 \dots 0,3) \cdot B_{\text{мо}} \text{ [грн.]}; \quad (4.14)$$

$$B_{\text{осн}} = 114500 \cdot 0,25 = 28625 \text{ (грн.)}$$

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

$$B_{\text{ксп}} = (0,06 \dots 0,12) \cdot B_{\text{мо}} \text{ [грн.]}; \quad (4.15)$$

$$B_{\text{ксп}} = 0,1 \cdot 114500 = 11450 \text{ (грн.)}$$

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

$$B_{осн} = B_{по} + B_{овв} + B_{кст} \text{ [грн.];} \quad (4.16)$$

$$B_{осн} = 114500 + 28625 + 11450 = 154575 \text{ (грн.)}$$

4.2.9 Вартість виробничого та господарчого інвентарю

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

4.2.10 Вартість програм керування

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

$$B_{пк} = (0,05 \dots 0,1) \cdot B_{обл} \text{ [грн.];} \quad (4.17)$$

$$B_{пк} = 0,1 \cdot 1145000 = 114500 \text{ (грн.)}$$

4.2.11 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.

4.2.12 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:

$$K = 22545,46 + 2254,55 + 5456 + 88000 + 1145000 + 154575 + 114500 = \\ = 1532331,01 \text{ (грн.)}$$

4.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції

4.3.1 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 «Корпус Г20.01.004» складає 76,3 грн. (див. розділ 2).

4.3.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховують за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot \Pi_e \cdot K_{enf}}{\eta_i} \text{ [грн.]}, \quad (4.18)$$

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

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

Π_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, $\Pi_e = 7,5$ 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 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на електроенергію

Найменування операції, верстат	Встановлена потужність, кВт	Тривалість обробки, год.	Сума, грн.
005 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ30	12	0,049	4,13
010 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ40	12	0,058	4,89
015 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3	5,5	0,021	0,81
020 Токарний верстат з ЧПК МК6801Ф3	11	0,124	9,59
Всього			Σ 19,42

4.3.3 Основна заробітна плата робітників

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

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i \text{ [грн.]}, \quad (4.19)$$

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

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

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

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{\text{зм}}} \text{ [грн.]}, \quad (4.20)$$

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

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

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

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

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

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

Таблиця 4.8 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування операцій, верстат	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
005 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ30	0,049	3	1,35	92,05	4,51
010 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П420ПФ40	0,058	3	1,35	92,05	5,34
015 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3	0,021	3	1,35	92,05	1,93
020 Токарний верстат з ЧПК МК6801Ф3	0,124	3	1,35	92,05	11,41
Всього					Σ 23,19

4.3.4 Додаткова заробітна плата робітників

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

$$Z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}} \cdot Z_p \text{ [грн.]}, \quad (4.21)$$

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

$$Z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 23,19 = 2,32 \text{ (грн.)}$$

4.3.5 Єдиний страховий внесок робітників (ЄСВ)

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

$$Z_{\text{є}} = (Z_o + Z_{\text{дод}}) \cdot H_{\text{є}} \text{ [грн.]}, \quad (4.22)$$

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

$$Z_{\text{є}} = (23,19 + 2,32) \cdot 0,22 = 5,61 \text{ (грн.)}$$

4.3.6 Розрахунок загальновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

$$B_{\text{звг}} = H_{\text{звг}} \cdot Z_p \text{ [грн.]}, \quad (4.23)$$

$$B_{\text{звг}} = 2,5 \cdot 23,19 = 57,95 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Таблиця 4.9 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.	Примітка
Витрати на матеріали на одиницю продукції, грн.	M	76,3	
Витрати на силову електроенергію, грн.	B_{ϵ}	19,42	
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	$З_p$	23,19	
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	$З_{дод}$	2,32	
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	$З_{\kappa}$	5,61	
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{\text{заг}}$	57,98	
Всього	S_{ϵ}	184,82	

4.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу

4.4.1 Нижня межа ціни

Ціна реалізації виробу розраховується за формулою:

$$Ц_{\text{нир}} = S_{\epsilon} \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{w}{100}\right) [\text{грн.}], \quad (4.24)$$

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

S_{ϵ} – виробнича собівартість виробу, грн.;

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

w – ставка податку на додану вартість, за станом на 01.01.2024 року, $w = 20\%$.

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

$$Ц_{\text{нир}} = 184,82 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 266,14 \text{ (грн.)}$$

4.4.2 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 $C_{\text{вир}} = 266,14$ грн.

4.5 Розрахунок величини чистого прибутку

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

$$\Pi = \left\{ \left[C_{\text{дог}} - \frac{(C_{\text{дог}} - M) \cdot f}{100} - S_{\text{в}} - \frac{q \cdot S_{\text{в}}}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{h}{100} \right] \right\} \cdot N \text{ [грн.]}, \quad (4.25)$$

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \Pi &= \left\{ \left[266,14 - \frac{(266,14 - 76,3) \cdot 16,67}{100} - 184,82 - \frac{10 \cdot 184,82}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 19580 = \\ &= 500346,01 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

4.6 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.

4.6.1 Розрахунок чистого дисконтного доходу

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

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\Pi_t}{(1+d)^t} - K \text{ [грн.]}, \quad (4.26)$$

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.

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{500346,01}{(1+0,2)^1} + \frac{500346,01}{(1+0,2)^2} + \frac{500346,01}{(1+0,2)^3} + \frac{500346,01}{(1+0,2)^4} - 1532331,01 = \\ &= 1295263,01 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

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

4.6.2 Розрахунок внутрішньої норми доходності

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

$$IRR_{MIN} = \sqrt[n]{\frac{\sum_{t=1}^n (\Pi_t + A_t)}{K}} - 1, \quad (4.27)$$

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.

$$IRR_{MIN} = \sqrt[4]{\frac{500346,01 + 500346,01 + 500346,01 + 500346,01}{1532331,01}} - 1 = 0,07 .$$

4.6.3 Розрахунок терміну окупності

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

$$T_o = \frac{\Delta K (K)}{\Pi} \text{ [років]}, \quad (4.28)$$

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.

$$T_o = \frac{1532331,01}{500346,01} = 3,06 \text{ (року)}.$$

4.7 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004», 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 1532331,01 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 500346,01 грн., термін окупності 3,06 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004» доцільне для впровадження.

ВИСНОВКИ

В МКР виконано удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004» для зниження технологічної собівартості та підвищення продуктивності праці завдяки застосуванню передових технологій і нових методів обробки подібних заготовок. При цьому можна зробити такі висновки.

1. Проведено огляд технології виготовлення деталей типу «Корпус»; проаналізовано базовий технологічний процес; запропоновано шляхи удосконалення базового технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004».

2. Враховуючи недоліки базового маршруту, розроблено варіанти удосконаленого маршруту механічної обробки деталі типу «Корпус Г20.01.004» з використанням сучасних верстатів з ЧПК високої точності та вибрано кращий з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки; визначено режими різання та норми часу.

3. Проведено дослідження впливу глибини різання на вибір оптимальних режимів різання при точінні зовнішньої циліндричної поверхні. Виконані дослідження можуть бути використані в навчальному процесі студентів, а також на виробництві.

4. Для визначення необхідної кількості верстатів для виконання механічної обробки та забезпечення їх нормального завантаження підібрані аналогічні (за технологією обробки) деталі та розраховано приведену програму. Встановлено кількість працюючих, які забезпечать роботу верстатів на ділянці механічної обробки деталі типу «Корпус Г20.01.004».

5. В економічній частині розраховано економічну доцільність впровадження удосконаленого технологічного процесу, розраховано прибуток за рік виробника та термін окупності капітальних вкладень.

У графічній частині представлено креслення деталі, 3D-модель деталі, креслення заготовки, графічне зображення удосконаленого маршруту механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004», схеми з таблицями, що пояснюють розмірний аналіз технологічного процесу, карта налагоджень на операцію, результати дослідження впливу глибини різання на вибір оптимальних режимів різання при точінні зовнішньої циліндричної поверхні, план ділянки та техніко-економічні показники.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Пурдик В. П. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 123 с.
2. Дерібо О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. Вінниця : ВНТУ, 2023. 116 с. Електронний ресурс : https://iq.vntu.edu.ua/method/getfile.php?fname=5927.pdf&card_id=1949&id=5927.
3. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Репінський С. В. Основи технології машинобудування. Частина 1: практикум. Вінниця: ВНТУ, 2017. 106 с.
4. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Сухоруков С. І. Основи технології машинобудування. Частина 2 : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2015. 116 с.
5. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013. 125 с.
6. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. К. : Вища школа, 1993. 414 с.
7. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування. К. : ІСДО, 1996. 300 с.
8. 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.
9. Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Савуляк В. В., Сердюк О. В. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2016. 148 с.
10. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів : Світоч, 1996. 348 с.
11. 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.

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

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

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

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

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

17. Дусанюк Ж. П., Дерібо О. В., Репінський С. В., Бойко М. Є. Вплив глибини різання на оптимальні значення режимів різання при точінні. Матеріали VI-ої Міжнародної конференції «Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій», м. Вінниця, 13-15 вересня 2018 р. Вінниця : ВНТУ, 2018. С. 60–61.

18. Репінський С. В., Даценко В. В., Мондьяк В. Є., Мазуренко Я. В. Вплив глибини різання на оптимальні режими різання для точіння зовнішньої циліндричної поверхні. Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)», м. Вінниця, ВНТУ, 15-16 червня 2025 р. Електрон. текст. дані. – 2025. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/22923>.

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

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

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус Г20.01.004»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (зазначити))

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

Керівник Репінський С. В., к.т.н., доцент каф. ТАМ
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Turnitin	
Оригінальність	81%
Загальна схожість	19%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований системою щодо роботи (додається)

Автор _____ Даценко В. В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

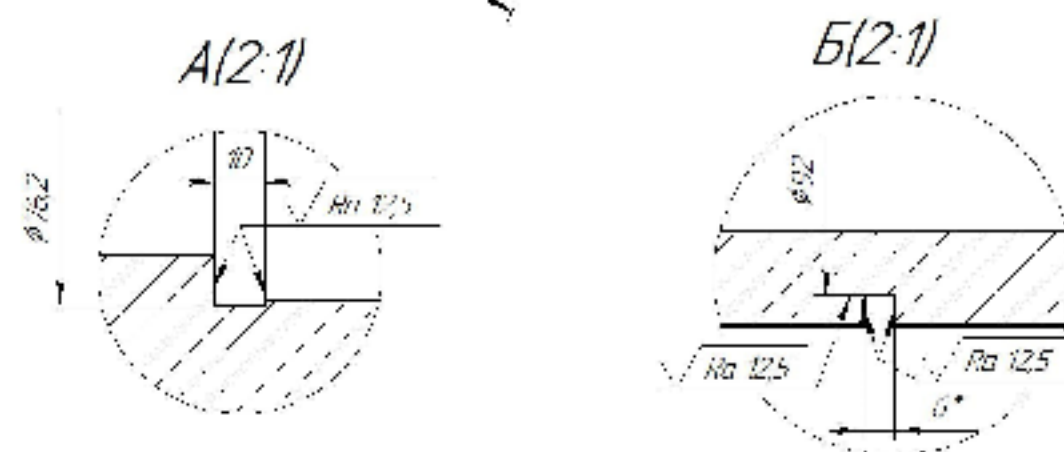
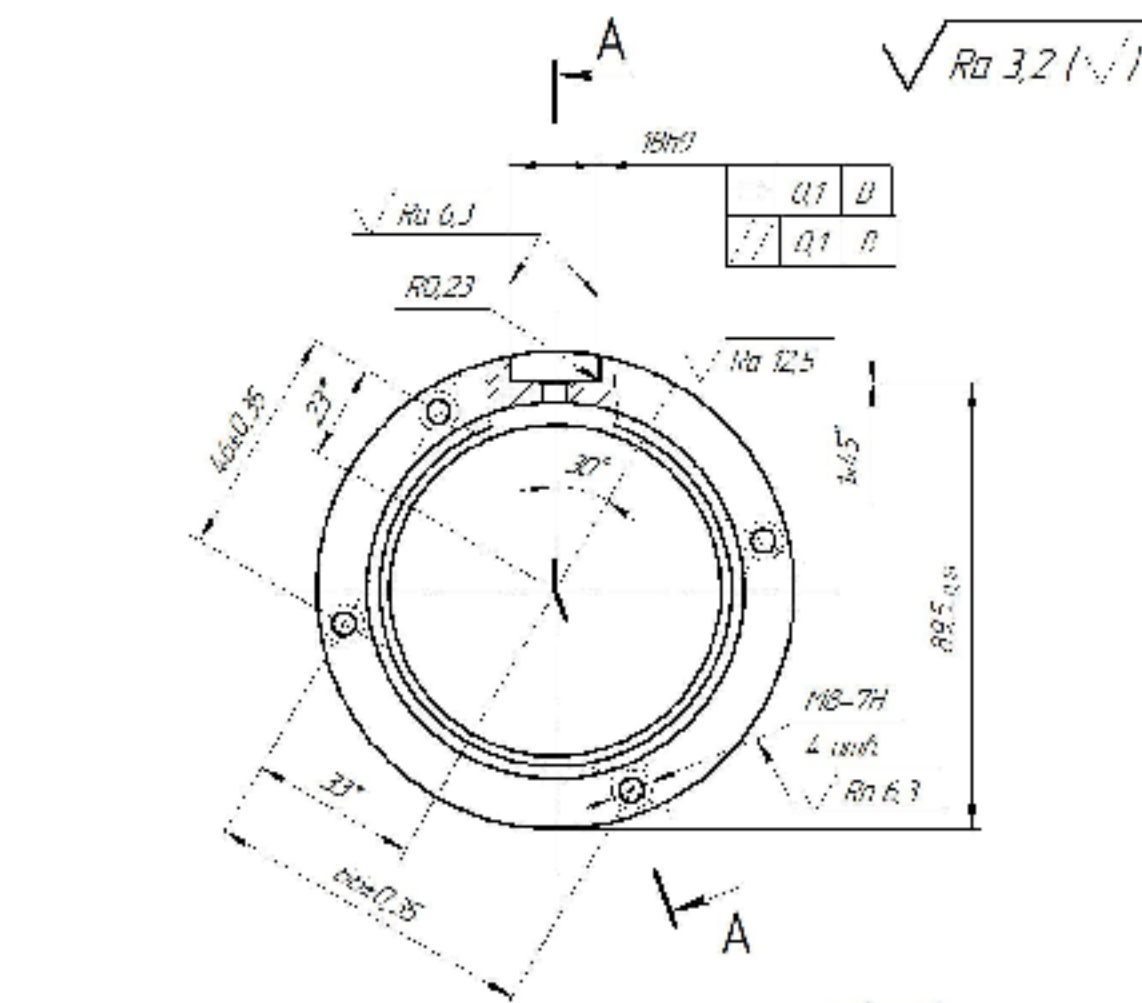
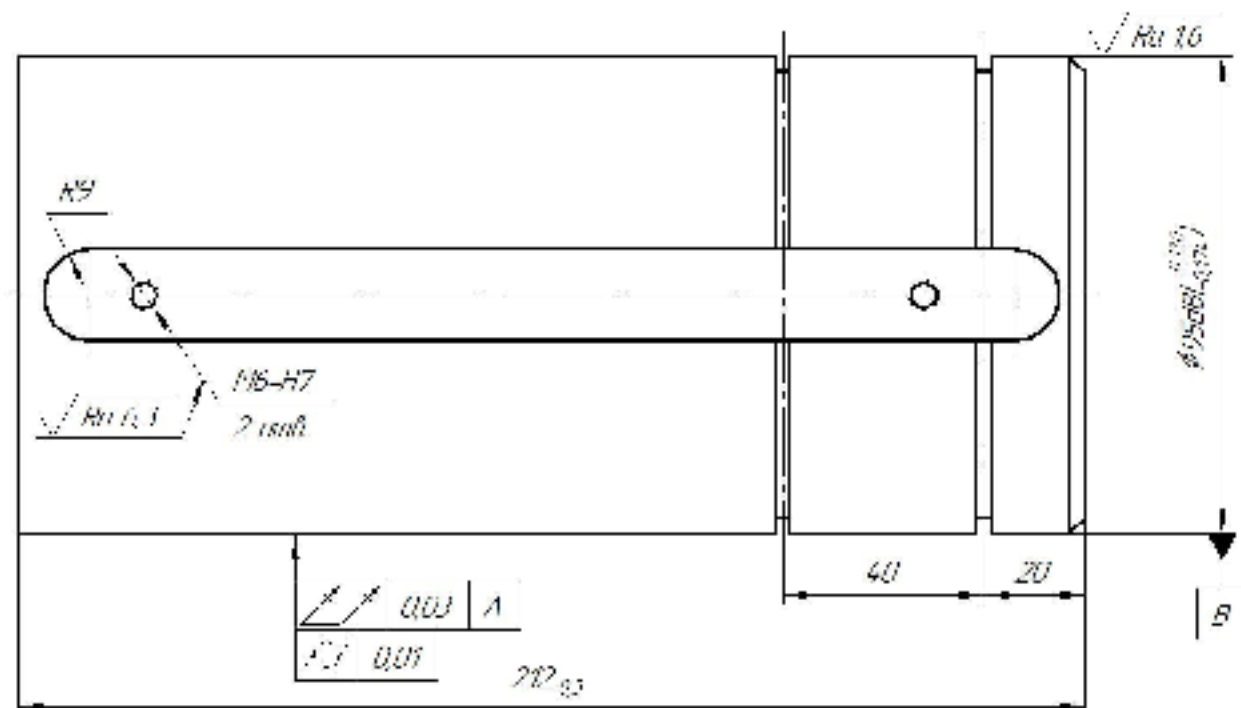
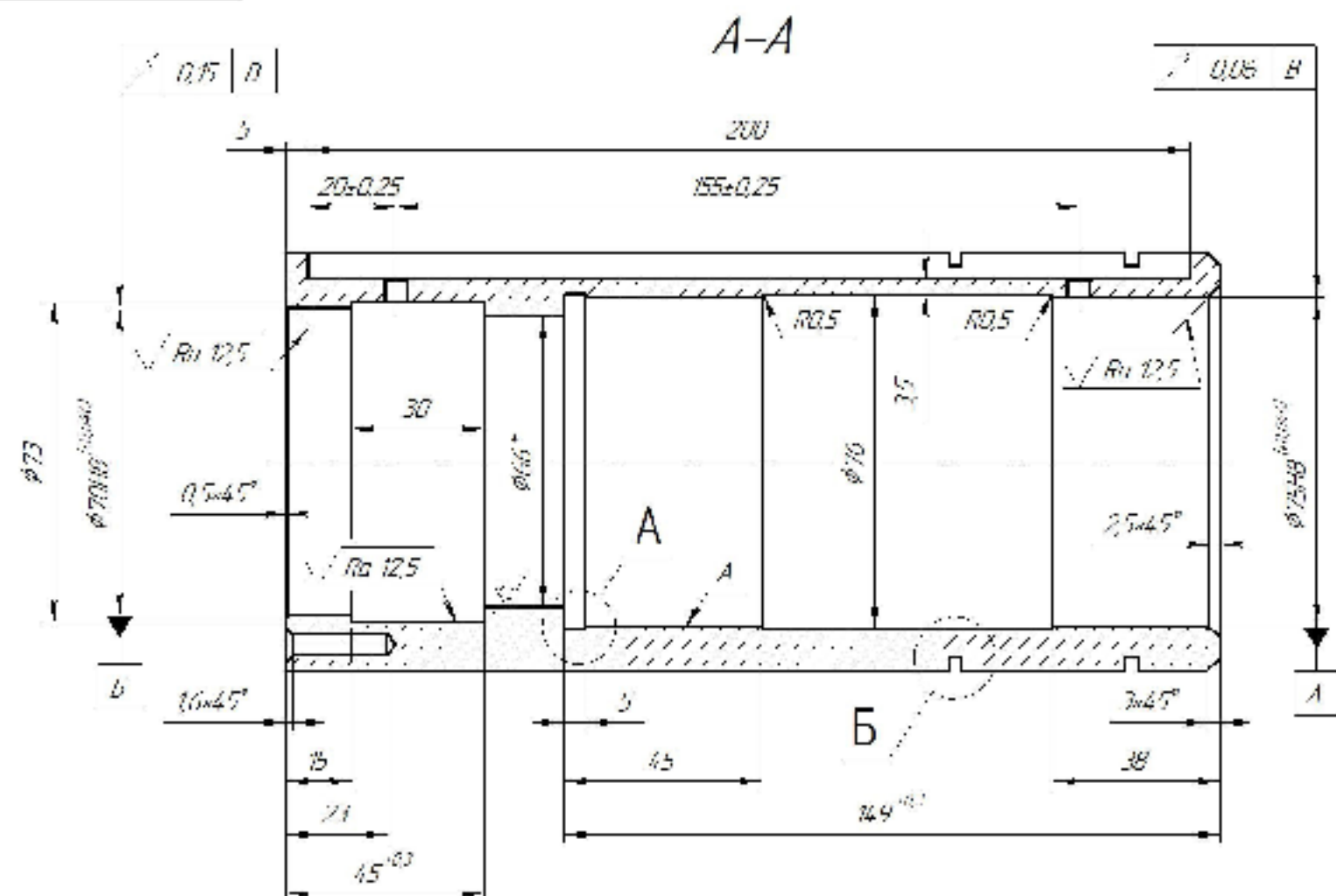
Особа, відповідальна за перевірку _____ Сердюк О. В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Експерт _____ Козлов Л. Г., д.т.н., проф., зав. каф. ТАМ
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

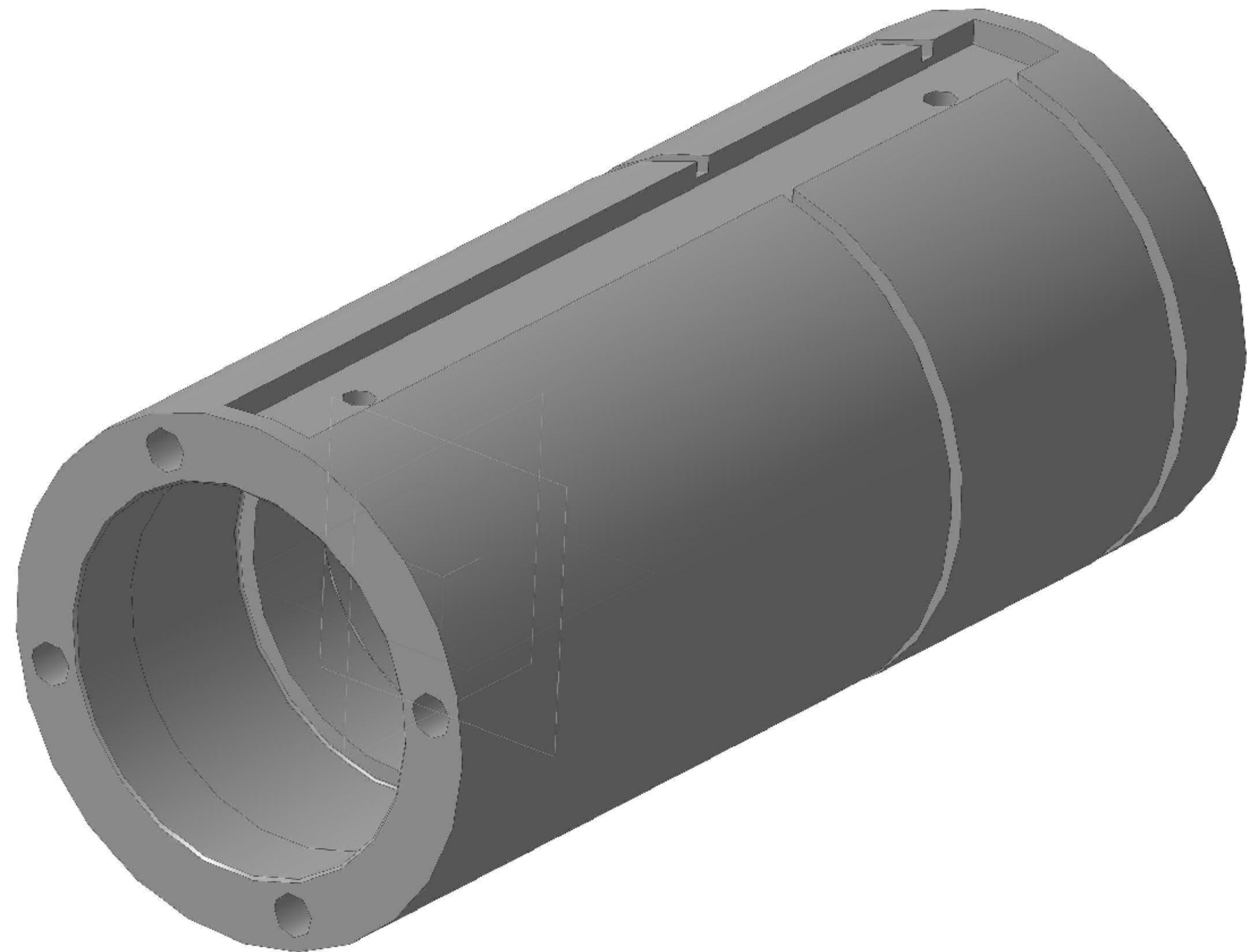
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ
ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС Г20.01.004»



1. Наблюдения проводились в течение периода времени 1994, 1995 и 1996, в суммах $\pm 1H/2$
2. Для каждой группы наблюдений вычислялся коэффициент корреляции $R=0,5$ мм
3. Значения коэффициента D и B определялись разницей между D и B мм
4. * Показатель D и B мм

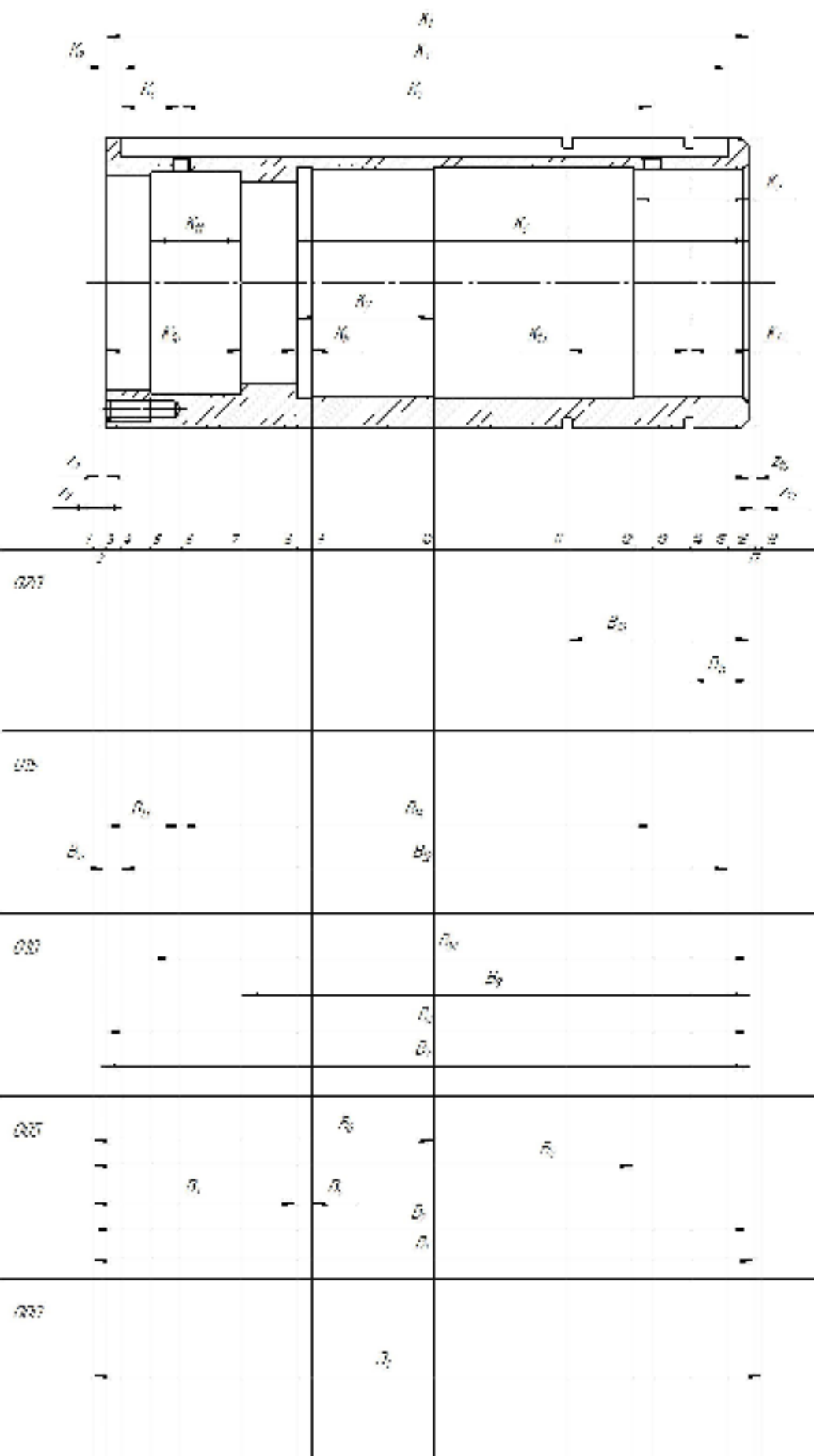
					08-64.MKP.003.00.001			
					Копия Г20.01.004	Лист	Место	Колонки
Всего листов	16 листов	Лист	Стор.				4/2	11
Лист	Листов 88							
Лист	Листов 121					Лист	Место	Колонки
Лист	Листов 121				Листов 45 (100% 88)	ВНУЛ см. стр. 101 23м		
Копия					Сторона 45			

3D-модель деталі "Корпус Г20.01.004"

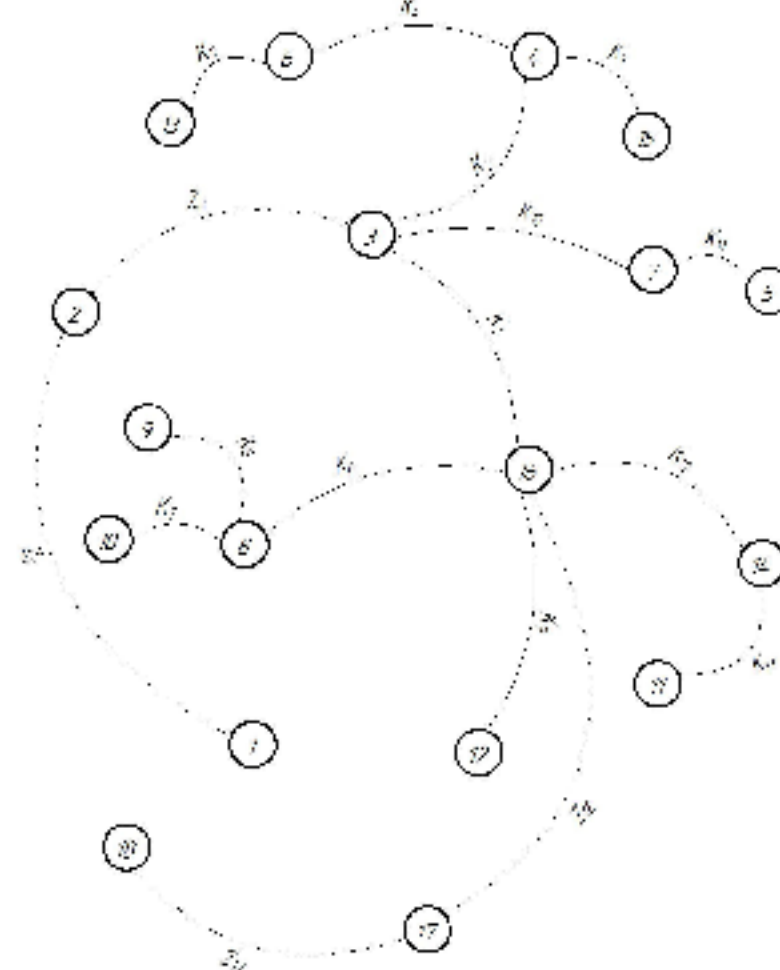


Розмірний аналіз технологічного процесу

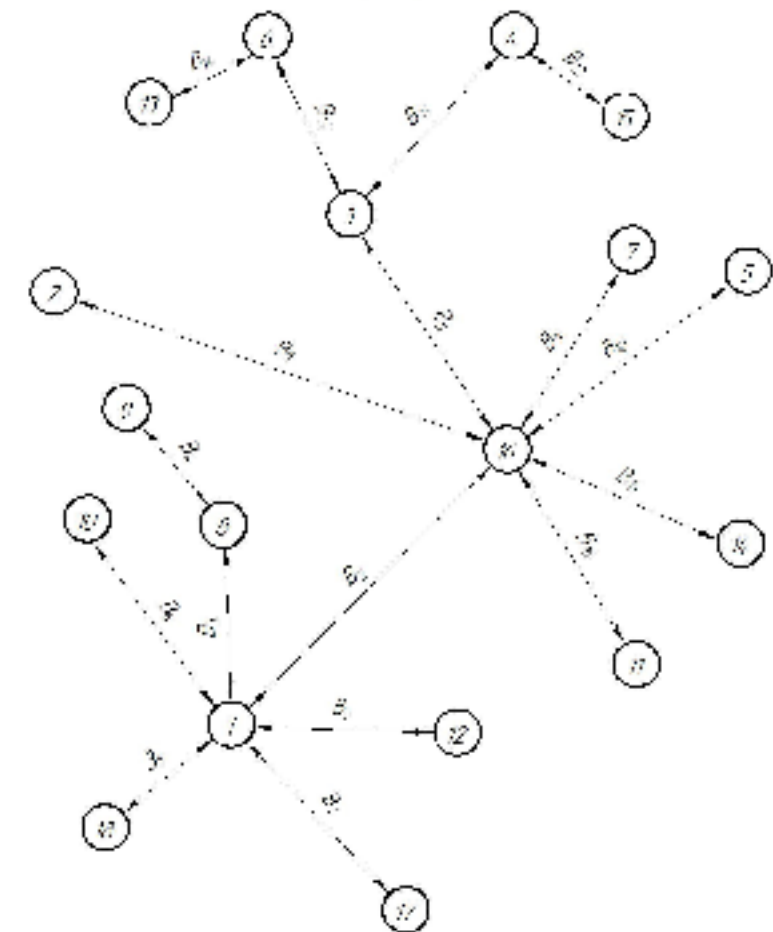
Розмірна схема технологічного процесу



Вихідний граф-дерево



Похідний граф-дерево



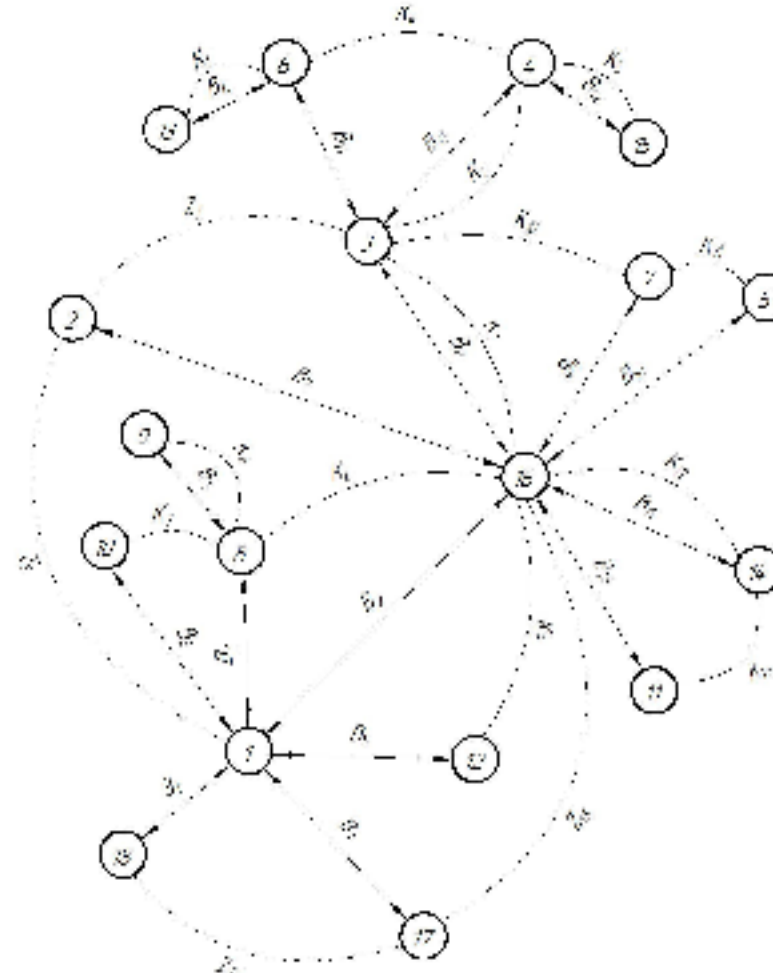
Припуски на механічну обробку, мм

	L_2	L_7	L_9	L_{11}
Нормальні	2,5	0,5	0,5	2,5
Максимальні	2,7	0,6	0,6	2,6

Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

№ ланцюга	Рівняння ланцюга	Вихідний ланцюг	Вхідний ланцюг
1	$L_1 = L_2 + B_1$	$L_1 - B_1$	L_2
2	$L_2 = L_3 + B_2$	$L_2 - B_2$	L_3
3	$L_3 = L_4 + B_3$	$L_3 - B_3$	L_4
4	$L_4 = L_5 + B_4$	$L_4 - B_4$	L_5
5	$L_5 = L_6 + B_5$	$L_5 - B_5$	L_6
6	$L_6 = L_7 + B_6$	$L_6 - B_6$	L_7
7	$L_7 = L_8 + B_7$	$L_7 - B_7$	L_8
8	$L_8 = L_9 + B_8$	$L_8 - B_8$	L_9
9	$L_9 = L_{10} + B_9$	$L_9 - B_9$	L_{10}
10	$L_{10} = L_{11} + B_{10}$	$L_{10} - B_{10}$	L_{11}
11	$L_{11} = L_{12} + B_{11}$	$L_{11} - B_{11}$	L_{12}
12	$L_{12} = L_{13} + B_{12}$	$L_{12} - B_{12}$	L_{13}
13	$L_{13} = L_{14} + B_{13}$	$L_{13} - B_{13}$	L_{14}
14	$L_{14} = L_{15} + B_{14}$	$L_{14} - B_{14}$	L_{15}
15	$L_{15} = L_{16} + B_{15}$	$L_{15} - B_{15}$	L_{16}
16	$L_{16} = L_{17} + B_{16}$	$L_{16} - B_{16}$	L_{17}

Суміщений граф



ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЛИБИНИ РІЗАННЯ НА ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ

Мета роботи – встановлення залежності впливу глибини різання на режими різання при точінні зовнішньої циліндричної поверхні.

Завдання, які вирішуються при дослідженні:

- вплив глибини різання на швидкість різання V , м/хв.;
- вплив глибини різання на частоту обертання n , об/хв.;
- вплив глибини різання на подачу S , мм/об.;
- вплив глибини різання на поздовжню подачу $S_{\text{позд.}}$, мм/хв.;
- вплив глибини різання на складову сили різання P_z , Н;
- вплив глибини різання на потужність різання N , кВт;
- залежність вказаних вище параметрів від величини оброблюваного діаметра ($\varnothing 40$; $\varnothing 95$; $\varnothing 120$ мм).

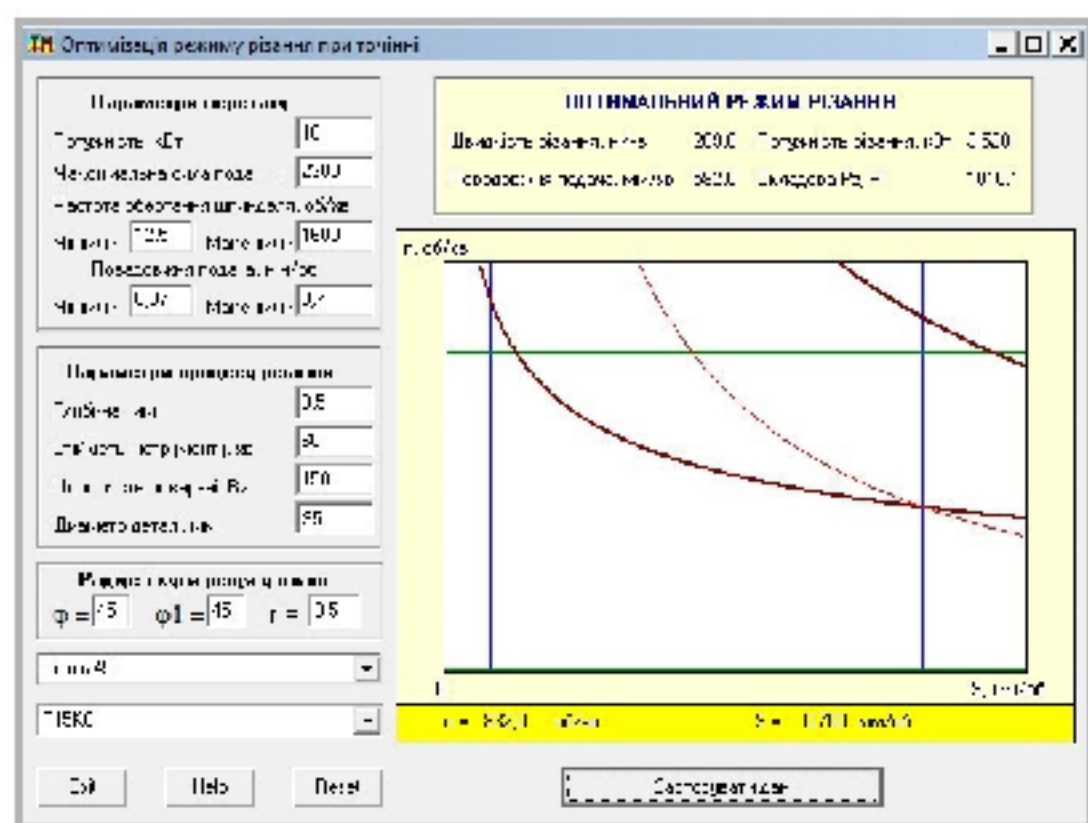


Рисунок 1 – Оптимізація режимів різання для чорнового точіння $\varnothing 95$ при $t = 0,5$ мм

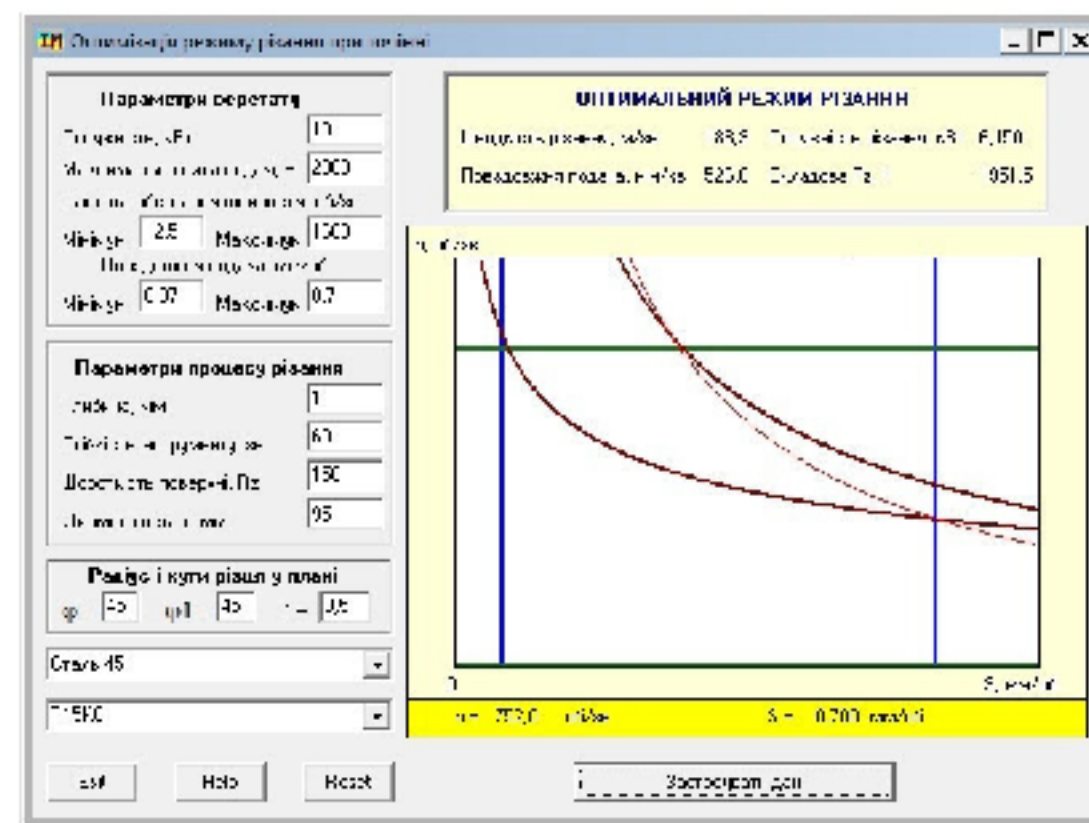


Рисунок 2 – Оптимізація режимів різання для чорнового точіння $\varnothing 95$ при $t = 1,0$ мм

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЛИБИНИ РІЗАННЯ НА ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ (продовження)

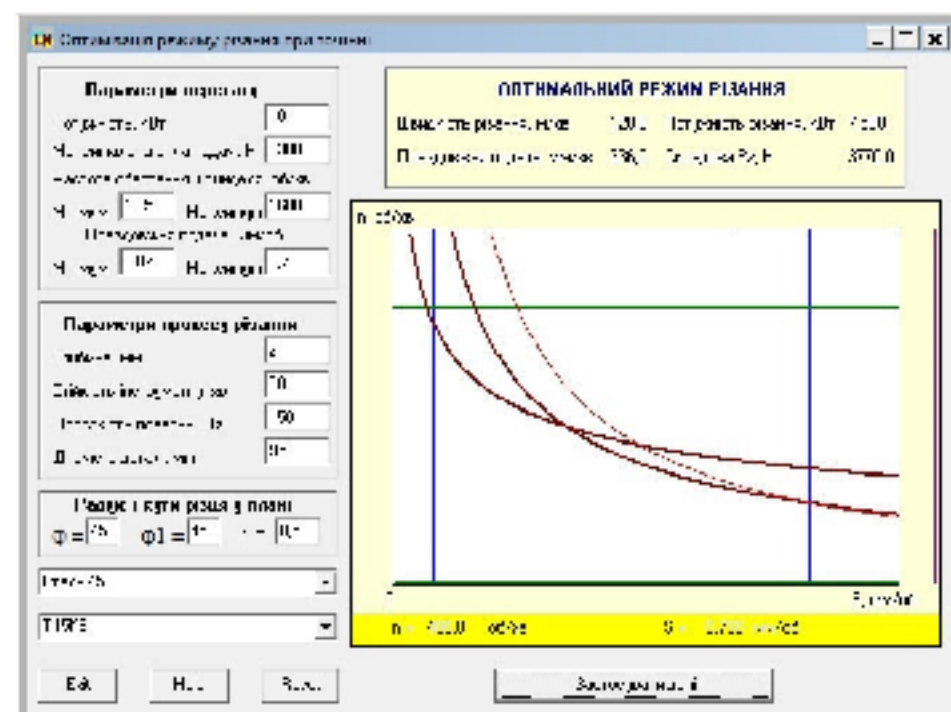


Рисунок 3 – Оптимізація режимів різання для чорнового точіння $\varnothing 95$ при $t = 2,0$ мм

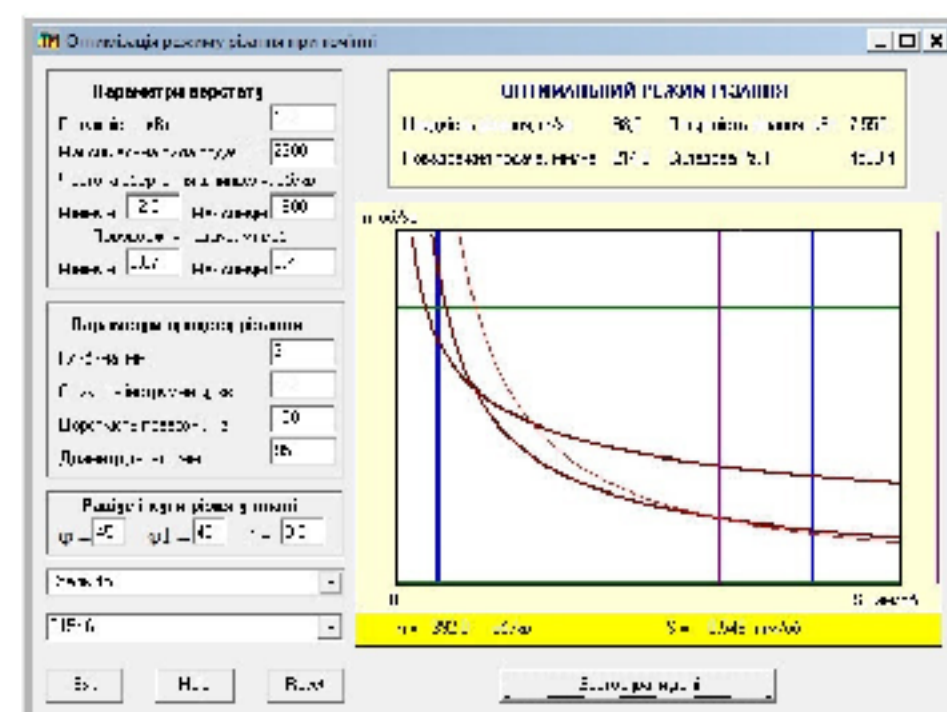


Рисунок 4 – Оптимізація режимів різання для чорнового точіння $\varnothing 95$ при $t = 3,0$ мм

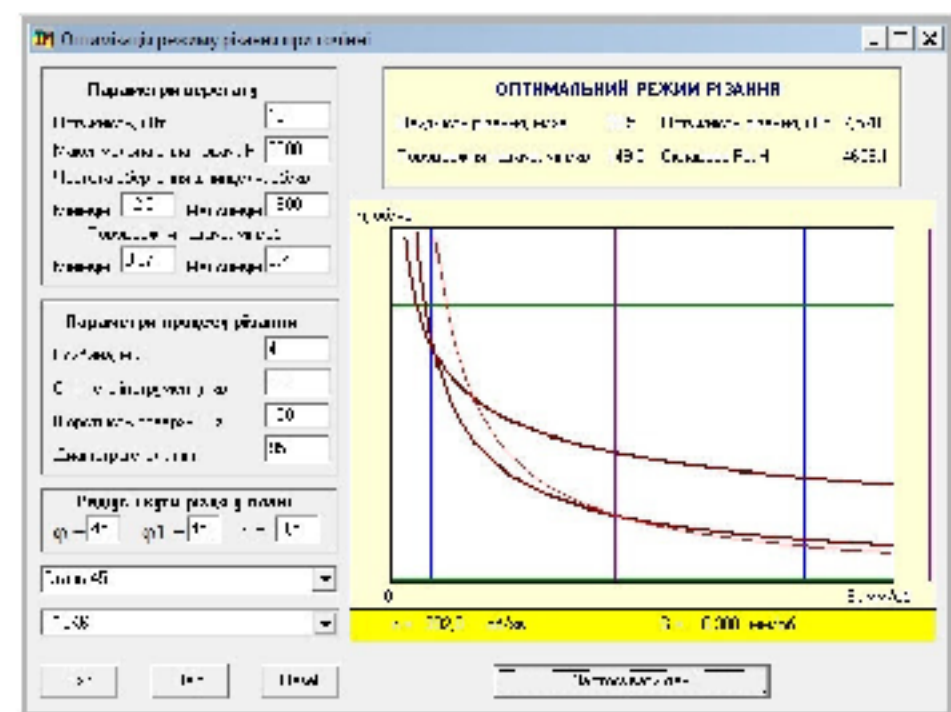


Рисунок 5 – Оптимізація режимів різання для чорнового точіння $\varnothing 95$ при $t = 4,0$ мм

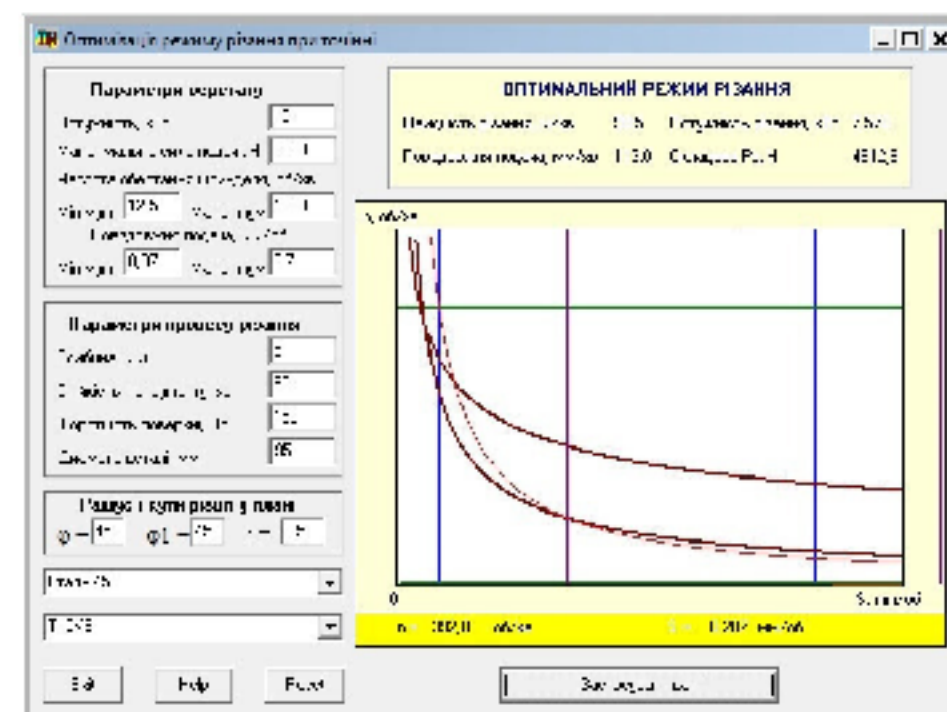


Рисунок 6 – Оптимізація режимів різання для чорнового точіння $\varnothing 95$ при $t = 5,0$ мм

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЛИБИНИ РІЗАННЯ НА ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ (продовження)

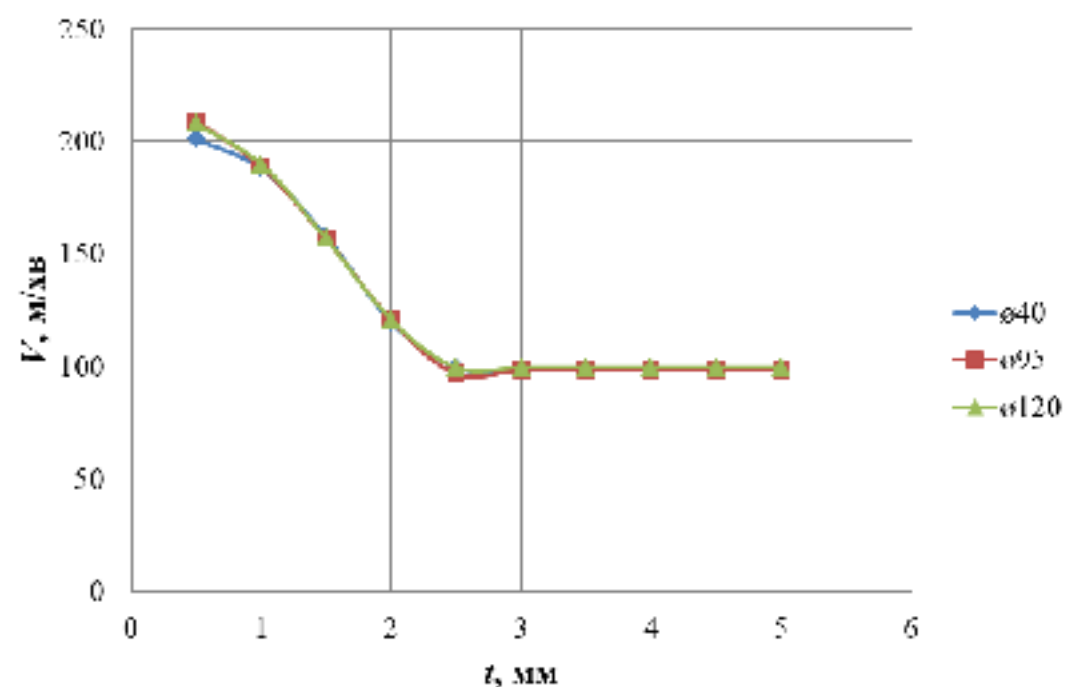


Рисунок 7 – Залежність оптимального значення швидкості різання V від глибини різання t

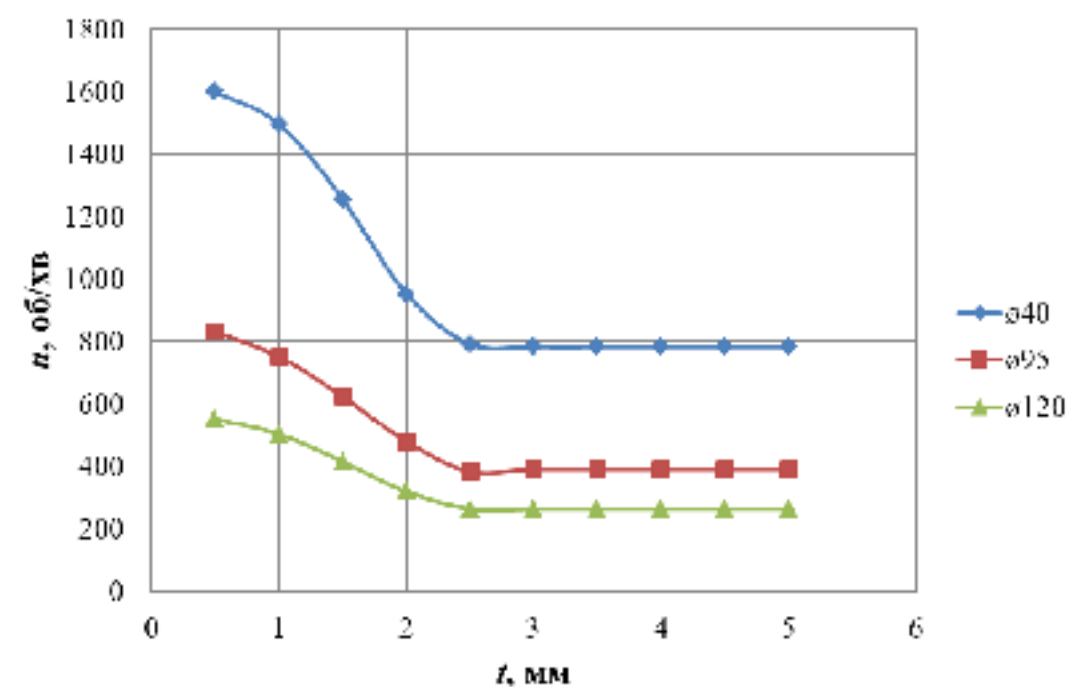


Рисунок 8 – Залежність оптимального значення частоти обертання n від глибини різання t

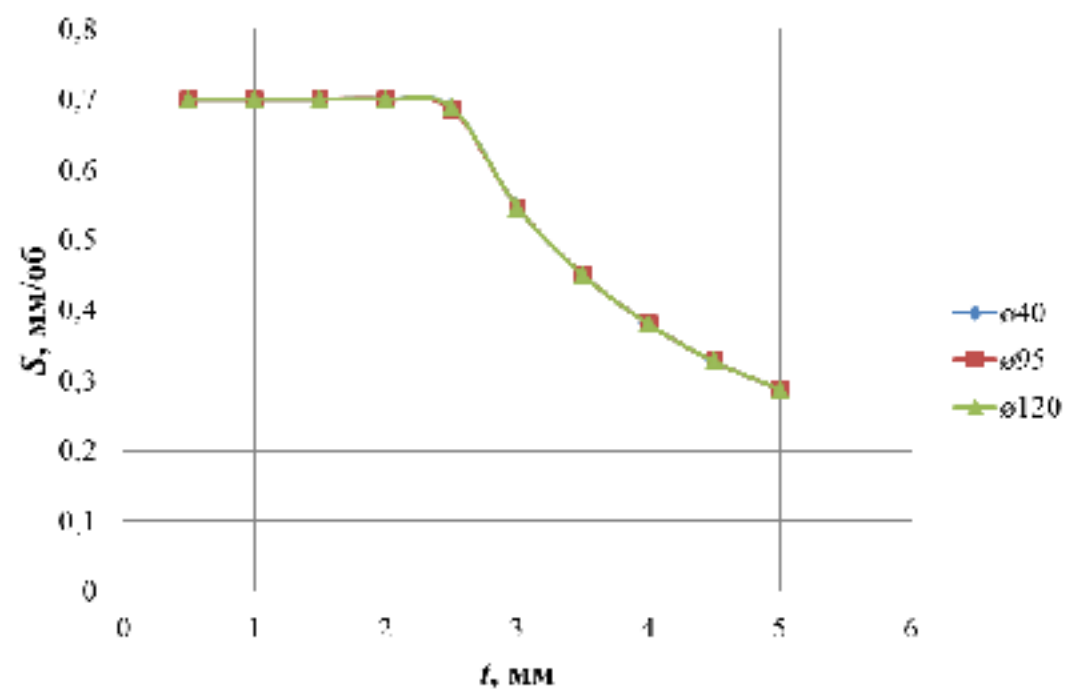


Рисунок 9 – Залежність оптимального значення подачі S від глибини різання t

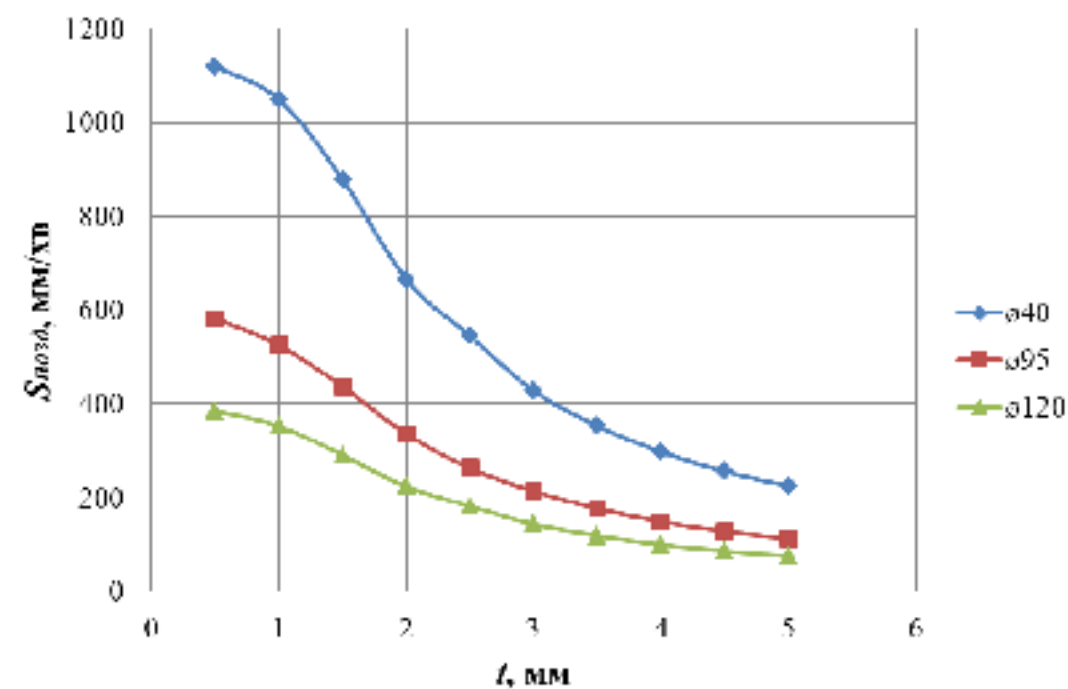


Рисунок 10 – Залежність оптимального значення поздовжньої подачі $S_{\text{позд.}}$ від глибини різання t

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЛИБИНИ РІЗАННЯ НА ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ (продовження)

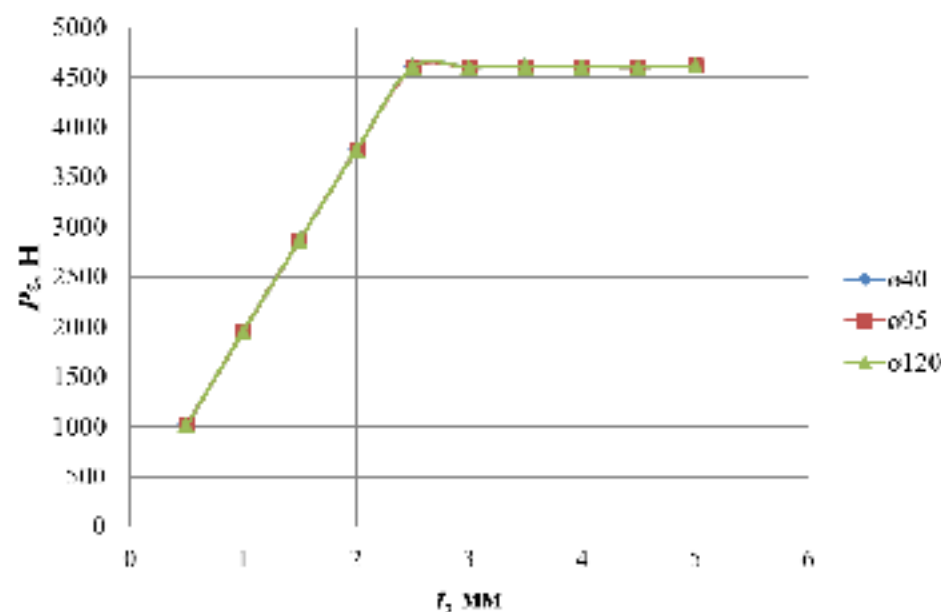


Рисунок 11 – Залежність оптимального значення складової сили різання P_z від глибини різання t

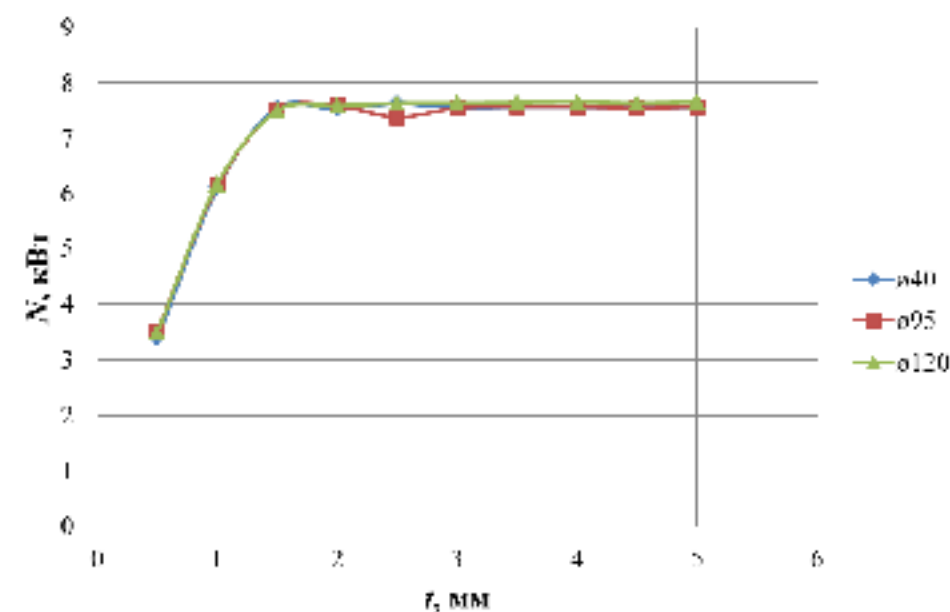
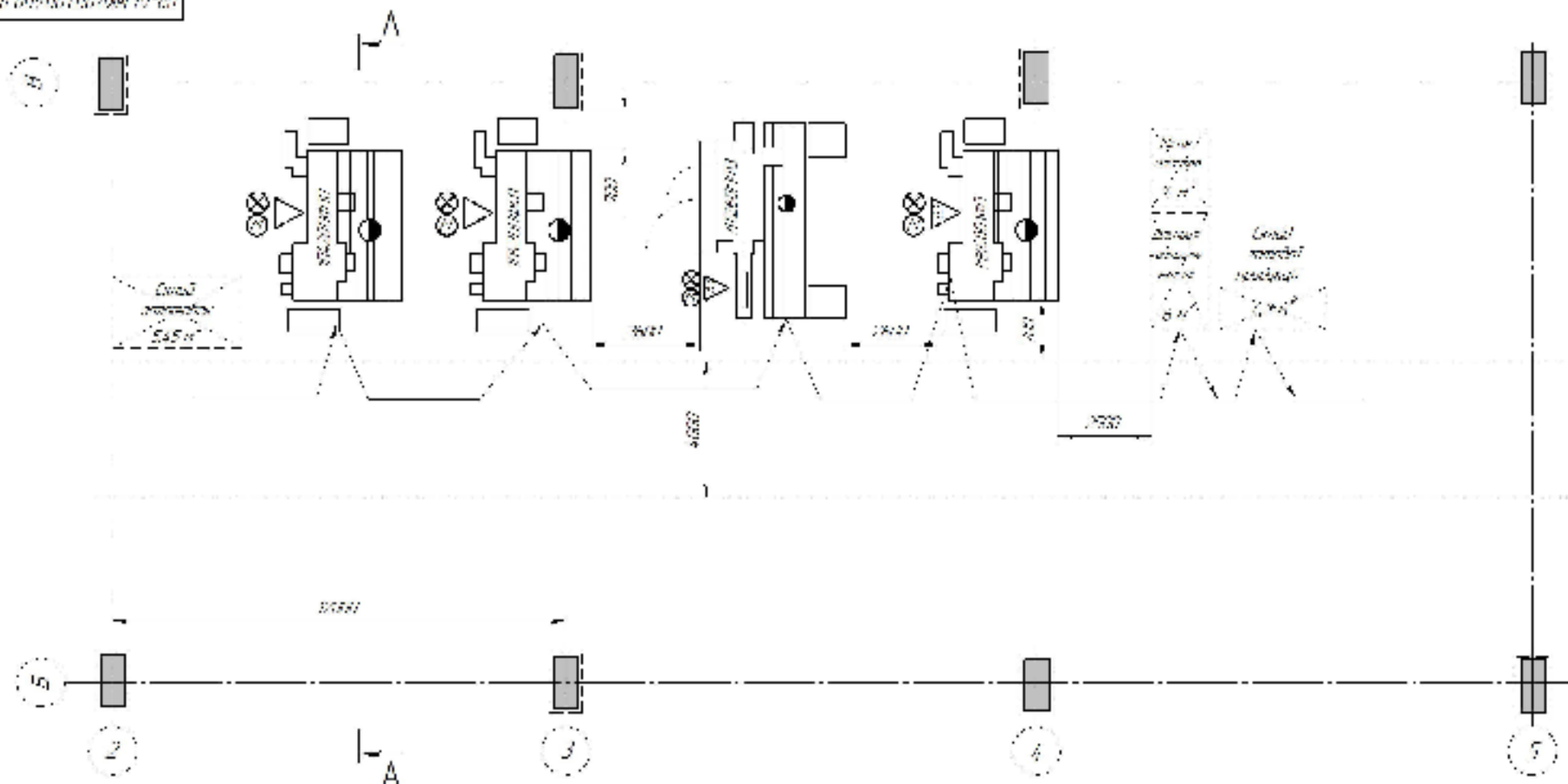


Рисунок 12 – Залежність оптимального значення потужності різання N від глибини різання t

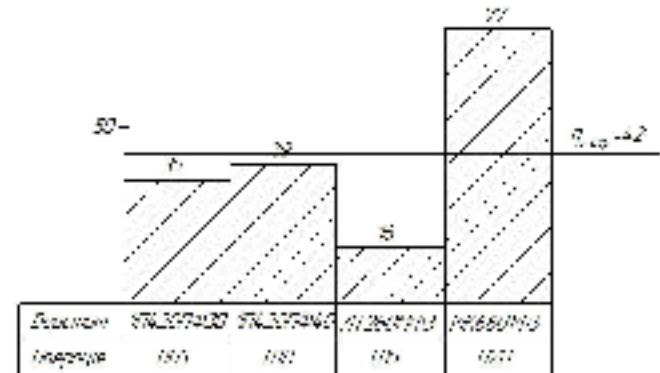
Висновки

1. Оптимальне значення швидкості різання V при невеликих глибинах різання t (0,5-2 мм) нелінійно зменшується при збільшенні глибини. При збільшенні глибини від 2,5 до 5 мм оптимальна швидкість різання залишається постійною. В обох частинах залежності величина діаметру практично не впливає на оптимальні значення швидкості різання.
2. Оптимальне значення частоти обертання n нелінійно залежить від глибини різання t при невеликих глибинах різання (0,5-2 мм), зменшуючись при збільшенні глибини різання. При зростанні глибини різання від 2,5 до 5 мм оптимальне значення частоти обертання залишається постійним. Характер залежності оптимального значення частоти обертання n від глибини різання t при збільшенні розміру оброблюваної діаметральної поверхні аналогічний, числові значення зменшуються при збільшенні діаметра.
3. Оптимальне значення подачі S при невеликих глибинах різання t (0,5-2,5 мм) не змінюється. При збільшенні глибини різання від 2,5 до 5 мм залежність має нелінійний характер, оптимальне значення подачі зменшується при збільшенні глибини різання. Розмір оброблюваної діаметральної поверхні не впливає на оптимальне значення подачі при розглядуваних глибинах різання.
4. Оптимальне значення поздовжньої подачі $S_{\text{позд}}$ нелінійно залежить від глибини різання t . Збільшення величини розміру оброблюваної діаметральної поверхні призводить до зменшення значень оптимальної поздовжньої подачі при збільшенні глибини різання.
5. Залежність оптимального значення складової сили різання P_z від глибини різання t має змінний характер. В діапазоні від 0,5 до 2,5 мм вона зростає при збільшенні глибини різання. При збільшенні глибини різання від 2,5 до 5 мм залежність є незмінною (постійне значення P_z). Характер залежності не змінюється при збільшенні розміру оброблюваної поверхні.
6. Оптимальне значення потужності різання N має нелінійну залежність від глибини різання t при її невеликих значеннях (0,5-1,5 мм). При збільшенні глибини різання $>1,5$ мм оптимальне значення потужності різання практично не залежить від глибини різання. Характер залежності не змінюється від збільшення розміру оброблюваної поверхні.
7. Виконані дослідження можуть бути використані в навчальному процесі студентів, а також на виробництві.

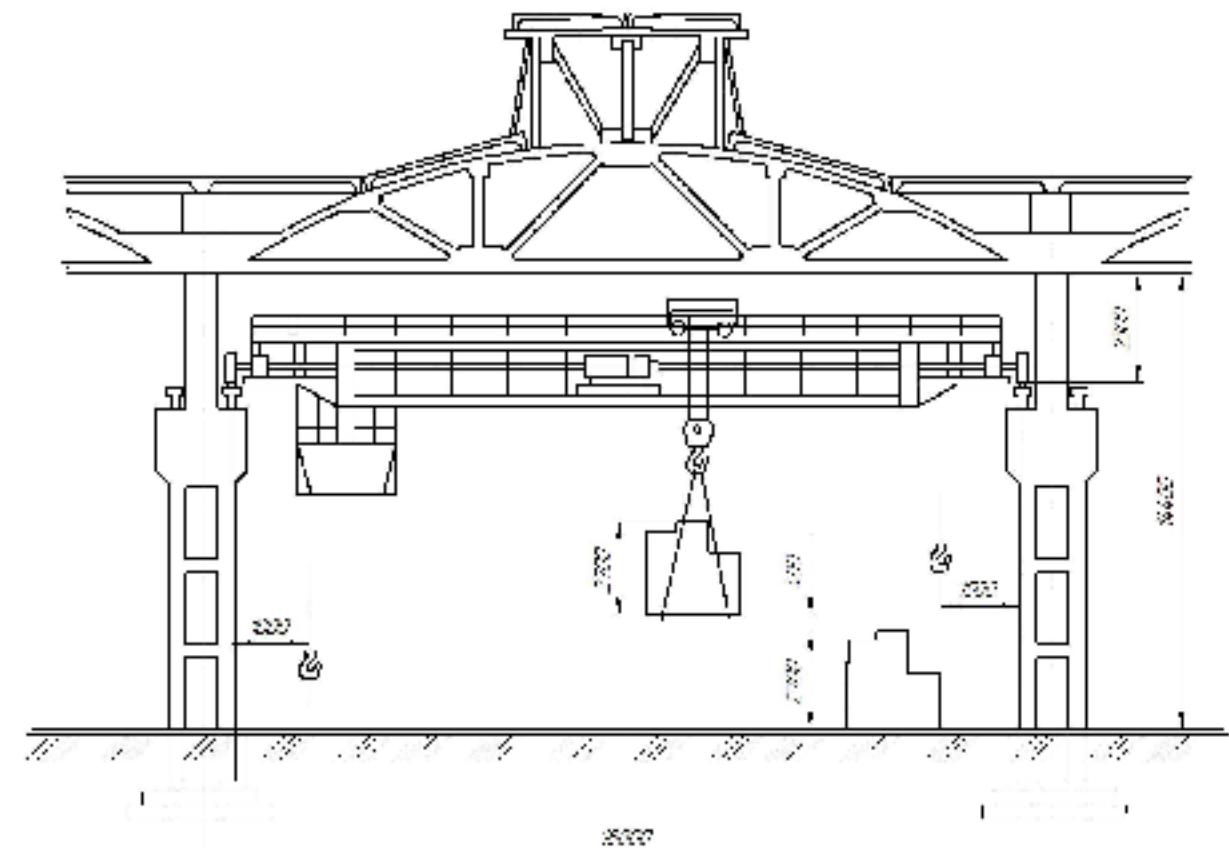


Грибок
зоборотаження об'єкту

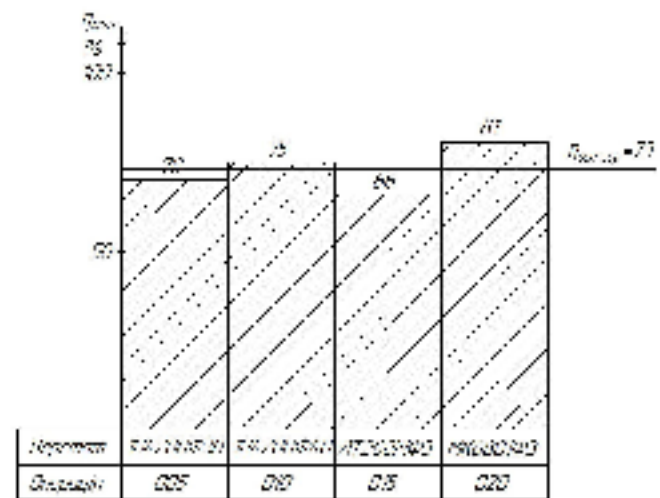
10
10
10



A-A



Грибок
використання об'єкту за основним часом



Технічні характеристики об'єкту

1. Площа об'єкту, м²
загальна - 100
корисна - 79,6
допоміжна - 10,6
2. Кількість працюючих чол.
робітників та машин - 5
допоміжних - 1
ІТР - 1
підприємств - 1
МОН - 1
3. Вартість шт. - 4

Об'єкт 64.МР.003.006.00.8.3				Дат.	Вис.	Вис.
План ділянки				Дат.	Вис.	Вис.
технічні умови				Дат.	Вис.	Вис.
-				Дат.	Вис.	Вис.
-				Дат.	Вис.	Вис.
-				Дат.	Вис.	Вис.

Техніко-економічне порівняння варіантів технологічного процесу

Базовий технологічний процес	Удосконалений технологічний процес
Техніко-економічні показники	
Матеріал	
Сталь 45	Сталь 45
Спосіб виготовлення заготовки	
Штамповка на КГШП	Прокат
Собівартість заготовки	
100,3 грн.	76,3 грн.
Коефіцієнт точності маси заготовки	
0,52	0,593
Кількість операцій	
8 операцій	4 операції
Кількість верстатів	
8 верстатів	4 верстати
Кількість працюючих	
15 основних робітників	5 основних робітників
Виробнича площа ділянки, м ²	
230	110
Виробнича собівартість одиниці продукції	
266,14 грн.	184,82 грн.
Капітальні вкладення	
–	1532331,01 грн.
Економічний ефект	
–	500346,01 грн.
Термін окупності	
–	3,06 року