

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, педфакультету (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 клапана КТ-48.001»»

08-64.МКР.002.00.000 ПЗ

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

Олександр ГАРБОЛІНСЬКИЙ

Керівник: к.т.н., професор каф. ТАМ

Олександр ДЕРІБО

«18» 12 2024 р.

Опонент: к.е.н., доцент каф. АТМ

Юрій БУРЕННІКОВ

«19» 12 2024 р.

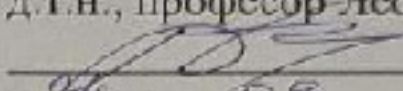
Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТАМ

д.т.н., проф. Леонід КОЗЛОВ

«20» 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

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

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

«24» 09 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гарболінському Олександрові Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001»

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

затверджені наказом ВНТУ від «12» 09 2024 року № 310.

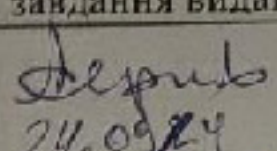
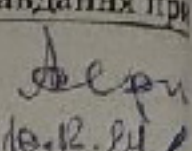
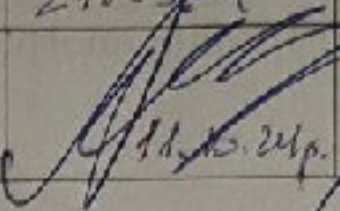
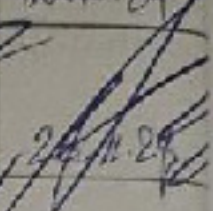
2. Строк подання студентом роботи: 17.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі «Корпус клапана КТ-48.001»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 12 000 шт.; довідкова література

4. Зміст текстової частини: анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталей типу «Корпус»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001»; аналіз показників точності обробки, що забезпечуються тонким торцевим фрезеруванням сталевих деталей на верстаті з ЧПК; розрахунок елементів дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001»; економічне обґрунтування удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001»; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): креслення деталі «Корпус клапана КТ-48.001» (A1); 3D-модель деталі (A1); креслення заготовки (A4); маршрут механічної обробки деталі (A1); розмірний аналіз технологічного процесу (A1); карта налагоджень (операція 005) (2A1); аналіз показників точності обробки, що забезпечуються тонким торцевим фрезеруванням (4A1); дільниця механічної обробки (A1); техніко-економічні показники (A1)

6. Консультанти розділів роботи

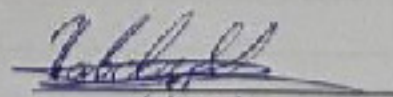
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання при
Спеціальна частина	Олександр ДЕРІБО, професор кафедри ТАМ	 24.09.24	 10.12.24
Економічна частина	Олександр ЛЕСЬКО, завідувач кафедри ЕПВМ	 11.10.24р.	 24.11.24

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

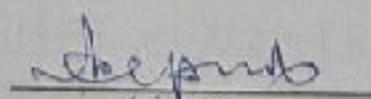
№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примі
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	25.10.2024	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	25.10.2024	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	30.10.2024	
4	Розв'язання поставлених задач	20.11.2024	
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	28.11.2024	
6	Виконання розділу «Економічна частина»	28.11.2024	
7	Попередній захист МКР	10.12.2024	
8	Перевірка роботи на плагіат	14.12.2024	
9	Нормоконтроль МКР	16.12.2024	
10	Опонування МКР	18.12.2024	
11	Захист МКР	23.12.2024	

Студент


(підпис)

Олександр ГАРБОЛІНСЬКИЙ

Керівник роботи


(підпис)

Олександр ДЕРІБО

АНОТАЦІЯ

УДК 621.9

Гарболінський О. В. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – прикладна механіка, освітня програма – технології машинобудування. Вінниця : ВНТУ, 2024. 125 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 21 назв; рис.: 19; табл. 42.

У магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001». У загальній частині роботи проведено огляд технологій виготовлення деталей типу «Корпус», обґрунтована доцільність удосконалення існуючого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001».

В технологічній частині виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001» з використанням верстатів з ЧПК та вибрано кращий з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки; визначено режими різання та технічні норми часу; проведено аналіз показників точності обробки, що забезпечуються тонким торцевим фрезеруванням сталевих деталей на верстаті з ЧПК; 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

Harbolinskyi O. V. Improvement of the technological process of mechanical processing of the workpiece of the «Valve body KT-48.001» type part. Master's qualification work in specialty 131 – applied mechanics, educational program – mechanical engineering technology. Vinnytsia : VNTU, 2024. 125 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 21 titles; fig.: 19; tabl. 42.

In the master's qualification work, the technological process of machining a workpiece of the type «Valve body KT-48.001» was improved. In the general part of the work, a review of the manufacturing technologies of parts of the type "Housing" was conducted, the feasibility of improving the existing technological process of machining a workpiece of the type «Valve body KT-48.001» was substantiated.

In the technological part, a variant selection and a feasibility study of the method of manufacturing the workpiece were performed; variants of the route for machining a workpiece of the type «Valve body KT-48.001» were developed using CNC machines and the best one was selected based on the minimum reduced costs; dimensional and precision modeling of the improved technological process of machining was performed; cutting modes and technical time standards were determined; an analysis of the machining accuracy indicators provided by fine end milling of steel parts on a CNC machine was performed; the reduced program, number of equipment and workers for the improved machining section were calculated.

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

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

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «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»	11
1.3 Критичний аналіз базового технічного процесу виготовлення виробу	13
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КЛАПАНА КТ-48.001»	15
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі	15
2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт	19
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки	26
2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь	31
2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз	34
2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу	37
2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат	40
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу	44
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів	49
2.10 Призначення режимів різання	54
2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання	66
2.12 Визначення технічних норм часу на виконання операцій	68

3 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ТОНКИМ ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК	74
3.1 Постановка задачі дослідження	74
3.2 Результати дослідження	74
4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КЛАПАНА КТ-48.001»	87
4.1 Розрахунок приведеної програми	87
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження	92
4.3 Побудова графіків завантаження обладнання	94
4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці	96
5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КЛАПАНА КТ-48.001»	99
5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки	99
5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001»	106
5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції	112
5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу	116
5.5 Розрахунок величини чистого прибутку	117
5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення	117
ВИСНОВКИ	121
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	123
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки навчальної роботи	126
Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина	127

ВСТУП

Актуальність теми. Технологічний процес (ТП) механічної обробки – це частина виробничого процесу, безпосередньо пов'язана із зміною форми, розмірів або властивостей оброблюваної заготовки, що виконується в певній послідовності. ТП складається з низки операцій.

Проектування ТП механічної обробки деталей машин – один із самих відповідальних етапів, що пов'язаний з виробництвом виробів в машинобудівній промисловості. Побудований з використанням прогресивних підходів та рішень, ТП забезпечує можливість одержання якісної продукції, високої продуктивності праці та низької собівартості виробів. Використання засобів автоматизації дозволяє полегшити працю робітників, зробити її більш ефективною.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001».

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

- проведення огляду технології виготовлення деталей типу «Корпус»;
- техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки деталі «Корпус клапана КТ-48.001»;
- удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001»;
- розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу;
- визначення режимів різання та норм часу на виконання операцій;
- аналіз показників точності обробки, що забезпечуються тонким торцевим фрезеруванням сталевих деталей на верстаті з ЧПК;
- розрахунок приведеної програми, кількості обладнання та працівників на проектуємій дільниці;
- економічне обґрунтування удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001».

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

Предмет дослідження – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001».

Методи дослідження. Метод теорії розмірних ланцюгів при виконанні розмірно-точнісного моделювання ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001»; метод лінійного програмування (симплекс-метод) при визначенні оптимальних режимів різання.

Наукова новизна одержаних результатів. На прикладі обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001» на багатоінструментальному верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФ3 (клас точності «П») виконано аналіз точності обробки з виявлення елементарних похибок, які мають домінуючий вплив на сумарну похибку чистової фрезерної обробки партії сталевих заготовок на настроєному верстаті.

Практичне значення одержаних результатів:

- обґрунтовано вибрано оптимальний варіант виготовлення заготовки деталі «Корпус клапана КТ-48.001»;
- розроблено удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001» з використанням високопродуктивних верстатів з ЧПК високої точності; техніко-економічний аналіз показав, що впровадження удосконаленого технологічного процесу в виробництво є економічно доцільним;
- для удосконаленого ТП встановлено кількість необхідного обладнання, працюючих.

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

- LI Всеукраїнська науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ (м. Вінниця, ВНТУ, 31 травня – 1 червня 2022 р.);
- LII Всеукраїнська науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ (м. Вінниця, ВНТУ, 21-23 червня 2023 р.).

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «КОРПУС»

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

Деталь «Корпус клапана КТ-48.001» (рис. 1.1) виготовляється в умовах серійного виробництва із сталі 35 ГОСТ 1050-88 і входить до конструкції клапана.

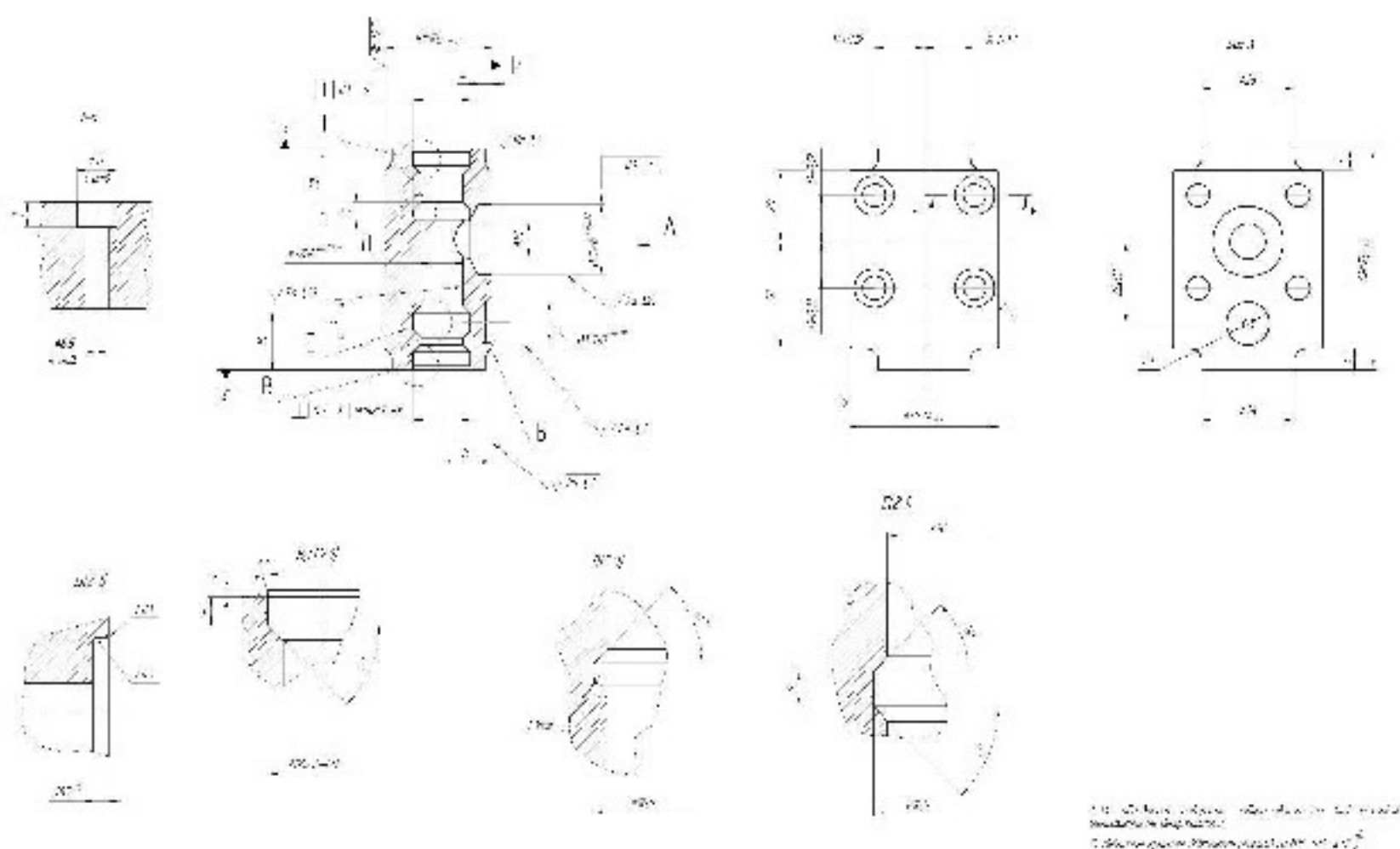


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі «Корпус клапана КТ-48.001»

Клапан призначений для захисту від механічного руйнування обладнання і трубопроводу від надлишкового тиску, шляхом автоматичного випуску надлишку рідкого, паро- чи газоподібного середовища з систем і посудин з тиском, що перевищив встановлене значення. Клапан також повинен забезпечувати припинення скидання середовища при відновленні робочого тиску. Клапан складається з корпусу в який монтується золотник з пружинкою. По торцям в корпус за допомогою різьбового з'єднання монтується заглушки, одна з них має регулюючий гвинт. Також в корпус монтуються ущільнюючі кільця.

Вказані на кресленні деталі квалітети точності механічної обробки відповідають параметрам шорсткості. Вони можуть бути забезпеченими на верстатах з числовим програмним керуванням.

Вказані на кресленні розміри деталі можуть бути проконтрольовані безпосередньо, перешкод для контролю не існує.

Серед поверхонь деталі є такі, які можуть бути використані при базуванні. Застосування штучних технологічних баз не є виправданим, оскільки існує достатня кількість баз для встановлення на них деталі під час механічної обробки.

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

Виконано огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Корпус» [1-8]. В якості прикладу оберемо обробку деталі «Корпус», що є подібною до нашої деталі «Корпус клапана КТ-48.001». Робоче креслення типової деталі зображене на рисунку 1.2.

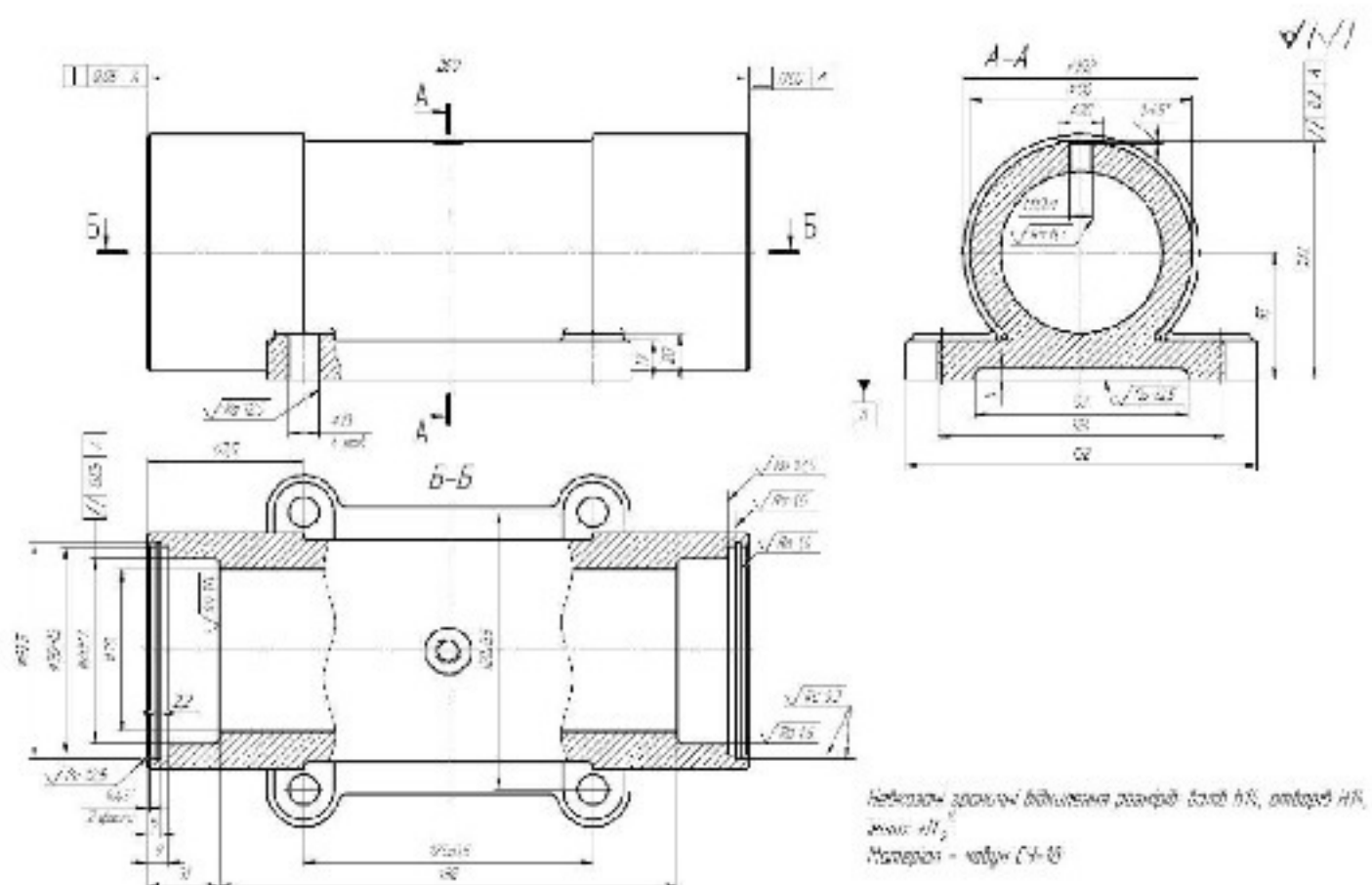


Рисунок 1.2 – Типова деталь «Корпус»

Таблиця 1.1 – Маршрут механічної обробки деталі «Корпус»

Операція	Зміст або найменування операції	Верстат, обладнання	Оснащення
005	Лиття		
010	Обрубка та очищення виливка		
015	Фрезерувати площину основи остаточно. Свердлити чотири отвори $\varnothing 13$ остаточно. Фрезерувати площину бобики $\varnothing 20$ остаточно, свердлити і нарізати різьбу $M10 \times 1-7H$ в одному отворі остаточно. Фрезерувати торець $\varnothing 102$, витримуючи розмір 230 остаточно. Розточити виточки $\varnothing 80H7$; $\varnothing 90H13$ і фаску $1 \times 45^\circ$ остаточно. Фрезерувати канавку $b=2,2 \pm 0,5$ остаточно. Повернути стіл на 180° . Розточити виточки $\varnothing 80H7$; $\varnothing 90H13$ і фаску $1 \times 45^\circ$ остаточно. Фрезерувати канавку $2,2 \pm 0,5$ остаточно	Багатоцільовий з ЧПК і інструментальним магазином ИР500МФ4	Наладка УСПО (УПВО)
020	Притупити гострі кромки	Верстак	
025	Технічний контроль		
030	Нанесення антикорозійного покриття		

Як видно із конструкції розглядуваної деталі, вона досить схожа на досліджувану нами деталь. Судячи з назви та конфігурації, службове призначення однакове, отже і норми точності також схожі в залежності від умов роботи. Лише слід відзначити, що досліджувана нами деталь має більш строгі вимоги точності розмірів, що пояснюється різними умовами експлуатації при однаковому призначенні. Якщо детально дослідити вище вказаний маршрут механічної обробки деталі, то можна побачити, що він побудований для середньосерійного та дрібносерійного типу виробництва, про що свідчить спрощений опис всіх можливих переходів та інструментів, що є необхідним для робітника середньої кваліфікації. В нашому випадку тип виробництва –

середньосерійний, що дозволяє в більш спрощеній формі будувати маршрут механічної обробки.

1.3 Критичний аналіз базового технічного процесу виготовлення виробу

Базовий технологічний процес механічної обробки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001». Побудований на використанні універсальних верстатів. На операції 005 та 010 використовуються універсальні фрезерні верстати 6Р82Ш, на операції 015,035 та 040 використовуються універсальні свердлильні верстати 2Н135, а на операціях 025,030 використовується універсальний токарний верстат 16К20.

Варіант базового технологічного процесу механічної обробки показаний в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Базовий маршрут механічної обробки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001»

№ оп.	Зміст і найменування операції	Верстат, обладнання	Оснащення
1	2	3	4
005	Фрезерувати поверхню однократно	6Р82Ш	Лещата
010	Фрезерувати площину попередньо, фрезерувати площину остаточно	6Р82Ш	Лещата
015	Центрувати 6 отв., свердлити отв. Ø10, Ø20, Ø3, цекувати Ø12, зенкерувати отв. Ø20, розвернути отв. Ø20,	2Н135 з револьверною головкою	Спец. пристосування
020	Свердлити 4 отв. Ø6,5, зенкерувати, розвернути 4 отв Ø6,5 Цекувати 4 отв. Ø11	2Н135 з револьверною головкою	Спец. пристосування
025	Точити торець попередньо, точити поверхню однократно, свердлити отв. Ø12, розточити 2 отв. Ø16, точити фаску, точити торець остаточно	16К20	Спец. пристосування

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4
030	Точити торець попередньо, розточити 2 отв. Ø16, точити фаску, точити торець остаточно.	16K20	Спец. пристосування
035	Зенкерувати отв. Ø12, розвернути отв. Ø12, нарізати різь M16×1,5	2H135 з револьверною головкою	Спец. пристосування
040	Нарізати різь M16×1,5	2H135	Спец. пристосування

Верстати які використовуються в даному маршруті механічної обробки 6P82Ш, 16K20 та 2H135 є морально застарілими, більшість із них уже відпрацювали паспортний термін використання, це призводить до частих поломок, збоїв і тому подібного, що тягне за собою витрати пов'язані з відновленням обладнання та браком.

Також використання універсальних верстатів призводить до збільшення заробітної плати робітникам(за рахунок вищого розряду), збільшення основного (за рахунок низьких режимів різання) та додаткового часу, тому знижується продуктивність обробки.

Отримана на такому обладнанні продукція буде мати погану якість, хоча й дані верстати, за паспортними даними, можуть забезпечити необхідну точність та якість, але в реальності є велика ймовірність отримання браку.

З вище наведеного випливає необхідність розробки удосконаленого технологічного процесу обробки даної деталі. Пропонується введення верстатів з ЧПК. Що приведе до зменшення кількості операцій, а також дасть змогу зменшити основний та додатковий час, зменшити заробітну плату (за рахунок зменшення кількості робітників та їх розряду).

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КЛАПАНА КТ-48.001»

2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі

Аналіз робочого креслення деталі «Корпус клапана КТ-48.001» показав, що основною конструкторською базою є поверхня з габаритами 50×42 мм, яка в подальшому кріпиться на поверхню обладнання. Має шорсткість $Ra=3,2$ мкм.

Допоміжними конструкторськими базами є кріпильні отвори $\varnothing 6,5$ (4 отвори), торці з отворами $M16 \times 1,5$, $\varnothing 20H8$, $\varnothing 12H11$.

Вільними базами є необроблені поверхні.

У відповідності з призначенням поверхонь до них ставляться такі вимоги: найбільш точними є основні та конструкторські бази. До них ставляться такі вимоги обробки, як шорсткість $Ra=3,2$ для основних баз та отвори $\varnothing 12H8$ з шорсткістю $Ra=1,25$ мкм, $\varnothing 20H8$ позиційний допуск $\boxed{\boxed{0,1}} \boxed{f}$ та шорсткість $Ra=1,25$ мкм, $\varnothing 12H11$, $M16 \times 1,5-6H$ має позиційний допуск $\boxed{\boxed{0,1}} \boxed{f}$ та $M16 \times 1,5-6H$ позиційний допуск $\boxed{\boxed{0,1}} \boxed{H}$.

Інші поверхні що слугують допоміжними мають такі характеристики: $62h10$, $42h10$, $30h10$ з шорсткістю $Ra=12,5$ мкм, $Ra=16$ мкм.

У відповідності із призначенням поверхонь до них ставляться вимоги: найбільш точними є поверхні $\varnothing 20H8$ та $\varnothing 12H8$ із шорсткістю 1,25 мкм.

Конструкція деталі в цілому технологічна. Деталь має хороші базові поверхні для виконання більшості операцій механічної обробки.

Оскільки даний матеріал має гарні ливарні властивості то відповідно заготовка має отримуватися литтям.

В якості базових поверхонь можуть використовуватись торці та отвори, тому використання штучних технологічних баз недоцільно.

В цілому деталь не містить важкодоступних для обробки місць і дозволяє використовувати високоефективні методи обробки.

3D-модель деталі та її розріз представлено на рисунку 2.1.

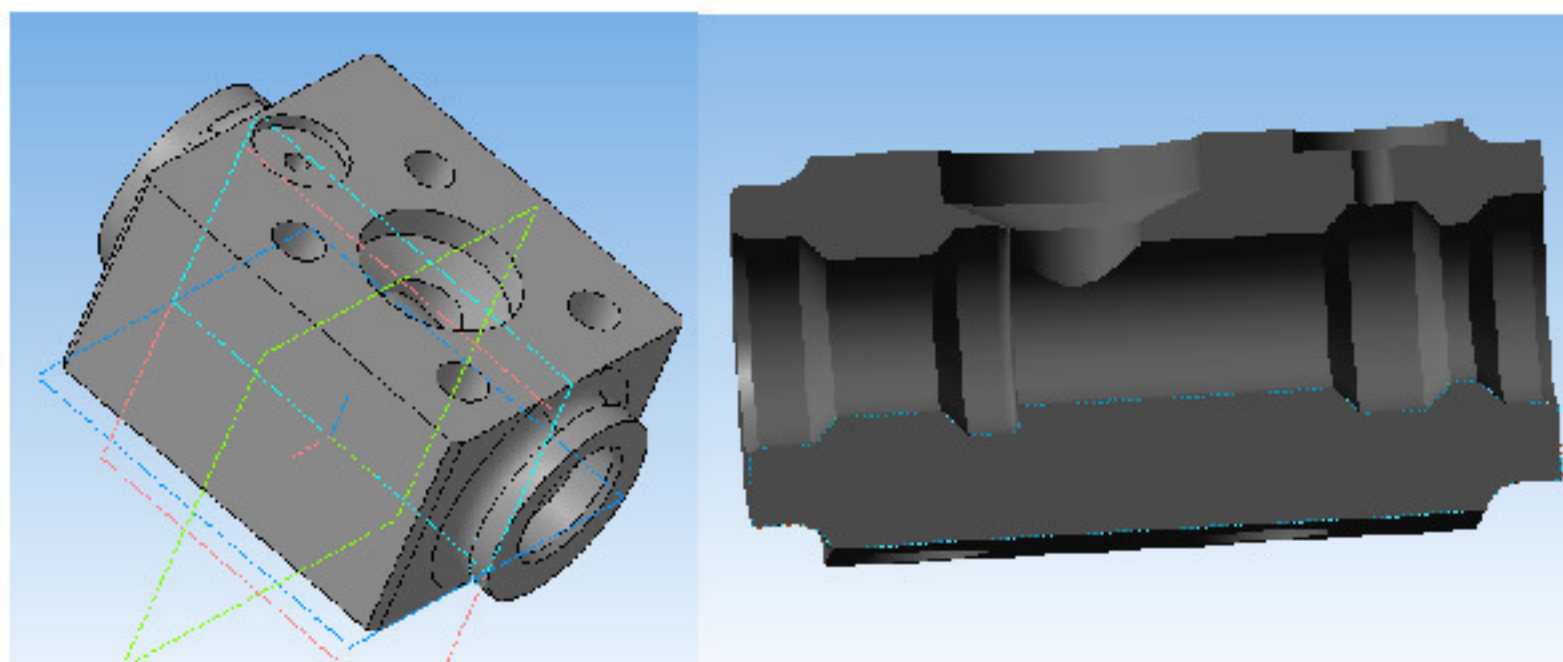


Рисунок 2.1 – 3D модель та розріз деталі «Корпус клапана КТ-48.001»

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

Коефіцієнт уніфікації визначається за формулою:

$$K_y = Q_{ye} / Q_e, \quad (2.1)$$

де Q_{ye} – кількість уніфікованих елементів;

Q_e – загальна кількість елементів.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнт уніфікації

Лінійні розміри	Діаметральні розміри	Кутові розміри	Шорсткість
1	2	3	4
30*	Ø12H8*	15°(2 пов)*	3,2 (3 пов)*
20*	Ø20H8*	45 °(5 пов)*	1,25 (5 пов)*
5*	Ø10*		12,5(1 пов)*
62	Ø11(4 отв)*		
16*	Ø6,5(4 отв)		
5*	Ø3*		
14*	Ø26(2 пов)*		
7(4 пов)	R0.1*		

Продовження таблиця 2.1

1	2	3	4
14(2 пов)*	R0.5*		
13(2 пов)*	Ø16.5(2 пов)		
20*	R1*		
30*	Ø12*		
42*	Ø16,5(2 пов)		
23	M16x1,5-6H(2пов)*		
6(2 пов)*			
1,85			
1 (2 пов)*			
4(2 пов)*			
$\Sigma_{\text{заг.}} = 26$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 24$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 7$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 9$
$\Sigma_{\text{уніф.}} = 19$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 16$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 7$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 9$

$$K_y = (19 + 16 + 7 + 9) / (26 + 24 + 7 + 9) = 0,776 > 0,6.$$

Отже, за даним показником деталь є технологічною.

Коефіцієнт шорсткості визначається за формулою:

$$K_{\text{ш}} = 1 / \text{Ш}_{\text{ср}} ; \quad (2.2)$$

Таблиця 2.2 – Коефіцієнт шорсткості

Шорсткість	Кількість поверхонь	Розрахунок
1,25	4 (Ø20, Ø12H8-3пов.)	1,25·4=5
3,2	4 (30, ø 12H11,62-2 пов.)	3,2·4=12,8
12,5	42	12,5·42=525
Всього:	50	542,8

$$\text{Ш}_{\text{ср}} = \frac{\sum \text{Ш}_i \cdot n_i}{n_i}, \quad (2.3)$$

де Ш_i – шорсткість i -ої поверхні;

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

Відповідно до наведених вище даних отримаємо:

$$Ш_c = 542,8/50 = 10,86$$

$$K_{ш} = 1/10,86 = 0,092 < 0,32.$$

Отже, за даним показником деталь є також технологічною.

Коефіцієнт точності визначається:

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

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

де T_i – квалітет точності i -го розміру;

n_i – кількість розмірів з квалітетом T_i . Дані для розрахунку наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт точності

Квалітет	Кількість розмірів	Розрахунок
8	4 ($\varnothing 12H8-3$ пов., $\varnothing 20H8$)	$8 \cdot 4 = 32$
10	2(30, 62)	$10 \cdot 2 = 20$
12	6 (14-2 пов, 13-2 пов, 23, 1,85)	$6 \cdot 12 = 72$
14	38	$14 \cdot 38 = 532$
Всього	50	656

Відповідно отримаємо:

$$T_c = 656/50 = 13,12$$

$$K_T = 1 - 1/13,12 = 0,924$$

За даним показником деталь є також технологічною.

Отже деталь технологічна за якісними і кількісними показниками.

2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт

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 клапана КТ-48.001» і занесені до таблиці 2.4, це фрезерування поверхні в розмір $30h10_{(-0.084)}$ попередньо та остаточно, фрезерування поверхні в розмір $30h10_{(-0.084)}$, свердління, зенкерування та розвертування отвору $\varnothing 12H8^{(+0.027)}$, свердління 4 отворів 6,5.

Для записаних в табл. 2.4 переходів механічної обробки наближено визначено основний час механічної обробки $T_{осн}$, наприклад, для фрезерування поверхні в розмір $30h10_{(-0.084)}$ попередньо:

$$T_{осн} = 6 \cdot l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0,3 \text{ (хв)},$$

Для фрезерування поверхні $30h10_{(-0.084)}$ остаточно

$$T_{осн} = 4 \cdot l \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0,2 \text{ (хв)},$$

Для однократного фрезерування поверхні в розмір $30h10_{(-0.084)}$

$$T_{ocn} = 6 \cdot l \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0,3 \text{ (ХВ)},$$

Для свердління отвору $\varnothing 12H8^{+0.027}$

$$T_{ocn} = 0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 12 \cdot 62 \cdot 10^{-3} = 0,38 \text{ (ХВ)},$$

Для зенкерування отвору $\varnothing 12H8^{+0.027}$

$$T_{ocn} = 0,21 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,21 \cdot 12 \cdot 62 \cdot 10^{-3} = 0,16 \text{ (ХВ)},$$

Для розвертання отвору $\varnothing 12H8^{+0.027}$

$$T_{ocn} = 0,43 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,43 \cdot 12 \cdot 62 \cdot 10^{-3} = 0,32 \text{ (ХВ)},$$

Для свердління 4 отворів $\varnothing 6,5$

$$T_{ocn} = 4 \cdot 0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0,52 \cdot 6,5 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0,4 \text{ (ХВ)}.$$

Згідно рекомендацій, враховуючи масу деталі та програму випуску, наближено визначено тип виробництва, як серійний.

Штучно-калькуляційний час визначається $T_{шт-к}$, як добуток основного часу і коефіцієнта φ_k :

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

Для фрезерування поверхні в розмір $30h10_{-0,084}$ попередньо отримаємо:

$$T_{шт-к} = 0,3 \cdot 1,5 = 0,45 \text{ (ХВ)},$$

Для кожного переходу механічної обробки необхідна кількість верстатів визначається за формулою:

$$C_{pi} = \frac{N \cdot T_{шт.к.}}{60 F_d \cdot \eta_{з.н.}}, \quad (2.8)$$

де $N = 12000$ шт. – річна програма випуску деталі «Корпус клапана КТ-48.001»;

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

F_d – дійсний фонд роботи обладнання при роботі в дві зміни ($F_d = 3890$ год);

$\eta_{з.н.}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання ($\eta_{з.н.} = 0,75$).

Відповідно необхідна кількість верстатів складає:

$$C_{pi} = \frac{T_{шт.к.} \cdot N}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н.}} = \frac{0,45 \cdot 12000}{60 \cdot 3890 \cdot 0,75} = 0,03$$

Одержану розрахункову кількість верстатів заокруглено до найближчого більшого числа і одержано прийняту кількість верстатів P_i , в даному випадкові 1 верстат.

Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання визначається за формулою:

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

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

P_i – кількість робочих місць для виконання даної операції.

Кількість операцій, які виконуються на i -му місці можна визначити за формулою:

$$O_i = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.і}}, \quad (2.10)$$

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

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

Так, як деякі поверхні знаходяться на одній площині і в подальшому плануються оброблятися на одній операції, то відповідні переходи об'єднуємо. А саме: фрезерування поверхні в розмір $30h10_{(-0,084)}$ попередньо та остаточно, свердління, зенкерування та розвертання отвору $\varnothing 12H8^{(+0,027)}$ будуть оброблятися на одному верстаті; фрезерування поверхні в розмір $30h10_{(-0,084)}$ однократно буде оброблятися на другому верстаті; свердління 4-х отворів $\varnothing 6,5$ на третьому верстаті.

Аналогічно виконано розрахунки для інших типових переходів механічної обробки та заносимо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Визначення типу виробництва

№ п/п	Зміст технологічних операцій	Формула	Параметри обробки		Тосн, хв	фк	Тшт.к., хв	N	Фд	Ср	Р	h з.н.	h з.ф.	О	Кз.о.
			d	l											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.	Фрезерування пов. в розмір $30h10$ попередньо	$6 \cdot 10^{-3}$	-	50	0,3	1,5	0,45	12000	3890	0,03	1	0,75	0,091	8	14,3
2.	Фрезерування пов в розмір $30h10$ остаточно	$4 \cdot 10^{-3}$	-	50	0,2										
3.	Свердління 4 отв. $\varnothing 6,5$	$0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}$	6,5	30	0,4	1,5	0,6			0,041	0,75				
4.	Свердління отв $\varnothing 12H8$	$0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}$	12	62	0,38	1,35	0,51			0,034	1		0,078	10	

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
5.	Зенкерування отв Ø12H8	$0,21 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}$	12	62	0,16		0,22			0,015					
6.	Розвертання отв Ø12H8	$0,43 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3}$	12	62	0,32		0,43			0,029					
7.	Фрезерування пов. в розмір 30h10 однократно	$6 \cdot l \cdot 10^{-3}$	-	50	0,3	1,5	0,45			0,03	1		0,03	25	

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

$$\sum O_i = 8 + 10 + 25 = 43$$

Сумарна кількість прийнятих верстатів $\sum P = 3$

Коефіцієнт закріплення $K_{з.о.}$ відповідно складатиме:

$$K_{з.о.} = 43/3 = 14,3$$

Отже, тип виробництва – середньосерійний. Всі розрахункові дані занесені до таблиці 2.4.

Форми організації роботи

Добовий випуск виробів [9]:

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

де 254 кількість робочих днів в року:

$$Q_{\partial} = \frac{F_{\partial}}{T_{\text{шт}} - K_{\text{ср}} \cdot \eta_3}, \text{ [шт.]} \quad (2.12)$$

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

η_s – добовий коефіцієнт завантаження потокової лінії.

$$T_{шт-к.сер} = \frac{\sum T_{шт-к_i}}{\sum n_i}, [\text{хв.}] \quad (2.13)$$

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

Відповідно середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів становитиме:

$$T_{шт-к.сер} = \frac{0,45 + 0,3 + 0,45 + 0,51 + 0,22 + 0,43 + 0,6}{7} = 0,37 \text{ (хв.)}$$

Отже добова продуктивність лінії становитиме:

$$Q_d = \frac{952}{0,37 \cdot 0,8} = 3216 \text{ (шт.)}$$

Потрібний добовий випуск виробів:

$$N_d = \frac{12000}{254} = 47,2 \text{ (шт.)}$$

Оскільки потрібний добовий випуск виробів значно менший добової продуктивності лінії то відповідно обираємо групову форму 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).

$$n = \frac{12000 \cdot 6}{254} = 283 \text{ (шт.)}$$

Розрахункове число змін на обробку всієї партії:

$$c = \frac{T_{\text{шт} - \kappa . \text{ср}} \cdot n}{476 \cdot 0,75} \quad (2.15)$$

$$c = \frac{0,37 \cdot 283}{476 \cdot 0,75} = 0,33$$

Кількість деталей у партії для завантаження обладнання протягом цілого числа змін:

$$n_{\text{пр}} = \frac{476 \cdot 0,75 \cdot c_{\text{пр}}}{T_{\text{шт} - \kappa . \text{ср}}}, [\text{шт.}] \quad (2.16)$$

$$n_{\text{пр}} = \frac{476 \cdot 0,75 \cdot 1}{0,37} = 964,8 \text{ (шт.)}$$

Приймаємо кількість деталей у партії 965 шт.

Отже, тип виробництва – середньосерійний, форма організації роботи – групова, при цьому кількість деталей в партії для одночасного запуску складає 965 шт.

2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

Для виготовлення деталі «Корпус клапана КТ-48.001» використовується сталь марки 35 ГОСТ 1050-88, яка використовується для виготовлення деталей: зубчасті колеса, тяги, кронштейни та інші деталі які працюють під дією статичних та динамічних навантажень.

Хімічний склад та механічні властивості приведені в таблиці 2.5 та 2.6

Таблиця 2.5 – Хімічний склад сталі 35

Вуглець	Мідь	Кремній	Марганець	Хром	Нікель	Фосфор	Сірка
0,32-0,4	0,3	0,2-0,52	0,4-0,9	0,3	0,3	0,04	0,045

Таблиця 2.6 – Механічні властивості сталі 35

Твердість по Брінелю, НВ	До 229
Границя міцності при розтягненні, МПа, (кг·с/мм ²)	540(54)
Границя міцності при згині, МПа, (кг·с/мм ²)	1 (10)
Відносне подовження, δ , %	16
Відносне звуження поперечного перерізу, ψ , %	25

Так як матеріал деталі Сталь 35, то методом виготовлення заготовки є пластичне деформування та прокатування, через те, що матеріал має добрі пластичні властивості.

Можливі способи пластичного деформування [10-12]:

- гідравлічні преси;
- гаряче штампування на молотах;
- штампування на КГШП.

Штампування на гідравлічних пресах мають такі переваги: низький рівень шуму, великі зусилля стискання, простота керування. Недоліками даного способу є тихохідність та обмежений термін служби робочої рідини. Так як деталь має не велику масу та не складну конфігурацію, даний спосіб використовувати не доцільно.

Гаряче штампування на молотах та штампування на КГШП мають велику продуктивність та скорочує припуск на механічну обробку. Але основним недоліком даних способів є складна конфігурація штампів, що призводить до недоцільності його виготовлення. Тому дані способи також не доцільно використовувати.

Тому для виготовлення заготовки пропоную порівняти 2 види прокату. А саме: листовий прокат та полосовий прокат.

Розрахунок розмірів [10]

Згідно табличних значень проміжними припусками на механічну обробку визначаємо розміри заготовки. А саме припуск для однократного фрезерування площини – 3 мм; для попереднього фрезерування припуск становить 2,5 мм; для остаточного фрезерування – 0,5 мм; для чорнового точіння торця проміжний припуск призначаємо 2 мм; для чистового точіння торця – 0,7 мм.

Отже, визначаємо приблизну товщину прокату.

$$H = 30 + 2,5 + 0,5 + 3 = 36 \text{ (мм)}.$$

Довжину заготовки визначаємо відносно деталі та з урахування проміжних припусків. І отримуємо, що довжина заготовки становить:

$$L = 62 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 0,7 = 67,4 \text{ (мм)}.$$

Ширину заготовки будемо визначати по стандартним величинам з максимально наближеним розміром деталі так, як дана поверхня перебуває в стані поставки.

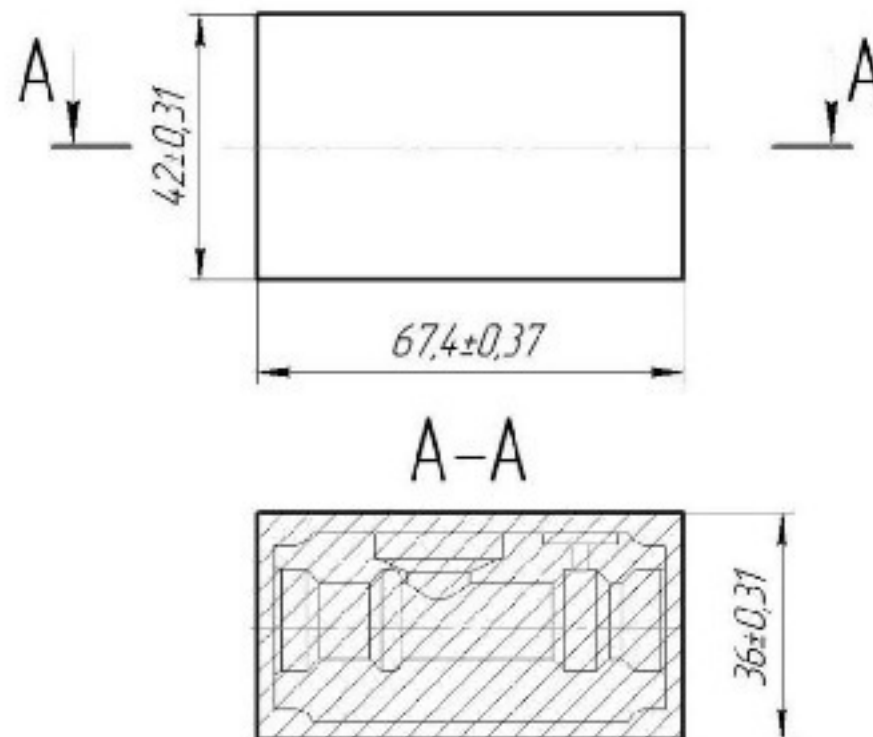


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки з листового та полосного прокату

Розрахунок маси і коефіцієнта точності маси для обох варіантів заготовки

Коефіцієнт точності маси визначається за формулою:

$$K_{T.M} = \frac{G_{\text{десн}}}{G_{\text{заст}}} \quad (2.17)$$

Так, як заготовки мають однакову масу то:

$$K_{T.M.1} = K_{T.M.2} = \frac{0,414}{0,797} = 0,52$$

Вибір розмірів прокату згідно [10].

Відповідно до ГОСТ 19903-74 обираємо листовий прокат розмірами 1500×6000×36 мм. Що задовольняє розрахункову товщину і дасть змогу отримати певну кількість заготовок з одного листа.

Так, як для порівняння був обраний полосний прокат підбираємо параметри полоси з якої отримуватимемо заготовки. Отже, згідно ГОСТ 103-76 обираємо полосу таких розмірів 45×6000×36 мм. Що задовольняє розрахункову

товщину, а також максимально наближує ширину заготовки до ширини деталі. Що в подальшому зменшить кількість відходів при заготівельних роботах.

Розрахунок кількості виготовлених заготовок та отриманих відходів.

Для того щоб визначити кількість виготовлених заготовок з відповідного прокату необхідно зобразити розташування габаритів заготовки, з урахуванням ширини різа (для дискової пили вона становить 3 мм). Отже, на рис. 2.3 зображено розташування заготовок на листовому прокаті. Ширину заготовку обираємо таку, як і ширину полоси, щоб зменшити кількість відходів при обробці бокових поверхонь в заготівельному цеху.

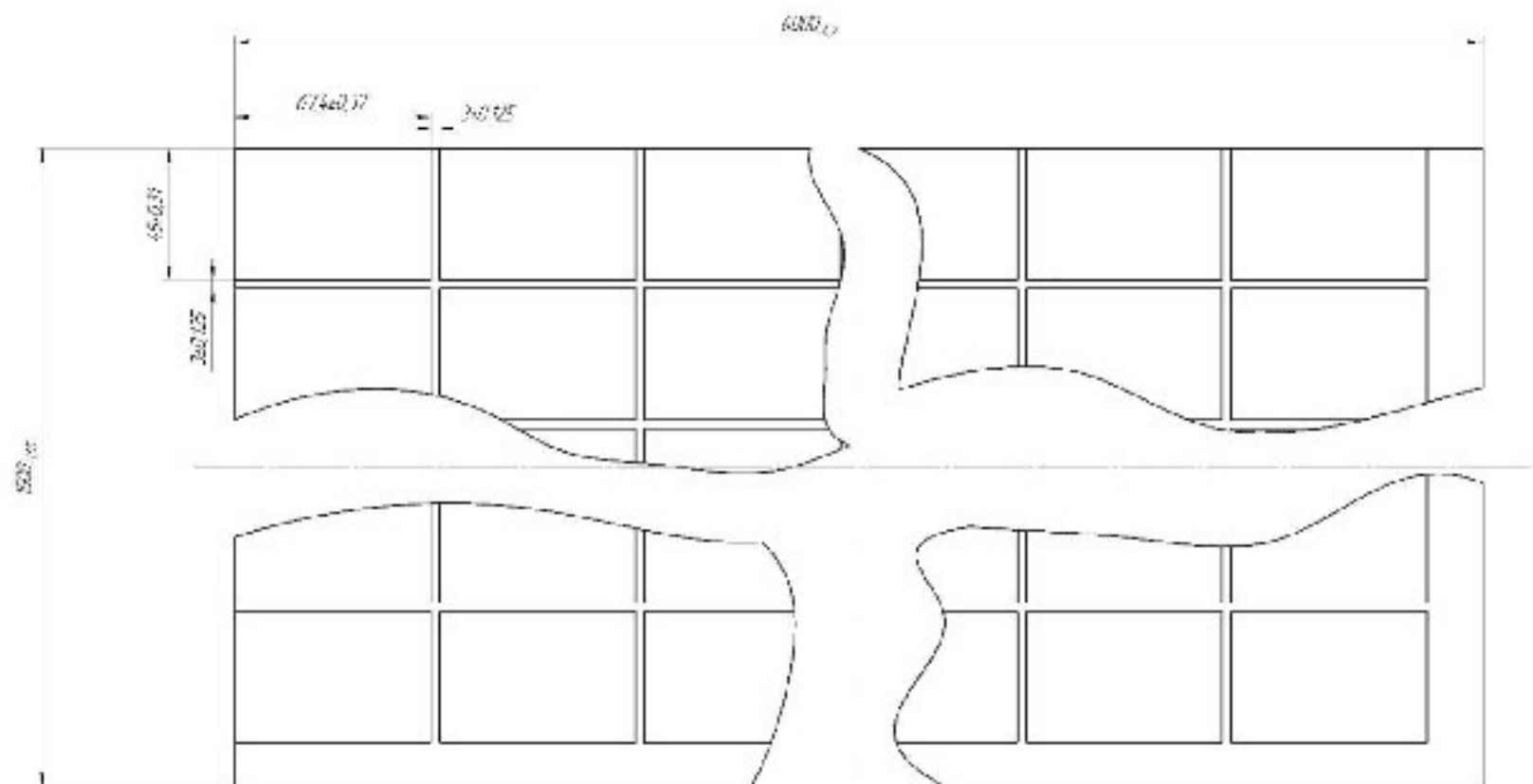


Рисунок 2.3 – Розміщення заготовок на листовому прокаті

З одного листового прокату розміром 1500×6000×36 ми отримуємо 2635 заготовок. Які в подальшому в заготівельному цеху пройдуть механічну обробку, а саме буде в фрезеруватися в розмір 42h10 так, як цей розмір знаходиться в стані поставки.

Щоб визначити масу відходів нам необхідно масу одного листа розділити на кількість заготовок.

$$G_{\text{від}} = \frac{G_{\text{лист}} \cdot G_{\text{заг}}}{n} = \frac{2543,4 - 2100,095}{2635} = 0,168(\text{кг}).$$

З одного полосового прокату розміром $45 \times 6000 \times 36$ згідно рис. 2.4 отримуємо 85 заготовок.

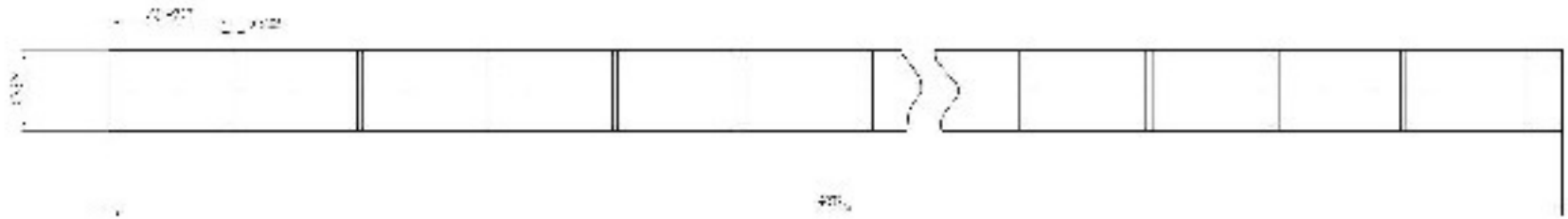


Рисунок 2.4 – Розміщення заготовок на полосному прокаті

В даному випадку маса відходів буде становити:

$$G_{\text{від}} = \frac{G_{\text{пол}} - G_{\text{заг}}}{n} = \frac{76,3 - 67,745}{85} = 0,1 (\text{кг}).$$

Розрахунок собівартості заготовки

Собівартість заготовки розраховується за формулою:

$$C_{\text{заг}} = \frac{C_{\text{лп}} \cdot G_{\text{заг}}}{1000} - \frac{C_{\text{від}} \cdot G_{\text{від}}}{1000}, [\text{грн.}] \quad (2.18)$$

де $C_{\text{лп}}$ – вартість 1 т прокату

При виготовленні заготовки з листового прокату:

Базова ціна за 1 т листового прокату становить 24750 грн.

Вартість відходів становить 6200 грн/т.

$$G_{\text{заг1}} = \frac{24750 \cdot 0,797}{1000} - \frac{6200 \cdot 0,168}{1000} = 18,68 (\text{грн.})$$

При виготовленні заготовки з полосового прокату:

Базова ціна за 1 т полосового прокату становить 27900 грн.

Вартість відходів становить 6200 грн/т.

$$G_{\text{заг2}} = \frac{27900 \cdot 0,797}{1000} - \frac{6200 \cdot 0,1}{1000} = 21,62 \text{ (грн.)}$$

Розрахунок економічного ефекту.

Економічний ефект розраховується за формулою:

$$E = (G_{\text{заг2}} - G_{\text{заг1}}) \cdot N = (21,62 - 18,68) \cdot 12000 = 35\,280 \text{ (грн.)}$$

Аналізуючи дану ситуацію пропоную остаточним методом отримання заготовки вибрати листовий прокат, адже цей метод являється дешевшим за метод отримання заготовки з полосового прокату, при однаковому коефіцієнту точності маси.

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

Визначення кількості ступенів механічної обробки виконується на основі розрахунків за формулою [1, 9]:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_d} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \dots \frac{T_{i-1}}{T_i} \dots \frac{T_n}{T_d} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \dots \varepsilon_i \dots \varepsilon_n = \prod_1^n \varepsilon_i, \quad (2.19)$$

де ε – загальне уточнення; ε_i – окремі ступені уточнення; n – число ступенів обробки; T_d , T_3 , T_i – допуски параметра, що розглядається відповідно для деталі, заготовки та окремого ступеня обробки.

Визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні $\varnothing 12H8$.

Обробка отвору $\varnothing 12H8$ виконується на одній операції з одного установа. Ескіз із технічними вимогами показаний на рисунку.

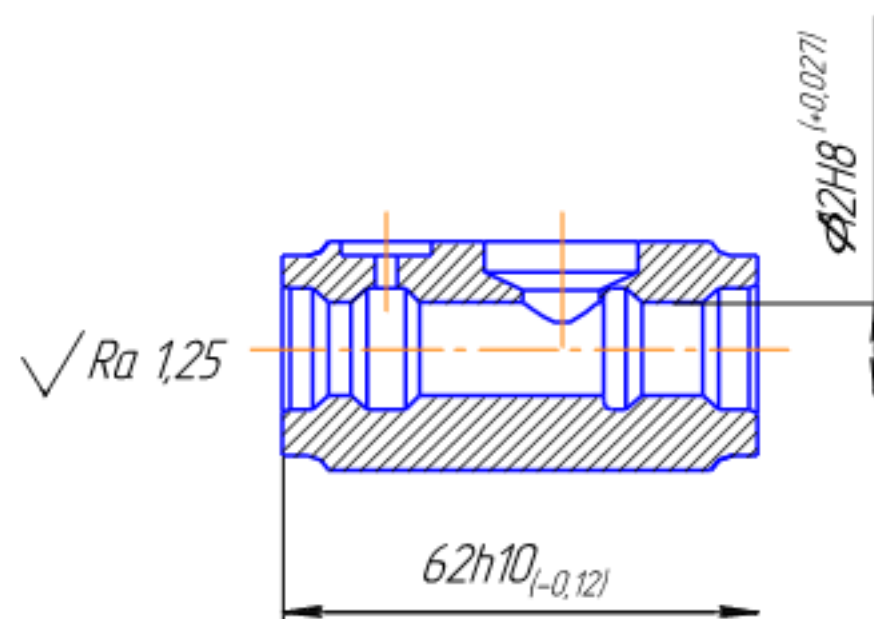


Рисунок 2.5 – Ескіз до прикладу визначення кількості ступенів обробки

Вихідна заготовка – листовий прокат. Отвір в заготовці не утворюється, тому допуск діаметрального розміру отвору приймаємо 0,18 мм, що відповідає 12 квалітету при свердлінні.

Визначимо загальне уточнення

$$\varepsilon_z = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}} = \frac{180}{27} = 6,6$$

Припустимо, що таке уточнення може бути досягнуто за три переходи механічної обробки. Прийmemo: $\varepsilon_2 = 4$; $\varepsilon_1 = 2$.

Знайдемо уточнення, яке має бути забезпечене на третьому (останньому) переході

$$\varepsilon_3 = \frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_2} = \frac{6,6}{4} = 1,666$$

Визначимо розрахункові значення допусків технологічних розмірів

$$T_2 = \frac{T_{\text{заг}}}{\varepsilon_2} = \frac{180}{4} = 45 \text{ (мкм) (IT9)};$$

$$T_1 = \frac{T_2}{\varepsilon_1} = \frac{45}{1,666} = 27 \text{ (мкм) (IT8)}.$$

Отримані розрахункові значення допусків технологічних розмірів, що мають забезпечуватись на першому і другому переходах, змінимо до найближчих нормативних значень. Таким чином, приймемо остаточно:

$$T_2 = 45 \text{ мкм (IT9)}; T_1 = 27 \text{ мкм (IT8)}.$$

Вибираємо як спосіб механічної обробки для усіх трьох переходів свердління, зенкерування, розвірчування. Відповідно до нормативів розвірчування забезпечує як необхідну точність діаметрального розміру (IT8), так і вимоги до шорсткості поверхні ($Ra = 1,25$ мкм) [1].

Таблиця 2.7 – Обґрунтування вибору кількості ступенів і способів обробки поверхонь з підвищеними вимогами точності

Розмір циліндричної поверхні або номер плоскої поверхні (на ескізі)		Вимоги точності, що враховувались під час вибору кількості ступенів і способів обробки	Спосіб обробки
Діаметральні поверхні			
Ø10		14 квалітет, Ra 6,3	Однократне свердління
Ø20		8 квалітет, Ra 1,25	Свердління Зенкерування Розвірчування
Ø3		14 квалітет, Ra 6,3	Однократне свердління
Ø12		11 квалітет, Ra 3,2	Однократне цекування
Ø6,5		8 квалітет, Ra 1,25	Свердління Зенкерування Розвірчування
Ø16		12 квалітет, Ra 6,3	Однократне розточування
Ø11		11 квалітет, Ra 3,2	Однократне цекування
Ø26		14 квалітет, Ra 6,3	Однократне точіння
Плоскі поверхні			
30h10	Верхня поверхня	10 квалітет, Ra 12,5	Однократне фрезерування
	Нижня поверхня	10 квалітет, Ra 3,2	Чорнове фрезерування Чистове фрезерування
62h10	Правий торець	10 квалітет, Ra 3,2	Попереднє точіння Остаточне точіння
	Лівий торець	10 квалітет, Ra 3,2	Попереднє точіння Остаточне точіння

2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз

Правильний вибір баз є важливим чинником, що забезпечує досягнення необхідної точності в ході здійснення технологічного процесу обробки та дозволяє суттєво скоротити часові й матеріальні витрати на забезпечення необхідної точності деталі.

Проектуючи технологічний процес механічної обробки, спочатку вибираємо чистові технологічні бази, а потім чорнові [1].

В якості чистових технологічних баз для обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь деталі використаємо метод базування “на площину та два пальці”.

Аналіз вибору технологічних баз на операції 010:

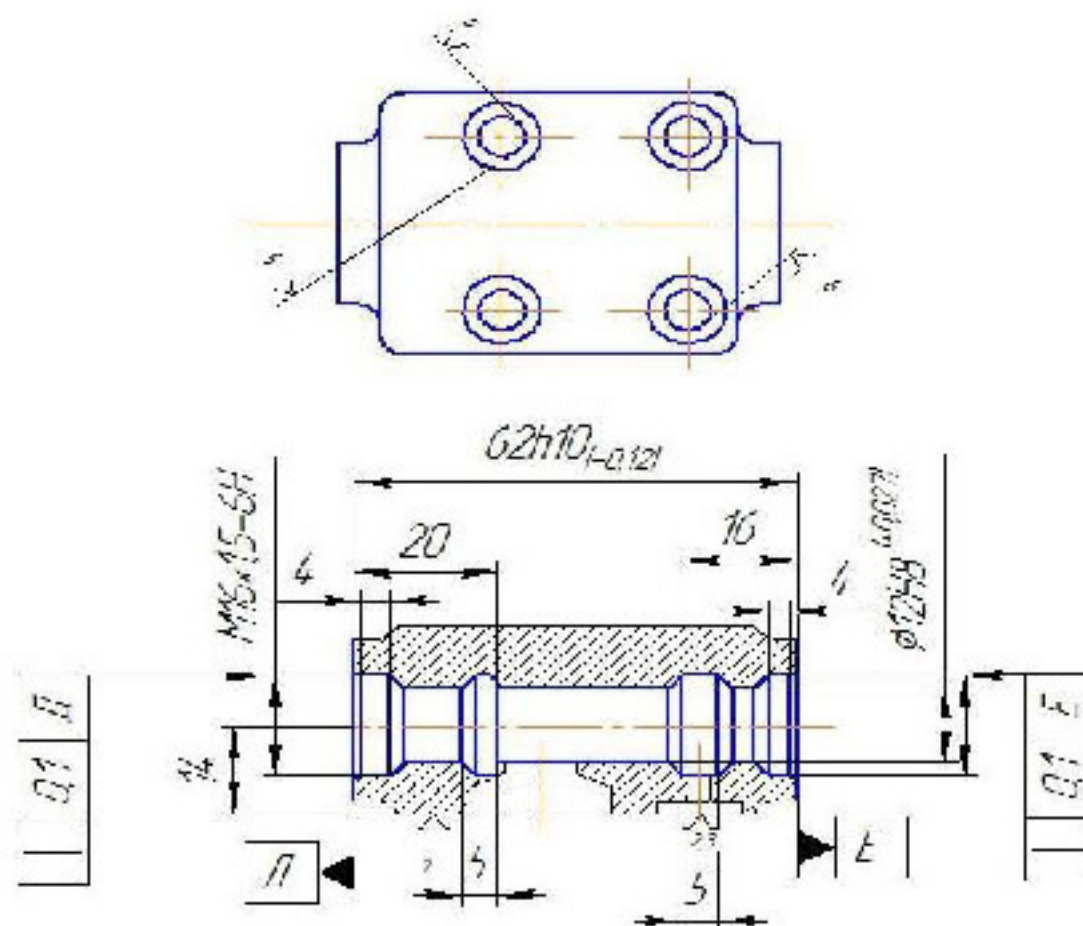
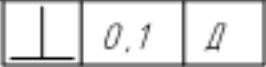
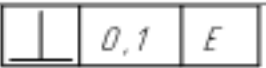


Рисунок 2.6 – Схема базування операції 010

Таблиця 2.8 – Аналіз вибору технологічних баз на операції 010

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
1	2	3	4
Токарно-револьверний верстат з ЧПК	62	присутня	Зумовлює похибку зазор між установним пальцем та отвором
	20	відсутня	Обробка з одного установа
	16	відсутня	Обробка з одного установа
	5	відсутня	Обробка з одного установа
	14	відсутня	Виконання принципу суміщення баз
	Ø 12	відсутня	Діаметральний розмір
	4	відсутня	Обробка з одного установа
		відсутня	Обробка з одного установа
		відсутня	Обробка з одного установа

Похибка базування при встановленні на пальці визначається за формулою:

$$\varepsilon_6 = D_{max} - d_{min} = 6,522 - 6,486 = 0,036 \text{ (мм)}$$

де D_{max} – діаметр отвору

d_{min} – діаметр пальця

Отже дані технологічні бази дозволяють отримати деталь заданої точності.

На першій операції 005 розв'язується задача зняття мінімального припуску та зв'язок необробленої з обробленою поверхнею 30.

Аналіз вибору технологічних баз на операції 005:

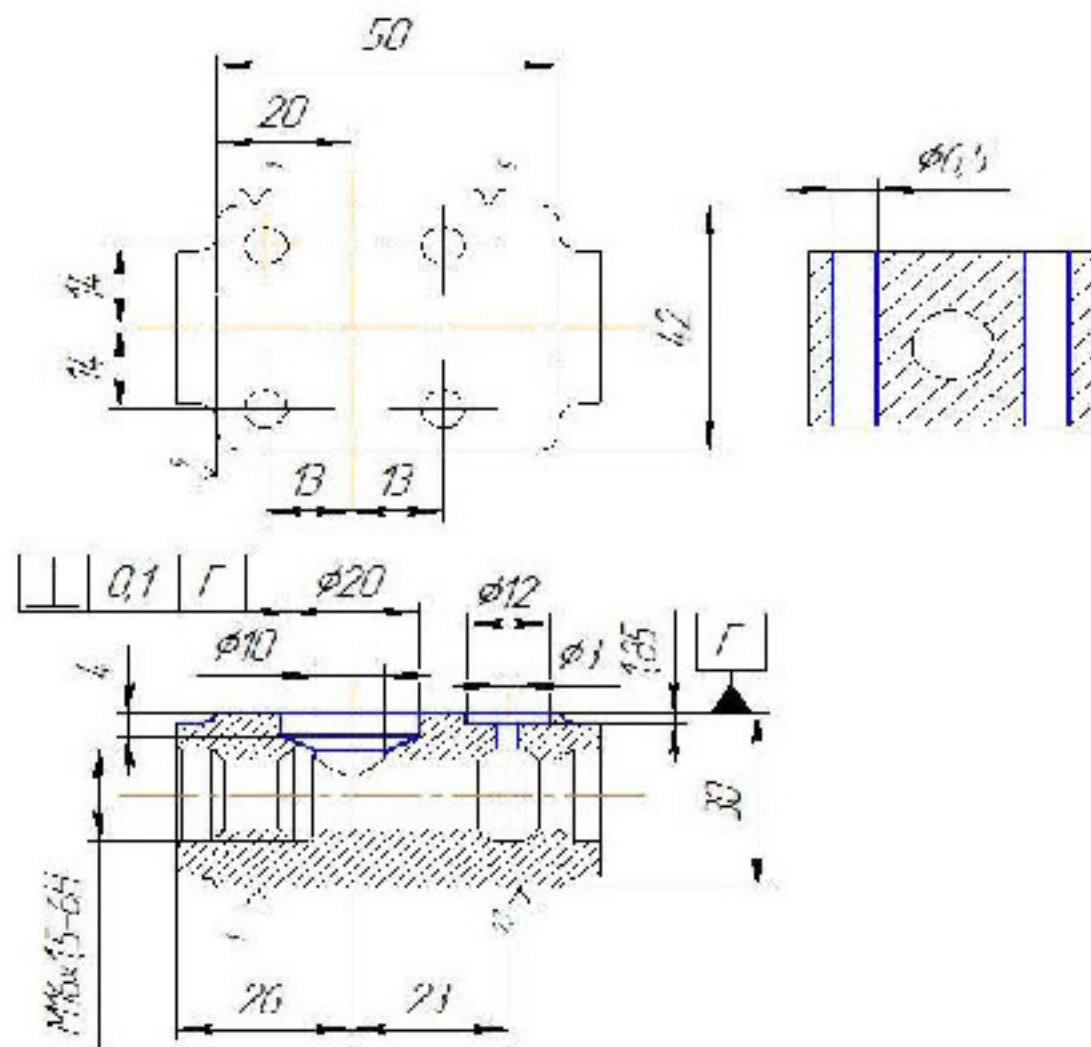


Рисунок 2.7 – Схема базування операції 005

Таблиця 2.9 – Аналіз вибору технологічних баз на операції 005

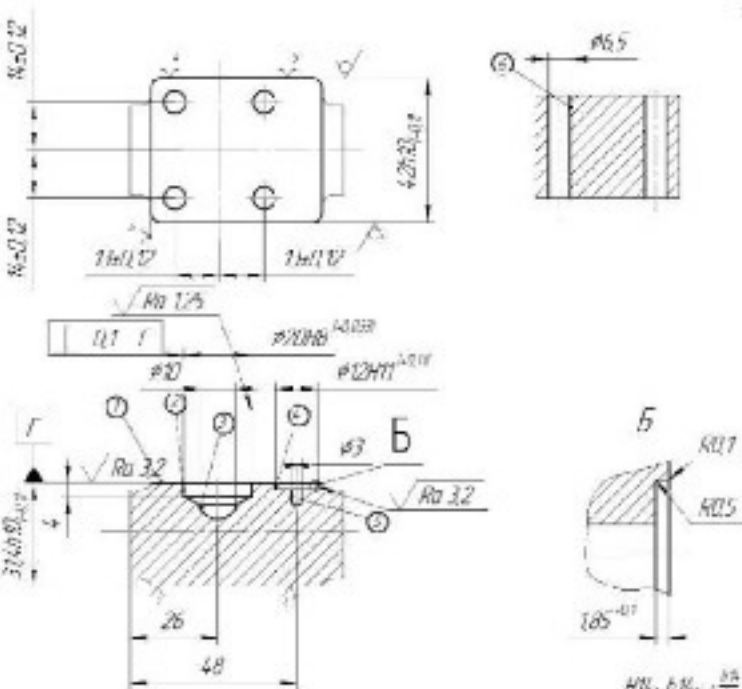
Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
1	2	3	4
Вертикально-фрезерна з ЧПК	13	відсутня	Обробка з одного установа
	14	відсутня	Обробка з одного установа
	20	відсутня	Виконання принципу суміщення баз
	23	відсутня	Виконання принципу суміщення баз
	30	відсутня	Виконання принципу суміщення баз
	Ø10	відсутня	Діаметральний розмір
	Ø20	відсутня	Діаметральний розмір
	Ø12	відсутня	Діаметральний розмір

Продовження таблиці 2.9

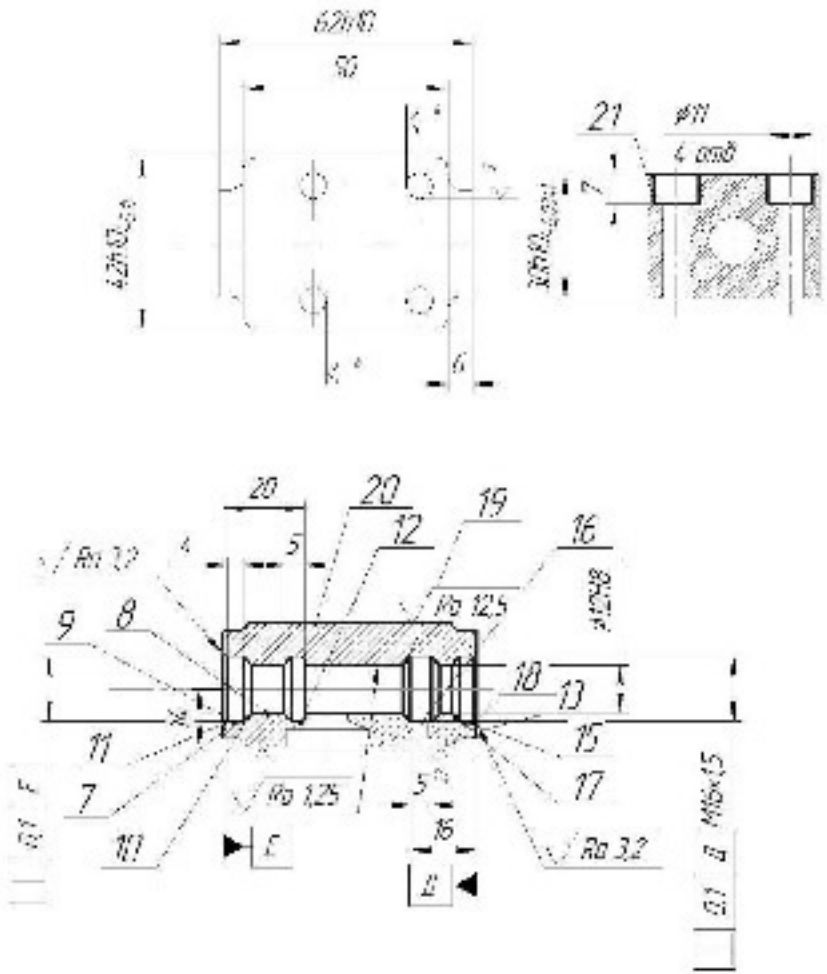
1	2	3	4
	Ø3	відсутня	Діаметральний розмір
	Ø6,5	відсутня	Діаметральний розмір
	4	відсутня	Виконується принцип суміщення баз
	1,85	відсутня	Виконується принцип суміщення баз
	 0,1 Г	відсутня	Обробка з одного установка

2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу

Таблиця 2.10 – Маршрут механічної обробки №1

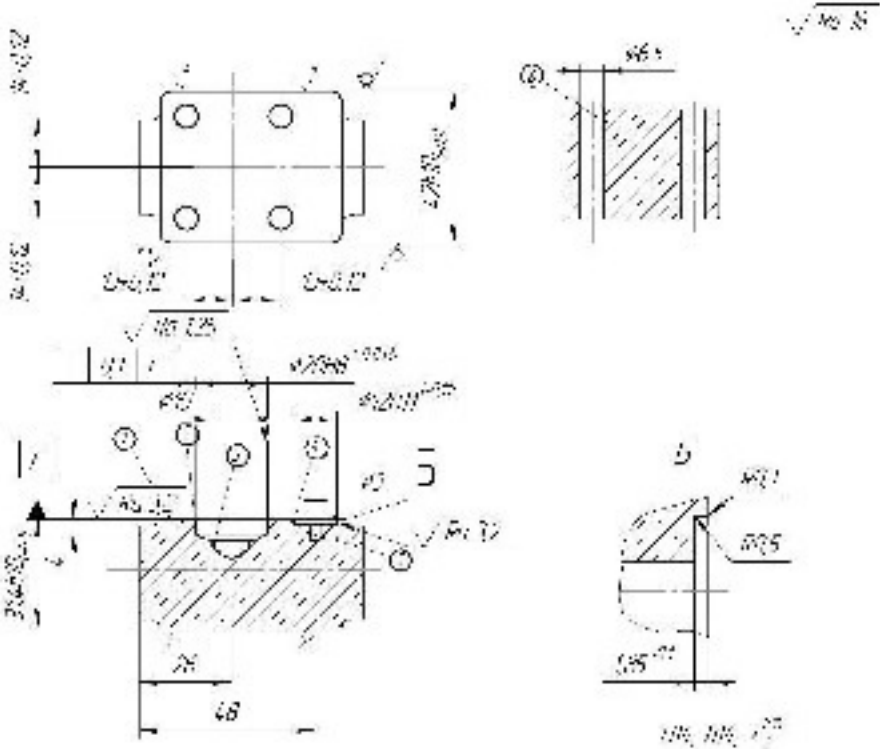
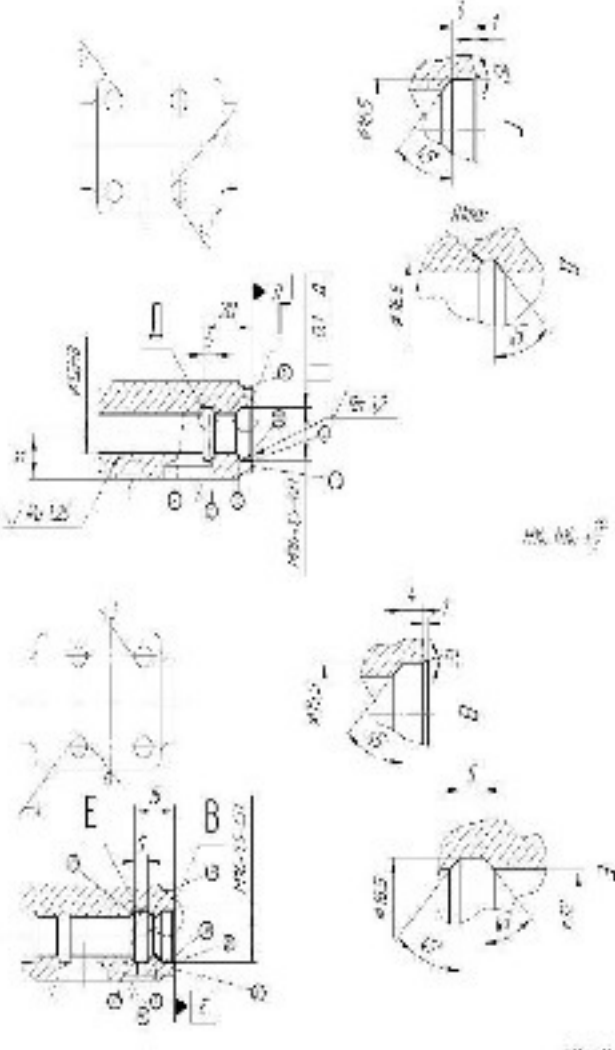
№ операції і зміст переходів	Ескіз обробки зі схемою базування	Тип і модель верстата
1	2	3
<u>005 Вертикально-фрезерна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку. 2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо. 3. Центрувати отв. 3, 5, 6. 4. Свердлити отв. 3. 5. Розсвердлити отв. 2. 6. Свердлити отв. 5. 7. Цекувати отв. 4. 8. Свердлити 4 отв. 6. 9. Фрезерувати поверхню 1 остаточно. 10. Зенкувати отв. 2. 11. Розвіртити отв. 2. 12. Зенкувати 4 отв. 6. 13. Розвіртити 4 отв. 6. 14. Зняти заготовку.		Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3

Продовження таблиці 2.10

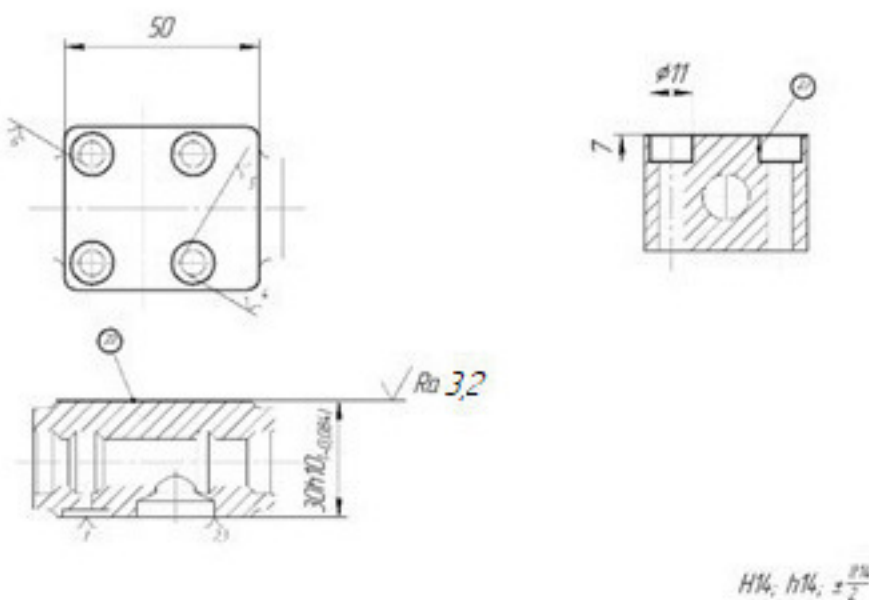
1	2	3
<u>010 Багатоцільова з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку. 2. Фрезерувати торець 7 попередньо. 3. Фрезерувати торець 13 попередньо. 4. Центрувати отвір 8. 5. Свердлити отвір 8. 6. Зенкерувати отвір 8. 7. Розточити отвір 9, фаску 10. 8. Розточити отвір 15, фаску 17. 9. Розточити отвір 12. 10. Розточити отвір 16, фаску 19. 11. Розточити фаску 11. 12. Розточити фаску 18. 13. Нарізати різь в отворі 9. 14. Нарізати різь в отворі 15. 15. Фрезерувати торець 7 остаточно. 16. Фрезерувати торець 13 остат. 17. Розвіртити отвір 8. 18. Фрезерувати поверхню 20. 19. Цекувати 4 отв. 21. 20. Зняти деталь.	 The technical drawing consists of three views: a top view, a side view, and a cross-sectional view. The top view shows a rectangular plate with a central hole and four smaller holes. Dimensions include 62±0.05, 50, 42±0.05, 4, 6, 20, 12, 19, 16, 18, 17, 15, 11, 8, 9, 7, 10, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21. The side view shows the profile of the part with dimensions 20, 12, 19, 16, 18, 17, 15, 11, 8, 9, 7, 10, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21. The cross-sectional view shows the internal features of the part, including a central hole and four smaller holes, with dimensions 42±0.05, 50, 4, 6, 20, 12, 19, 16, 18, 17, 15, 11, 8, 9, 7, 10, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21.	Багатоцільовий з ЧПК IP200ПМФ4

Другий маршрут механічної обробки відрізняється операцією 010 та додатково отриманої операції 015. На операції 010 тепер використовується токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В340Ф30, а на отриманій операції 015 використовується вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3.

Таблиця 2.11 – Маршрут механічної обробки №2

Номер, назва і зміст операції	Ескіз обробки зі схемою базування	Тип і модель верстата
1	2	3
<u>005 Вертикально-фрезерна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку. 2. Фрезерувати поверхню 1 попередньо. 3. Центрувати отв. 3, 5, 6. 4. Свердлити отв. 3. 5. Розсвердлити отв. 2. 6. Свердлити отв. 5. 7. Цекувати отв. 4. 8. Свердлити 4 отв. 6. 9. Фрезерувати поверхню 1 остаточно. 10. Зенкувати отв. 2. 11. Розвіртити отв. 2. 12. Зенкувати 4 отв. 6. 13. Розвіртити 4 отв. 6. 14. Зняти заготовку.		Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3
<u>010 Токарно-револьверна з ЧПК</u> <u>Установ 1</u> 1. Встановити заготовку. 2. Точити торець 7 попередньо і поверхню 8. 3. Центрувати отвір 9. 4. Свердлити отвір 9. 5. Зенкерувати отвір 9. 6. Розточити отвір 10, фаску 11. 7. Розточити отвір 13. 8. Розточити фаску 12. 9. Нарізати різь в отв. 10. 10. Точити торець 7 остаточно. 11. Зняти заготовку.		Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В340Ф30

Продовження таблиці 2.11

1	2	3
Установ 2 12. Встановити заготовку. 13. Точити торець 14 попередньо і поверхню 15 однократно. 14. Розточити отвір 18, фаску 19. 15. Розточити отвір 17, фаску 21. 16. Розточити фаску 20. 17. Нарізати різь в отв. 18. 18. Розвіртити отвір 16. 19. Точити торець 14 остаточно. 20. Зняти заготовку.		
<u>015 Вертикально-фрезерна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку. 2. Фрезерувати поверхню 22 попередньо. 3. Фрезерувати поверхню 22 остаточно. 4. Цекувати 4 отвори 23. 5. Зняти деталь.		Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК модель ЛТ260МФ3

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

Критерій вибору оптимального варіанта маршруту механічної обробки є мінімум зведених затрат [1]. При виборі варіанта маршруту зведені витрати можуть бути визначені як питомі величини за одну годину роботи обладнання. Розглянемо лише операції, які були змінені в результаті розробки другого варіанту маршруту механічної обробки.

Визначасмо штучно-калькуляційний час [1].

Таблиця 2.12 – Визначення штучно-калькуляційного часу

№ операції	Найменування операції	Основний технологічний час $T_{осн}$, хв	фк	Штучно-калькуляційний час $T_{шт.-к}$, хв
1	2	3	4	5
І варіант				
010	<u>Комбінована:</u> 1. Фрезерувати 2 торці $\varnothing 26$ попередньо	$T_{осн} = 2 \cdot 0,0059 \cdot \ell =$ $= 2 \cdot 0,0059 \cdot 26 = 0,3$	1,35	$T_{шт.-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k =$ $= 0,3 \cdot 1,35 = 0,405$
	2.Центрувати отвір $\varnothing 12H8$	$T_{осн} = 0,00056 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,00056 \cdot 5 \cdot 7,5$ $= 0,021$	1,35	$T_{шт.-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k =$ $= 0,021 \cdot 1,35 = 0,0284$
	3. Свердлити отвір $\varnothing 12H8$	$T_{осн} = 0,00056 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,00056 \cdot 12 \cdot 62 = 0,42$	1,35	$T_{шт.-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k =$ $= 0,42 \cdot 1,35 =$ $= 0,567$
	4. Зенкерувати отвір $\varnothing 12H8$	$T_{осн} = 0,00021 \cdot D \cdot \ell =$ $= 0,00021 \cdot 12 \cdot 62 = 0,16$	1,35	$T_{шт.-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k =$ $= 0,16 \cdot 1,35 = 0,216$
	5. Розточити отвір $\varnothing 16$, фаску 10, отвір $\varnothing 16$, фаску 17	$T_{осн} = 0,00019 \cdot D \cdot \ell_1 +$ $+ 0,00019 \cdot D \cdot \ell_2 + 0,00019$ $\cdot D \cdot \ell_3 + 0,00019 \cdot D \cdot \ell_4 =$ $= 0,00019 \cdot 16 \cdot 4 + 0,00019 \cdot$ $\cdot 16 \cdot 2 + 0,00019 \cdot 16 \cdot$ $\cdot 4 + 0,00019 \cdot 16 \cdot 2 = 0,0365$	1,35	$T_{шт.-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k =$ $= 0,37 \cdot 2,14 = 0,79$
	6. Розточити отвір $\varnothing 16$	$T_{осн} = 0,00019 \cdot D \cdot \ell = 0,00019 \cdot$ $\cdot 16 \cdot 5 = 0,0152$	1,35	$T_{шт.-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k =$ $= 0,0152 \cdot 1,35 =$ $= 0,0205$
	7. Розточити отвір $\varnothing 16$, фаску 19	$T_{осн} = 0,00019 \cdot D \cdot l + 0,00019 \cdot$ $\cdot D \cdot l = 0,00019 \cdot 16 \cdot 5 + 0,00019 \cdot$ $\cdot 16 \cdot 2 = 0,0213$	1,35	$T_{шт.-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k =$ $= 0,0213 \cdot 1,35 =$ $= 0,029$
	8. Розточити фаски 11,18	$T_{осн} = 2 \cdot 0,00019 \cdot D \cdot l =$ $= 2 \cdot 0,00019 \cdot 16 \cdot 1 = 0,0061$	1,35	$T_{шт.-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k =$ $= 0,0061 \cdot 1,35 =$ $= 0,0082$
	9. Нарізати 2 різі М16-6Н	$T_{осн} = 2 \cdot \frac{1}{t_p} \cdot 0,00063 \cdot D \cdot l =$ $= 2 \cdot \frac{1}{1,5} \cdot 0,00063 \cdot 16 \cdot 4 = 0,054$	1,35	$T_{шт.-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k =$ $= 0,054 \cdot 1,35 = 0,073$

Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4	5
	10.Фрезерувати 2 торці ø26 остаточно	$T_{осн} = 2 \cdot 0,0048 \cdot l = 2 \cdot 0,0048 \cdot 26 = 0,25$	1.3 5	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k = 0,25 \cdot 1,35 = 0,338$
	11.Розвіртити отвір ø12H8	$T_{осн} = 0,00088 \cdot D \cdot l = 0,00088 \cdot 12 \cdot 62 = 0,655$	1.3 5	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k = 0,655 \cdot 1,35 = 0,884$
	12.Фрезерувати поверхню 50 мм	$T_{осн} = 0,0059 \cdot l = 0,0059 \cdot 50 = 0,295$	1.35	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k = 0,295 \cdot 1,35 = 0,398$
	13.Цекувати 4 отвори ø11	$T_{осн} = 0,00056 \cdot D \cdot l = 0,00056 \cdot 11 \cdot 7 = 0,173$	1.35	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k = 0,173 \cdot 1,35 = 0,234$
		$\Sigma T_{осн} = 2,41 \text{ хв}$		$\Sigma T_{шт-к} = 3,246 \text{ хв}$
II варіант				
010	<u>Токарно-револьверна з ЧПК:</u> 1.Точити торець ø26 попередньо	$T_{осн} = 0,00045 \cdot D^2 = 0,00045 \cdot 26^2 = 0,03$	1,17	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k = 0,03 \cdot 1,17 = 0,0356$
	2. Центрувати отвір ø12H8	$T_{осн} = 0,00056 \cdot D \cdot l = 0,00056 \cdot 5 \cdot 7,5 = 0,021$	1,17	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k = 0,021 \cdot 1,17 = 0,0246$
	3.Свердлити отвір ø12H8	$T_{осн} = 0,00056 \cdot D \cdot l = 0,00056 \cdot 12 \cdot 62 = 0,42$	1,17	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k = 0,42 \cdot 1,17 = 0,49$
	4. Зенкувати отвір ø12H8	$T_{осн} = 0,00021 \cdot D \cdot l = 0,00021 \cdot 12 \cdot 62 = 0,16$	1,17	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k = 0,16 \cdot 1,17 = 0,19$
	5. Розточити 2 отвори ø16 та фаски 11,10	$T_{осн} = 0,00019 \cdot D \cdot l_1 + 0,00019 \cdot D \cdot l_2 + 0,00019 \cdot D \cdot l_3 + 0,00019 \cdot D \cdot l_4 = 0,00019 \cdot 16 \cdot 4 + 0,00019 \cdot 16 \cdot 5 + 0,00019 \cdot 16 \cdot 2 + 0,00019 \cdot 16 \cdot 1 = 0,0365$	1,17	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k = 0,0365 \cdot 1,17 = 0,043$
	6. Нарізати різь М16-6Н	$T_{осн} = \frac{1}{t_p} \cdot 0,00063 \cdot D \cdot l = \frac{1}{1,5} \cdot 0,00063 \cdot 16 \cdot 4 = 0,027$	1,17	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k = 0,027 \cdot 1,17 = 0,032$
	7.Точити торець ø26 остаточно	$T_{осн} = 0,00011 \cdot D \cdot (D - d) = 0,00011 \cdot 26 \cdot (26 - 16) = 0,29$	1,17	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k = 0,29 \cdot 1,17 = 0,34$
	8. Точити торець ø26 попередньо	$T_{осн} = 0,00011 \cdot D \cdot (D - d) = 0,00011 \cdot 26 \cdot (26 - 12) = 0,0164$	1,17	$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \varphi_k = 0,0164 \cdot 1,17 = 0,0192$

Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4	5
	9.Розточити 2 отвори $\varnothing 16$, 3 фаски	$T_{\text{очн}} = 0.00019 \cdot D \cdot l_1 + 0.00019 \cdot D \cdot l_2 +$ $+ 0.00019 \cdot D \cdot l_3 + 0.00019 \cdot D \cdot l_4 =$ $= 0.00019 \cdot 16 \cdot 4 + 0.00019 \cdot 16 \cdot 5 +$ $+ 2 \cdot 0.00019 \cdot 16 \cdot 2 + 0.00019 \cdot 16 \cdot 1 =$ $= 0.043$	1.17	$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{очн}} \cdot \varphi_{\kappa} =$ $= 0.043 \cdot 1.17 = 0.05$
	10.Нарізати різь М16-6Н	$T_{\text{очн}} = \frac{1}{t_p} \cdot 0.00063 \cdot D \cdot l =$ $= \frac{1}{1.5} \cdot 0.00063 \cdot 16 \cdot 4 = 0.027$	1.17	$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{очн}} \cdot \varphi_{\kappa} =$ $= 0.027 \cdot 1.17 = 0.032$
	11.Розвіртити отвір $\varnothing 12\text{H}8$	$T_{\text{очн}} = 0.00088 \cdot D \cdot l = 0.00088 \cdot$ $\cdot 12 \cdot 62 = 0.655$	1.17	$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{очн}} \cdot \varphi_{\kappa} =$ $= 0.655 \cdot 1.17 = 0.766$
	12.Точити торець $\varnothing 26$	$T_{\text{очн}} = 0.00011 \cdot D \cdot (D - d) =$ $= 0.00011 \cdot 26 \cdot (26 - 16) = 0.29$	1.17	$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{очн}} \cdot \varphi_{\kappa} =$ $= 0.29 \cdot 1.17 = 0.34$
		$\sum T_{\text{очн}} = 2 \text{ хв}$		$\sum T_{\text{шт-к}} = 2.66 \text{ хв}$
015	<u>Вертикально-фрезерна з ЧПК:</u> 1.Фрезерувати поверхню 50 мм	$T_{\text{очн}} = 0.0059 \cdot l = 0.0059 \cdot 50 =$ $= 0.295$	1.25	$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{очн}} \cdot \varphi_{\kappa} =$ $= 0.295 \cdot 1.25 = 0.369$
	2. Цекувати 4 отвори $\varnothing 11$.	$T_{\text{очн}} = 0.00056 \cdot D \cdot l = 0.00056 \cdot$ $\cdot 11 \cdot 7 = 0.173$	1.25	$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{очн}} \cdot \varphi_{\kappa} =$ $= 0.173 \cdot 1.25 = 0.216$
		$\sum T_{\text{очн}} = 0.468 \text{ хв}$		$\sum T_{\text{шт-к}} = 0.585 \text{ хв}$

Цехова собівартість операцій механічної обробки [1]:

$$C_o = \frac{C_{\text{из}} \cdot T_{\text{шт-к}}}{60 \cdot K_B}, \text{ (грн.)} \quad (2.20)$$

Отже:

$$C_{0I(010)} = \frac{65 \cdot 3.246}{60 \cdot 1.3} = 2.7 \text{ (грн.)}$$

$$C_{0II(010)} = \frac{C_{\text{пз}} \cdot T_{\text{шт-к}}}{60 \cdot K_B} = \frac{39 \cdot 2.66}{60 \cdot 1.3} = 1.33 \text{ (грн.)}$$

$$C_{0III(015)} = \frac{C_{\text{пз}} \cdot T_{\text{шт-к}}}{60 \cdot K_B} = \frac{36.5 \cdot 0.585}{60 \cdot 1.3} = 0.27 \text{ (грн.)}$$

$$E = (C_{0I(010)} - C_{0II(010+015)}) \cdot N = (2,7 - 1,6) \cdot 8200 = 9020 \text{ (грн)}$$

Висновок: Собівартість механічної обробки по варіанту маршруту №1 більша, ніж по варіанту №2, отже приймаємо для подальших розрахунків варіант №2.

2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу

2.8.1 Вибір розташування технологічних розмірів

Технологічні розміри $B_1, B_2 \dots$ проставляються на розмірній схемі від вибраних баз в сторону механічної обробки [1]. Вибір баз значною мірою впливає на розташування технологічних розмірів.

Чим коротший розмірний ланцюг, тим менший допуск замикаючої ланки. При співпаданні конструкторської та технологічної бази похибка базування $\varepsilon_b = 0$. Цей варіант вибору баз є оптимальним. При цьому не має потреби проводити додаткові розрахунки для визначення технологічних розмірів.

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

2.8.2 Попереднє призначення допусків технологічних розмірів

Допуски розмірів заготовки призначаємо, виходячи з точності механічної обробки [1].

Попередньо призначені допуски в подальшому необхідно корегувати в залежності від допуску замикаючої ланки $K_1, K_2 \dots$

Значення допусків технологічних розмірів зводимо в таблицю 2.13.

Таблиця 2.13 – Допуски розмірів вихідної заготовки і технологічних розмірів

Вихідна заготовка			
Розмір	Спосіб виготовлення	Клас розмірної точності	Допуск, мм
1	2	3	4
3_1	Листовий прокат	H13	0,39
Механічна обробка			
B1	Попереднє фрезерування	11	0,16
B2	Розсвердлювання	12	0,12
B3	Цекування	14	0,23
B4	Остаточне фрезерування	10	0,1
B5	Фрезерування	10	0,084
B6	Цекування	14	0,36

2.8.3 Розмірна схема технологічного процесу

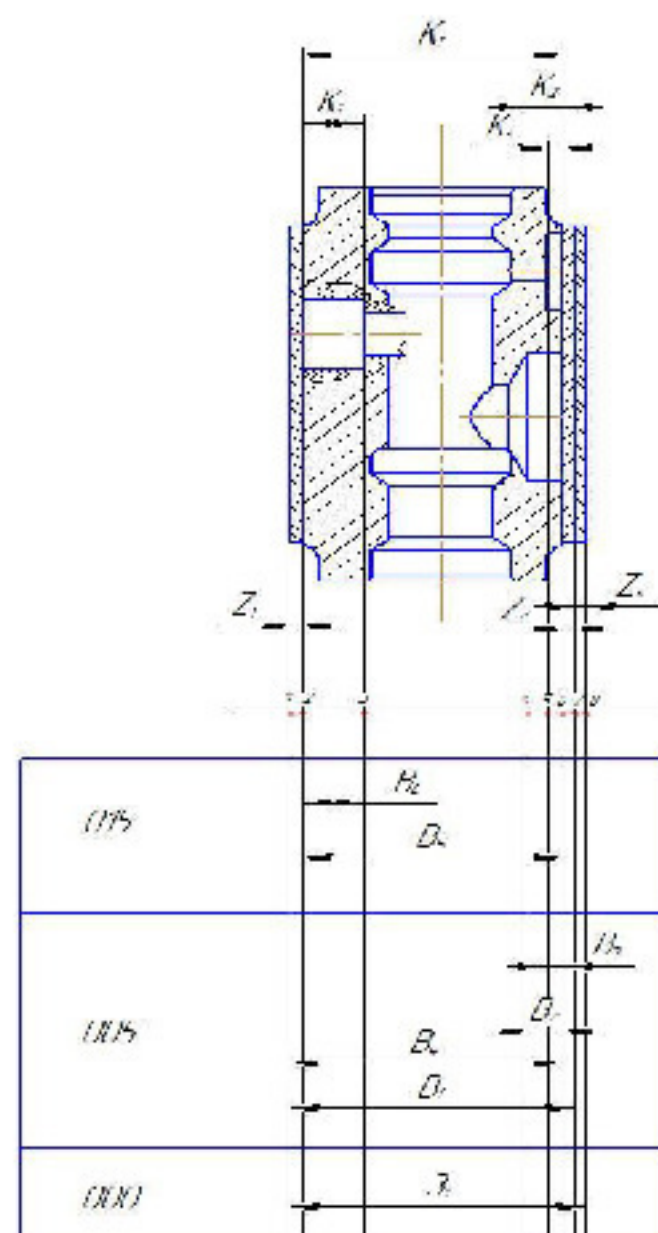


Рисунок 2.8 – Розмірна схема технологічного процесу

2.8.4 Побудова похідного, вихідного графів-дерев і суміщеного графа

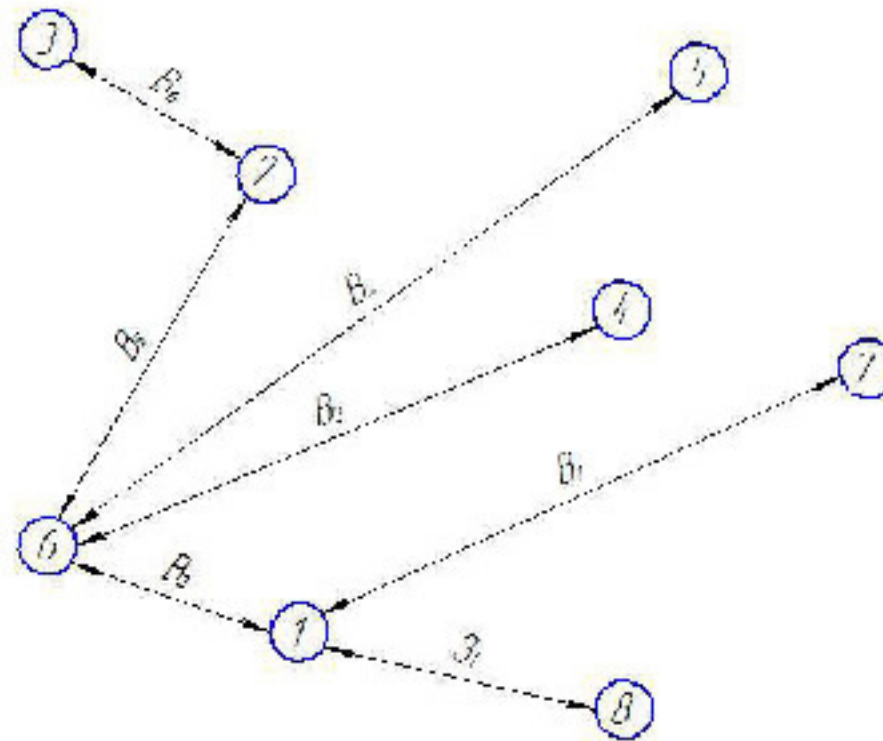


Рисунок 2.9 – Похідний граф-дерево

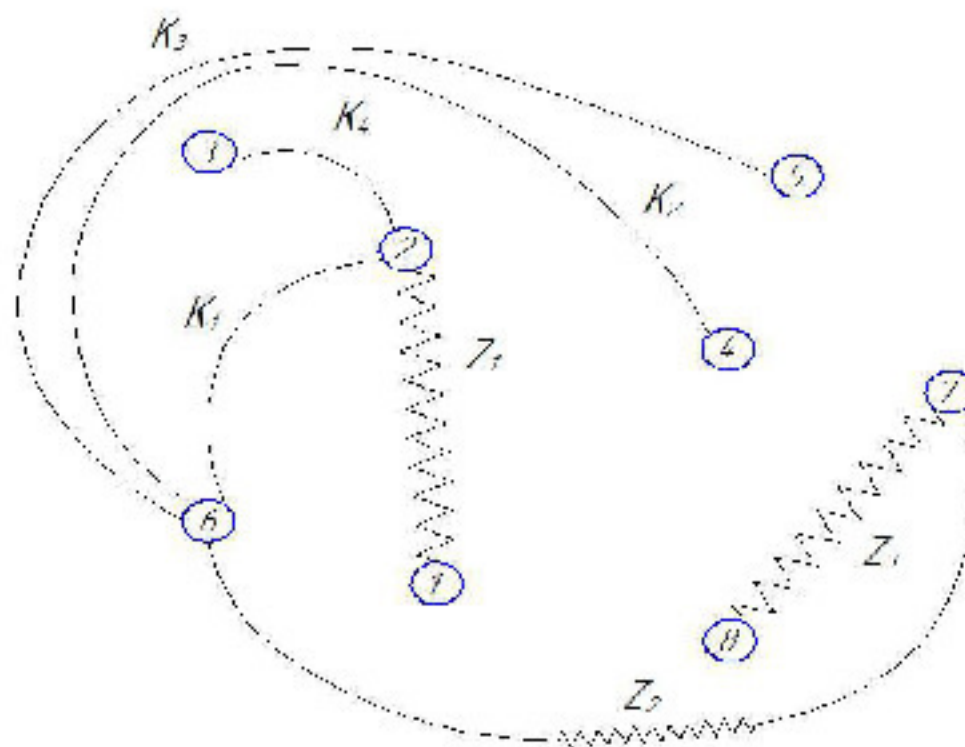


Рисунок 2.10 – Вихідний граф-дерево

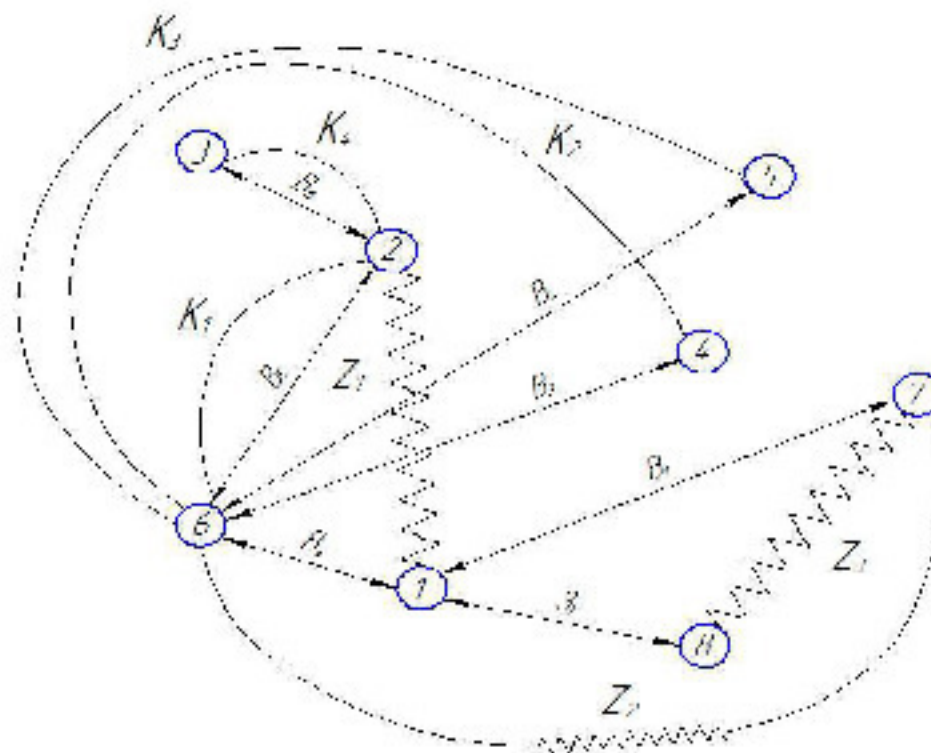


Рисунок 2.11 – Суміщений граф

2.8.5 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

Таблиця 2.14 – Мінімальні проміжні припуски на обробку плоских поверхонь [5]

Позначення припуску	Спосіб обробки, під час виконання якої знімається припуск	Кількісне значення мінімального припуску, мм
Z_1	Однократне фрезерування	3
Z_2	Остаточне фрезерування	0,5
Z_3	Попереднє фрезерування	2,5

2.8.6 Складання рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Таблиця 2.15 – Рівняння технологічних розмірних ланцюгів

№ рівняння	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що визначається
1	$K_1 - B_5 = 0$	$K_1 = B_5$	B_5
2	$K_4 + B_6 = 0$	$K_4 = B_6$	B_6
3	$-K_2 + B_3 = 0$	$K_2 = B_3$	B_3
4	$-K_3 + B_4 = 0$	$K_3 = B_4$	B_4
5	$-Z_1 + B_2 - B_5$	$Z_1 = B_2 - B_5$	B_2
6	$-Z_2 - B_2 + B_1$	$Z_2 = B_1 - B_2$	B_1
7	$Z_3 - Z_1 + B_1$	$Z_3 = Z_1 - B_1$	Z_1

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

$$K_1=B_5=30_{-0,084} \text{ мм};$$

$$K_4=B_6=7_{-0,36} \text{ мм};$$

$$K_2=B_3=4_{-0,3} \text{ мм};$$

$$K_3=B_4=1,85^{+0,1} \text{ мм}.$$

Оскільки невідомою у цьому рівнянні є ланка B_2 , то запишемо його відносно цієї ланки:

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

Підставивши числові значення відомих ланок, отримаємо

$$B_{2\min}=B_{5\max}+Z_{1\min}=30+3=33 \text{ (мм)};$$

$$B_{2\max}=B_{2\min}+T(B_4)=33+0,1=33,1 \text{ (мм)};$$

$$Z_{1\max}=B_{2\max}-B_{5\min}=33,1-29,916=3,184 \text{ (мм)};$$

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

$$B_{1\min}=B_{2\max}+Z_{2\min}=33,1+0,5=33,6 \text{ (мм)};$$

$$B_{1\max}=B_{1\min}+T(B_1)=33,6+0,14=33,74 \text{ (мм)};$$

$$Z_{2\max}=B_{1\max}-B_{2\min}=33,74-33=0,74 \text{ (мм)};$$

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

$$3_{1\min}=B_{1\max}+Z_{3\min}=33,74+2,5=36,24 \text{ (мм)};$$

$$3_{1\max}=3_{1\min}+T(3_1)=36,24+0,39=36,63 \text{ (мм)};$$

$$3_1 = \frac{3_{1\max} + 3_{1\min}}{2} = \frac{36,63 + 36,24}{2} = 36,435 \text{ (мм)};$$

$$Z_{3\max}=3_{1\max}-B_{1\min}=36,63-33,6=3,03 \text{ (мм)}.$$

Отримані значення максимальних припусків зведемо в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Максимальні припуски, мм

$Z_{1\max}$	$Z_{2\max}$	$Z_{3\max}$
3,184	0,74	3,03

Остаточні значення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки та допуски цих розмірів показані у таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Значення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки та допуски цих розмірів, мм

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номинальний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
	мінімальний розмір	максимальний розмір				
B_1	33,6	33,74	0,14	33,5	$33,5 \pm 0,08$	—
B_2	33	33,1	0,1	33	$33_{-0,1}$	—
B_3	3,7	4	0,3	4	$4_{-0,3}$	—
B_4	1,85	1,86	0,1	1,85	$1,85^{+0,1}$	—
B_5	29,916	30	0,084	30	$30_{-0,084}$	—
B_6	6,64	7	0,36	7	$7_{-0,36}$	—
3_1	36,24	36,63	0,39	36,39	—	$36_{-0,39}$

2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

2.9.1 Визначення розрахунково-аналітичним методом проміжних припусків на механічну обробку циліндричної поверхні Ø12H8 і технологічних розмірів на обробку цієї поверхні.

Визначимо елементи мінімального припуску для всіх переходів обробки отвору [1].

Значення R_z і h після свердління спіральними свердлами складають відповідно 40 мкм і 60 мкм.

Значення R_z і h після зенкерування складає 30 мкм і 40 мкм.

Значення R_z і h після розвірчування складає 5 мкм і 10 мкм.

Для отворів, отриманих свердлінням, просторове відхилення $\rho_{\text{заг}}$ визначається за формулою:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{C_0^2 + (\Delta_k \cdot l)^2}, [\text{мкм}] \quad (2.21)$$

де $C_0=20$ мкм, $\Delta_k=1,3$ мкм/мм.

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{20^2 + (1,3 \cdot 62)^2} = 83,044 \text{ (мкм)}$$

Залишкові просторові відхилення після свердління та зенкерування:

- після першого попереднього: $\rho_1 = 0,05 \cdot 83,044 = 4,1522$ (мкм);
- після другого попереднього: $\rho_2 = 0,05 \cdot 4,1522 = 0,21$ (мкм).

Похибка встановлення при свердлінні і усі її складові (похибка базування, похибка закріплення, похибка пристрою) відсутні, оскільки під час свердління видаляється напуск, а не припуск.

Виконаємо розрахунок мінімальних значень проміжних припусків за формулою [1]:

$$2z_{\min i} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{\text{в}i}^2} \right) \quad (2.22)$$

Мінімальний припуск для зенкерування

$$2z_{\min 2} = 2(40 + 60 + 83) = 2 \cdot 183 \text{ (мкм)}.$$

Мінімальний припуск для розвірчування

$$2z_{\min 3} = 2(30 + 40 + 4) = 2 \cdot 74 \text{ (мкм)}.$$

Знаходимо значення розрахункового розміру d_p для усіх переходів.

- для розвірчування $d_{p_3} = 12,027 \text{ (мм)}$;
- для зенкерування: $d_{p_2} = 12,027 - 2 \cdot 0,074 = 11,88 \text{ (мм)}$;
- для свердління: $d_{p_1} = 11,88 - 2 \cdot 0,183 = 11,52 \text{ (мм)}$.

Знаходимо граничні розміри:

- для розвірчування:

$$d_{\max} = 12,027 \text{ (мм)};$$

$$d_{\min} = 12,027 - 0,027 = 12,00 \text{ (мм)}.$$

- для зенкерування:

$$d_{\max} = 11,8742 \text{ (мм)};$$

$$d_{\min} = 11,8742 - 0,043 = 11,8312 \text{ (мм)}$$

- для свердління:

$$d_{\max} = 11,4262 \text{ (мм)};$$

$$d_{\min} = 11,4262 - 0,086 = 11,3402 \text{ (мм)}.$$

Знаходимо граничні значення припусків за формулами:

$$2Z_{\min}^{\text{rp}} = d_{\max i} - d_{\max i-1}; \quad 2Z_{\max}^{\text{rp}} = d_{\min i} - d_{\min i-1} \text{ [мм]}, \quad (2.23)$$

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

Припуски і граничні розміри для обробки отвору $\varnothing 20H8$ показані в таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Припуски і граничні розміри для обробки отвору $\varnothing 20H8$

Технологічні переходи обробки отвору $\varnothing 20H8(^{+0,022})$	Елементи припуску, мкм				Розрахований мінімальний припуск $2z_{\min}$, мкм	Розрахунковий розмір d_p , мм	Допуск T , мкм	Граничні значення технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	h	ρ	ε_B				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2z_{\min}$	$2z_{\max}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Фрезерування по контуру	40	60	20,66	-	2·192,3	19,5	104	19,394	19,5	-	-
Розточування попереднє	30	40	1,033	-	2·74,6	19,88	52	19,828	19,88	2·380	2·434
Розточування остаточне	5	10	-	-	2·15,2	20	33	12	22,033	2·33	2·120
Загальний припуск										2·413	2·554

Припуски і граничні розміри для обробки отвору $\varnothing 6,5H8$ показані в таблиці 2.20.

Таблиця 2.20 – Припуски і граничні розміри для обробки отвору $\varnothing 6,5H8$

Технологічні переходи обробки отвору $\varnothing 6,5H8(^{+0,022})$	Елементи припуску, мкм				Розрахований мінімальний припуск $2z_{\min}$, мкм	Розрахунковий розмір d_p , мм	Допуск T , мкм	Граничні значення технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	h	ρ	$\varepsilon_{\hat{a}}$				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2z_{\min}$	$2z_{\max}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Свердління	40	60	43,8	-	2·200	5,972	72	5,9	5,972	-	-
Зенкерування	30	40	2,19	-	2·75	6,372	36	6,336	6,372	2·400	2·436
Розвірчування	5	10	-	-	2·15,25	6,5	22	6,5	6,522	2·22	2·128
Загальний припуск										2·422	2·564

2.10 Призначення режимів різання

Приведемо приклад аналітичного розрахунку режимів різання для фрезерування, точіння торця та свердління [13-15].

Операція 015. Вертикально-свердлильна з ЧПК.

Модель верстата – ЛТ260МФ3.

Потужність електродвигуна головного руху – 4,7 кВт.

Регулювання частоти обертання шпинделя – ступінчасте.

На переході 1 виконується однократне фрезерування площини, при цьому глибина фрезерування складає, $t=3$ мм.

Ріжучий інструмент: торцева фреза з механічним кріпленням п'ятигранних твердосплавних пластин; діаметр фрези – $\varnothing 63$; кількість зубців фрези, $z = 4$; матеріал ріжучої частини – Т15К6; головний кут в плані, $\varphi = 60^\circ$.

Призначаємо подачу на зуб, $s_z = 0,03 \dots 0,05$. Приймаємо $s_z = 0,03$ мм/зуб.

Визначаємо швидкість різання за формулою:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v \text{ [м/хв.]}, \quad (2.26)$$

де $C_v = 332$; $q = 0,2$; $m = 0,2$; $x = 0,1$; $y = 0,4$; $u = 0,2$; $p = 0$ – коефіцієнти для розрахунку швидкості різання;

B – ширина фрезерування, $B = 42$ мм;

T – період стійкості інструмента, $T = 180$ хв;

K_v – загальний поправковий коефіцієнт для швидкості різання, який враховує фактичні умови різання,

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Iv} \cdot K_{Hv}, \quad (2.27)$$

де K_{Mv} – коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу, $K_{Mv} = 1,2$;

K_{Iv} – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки, $K_{Iv} = 1$;

K_{Hv} – коефіцієнт, який враховує матеріал інструмента, $K_{Hv} = 1$.

$$K_v = 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 1,2.$$

$$v = \frac{332 \cdot 63^{0,2}}{180^{0,2} \cdot 3^{0,1} \cdot 0,03^{0,4} \cdot 42^{0,2} \cdot 8^0} \cdot 1,2 = 557 \text{ (м/хв.)}$$

Визначаємо частоту обертання за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \text{ [об/хв.]}, \quad (2.28)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 557}{\pi \cdot 63} = 2819 \text{ (об/хв.)}$$

Так як регулювання ступінчасте і максимальна частота обертання шпинделя 1600 об/хв, то приймаємо максимальне значення для подальших розрахунків.

Визначаємо хвилинну подачу за формулою:

$$s_{\text{хв}} = s \cdot n, \text{ [мм/хв.]}; \quad (2.29)$$

$$s_{\text{хв}} = 0,2 \cdot 1600 = 320 \text{ (мм/хв.)}.$$

Визначаємо осьову силу різання під час фрезерування за формулою:

$$P_z = \frac{10 C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{\text{mp}}, [\text{H}] \quad (2.30)$$

де $C_p = 825$; $x = 1$; $q = 1,3$; $y = 0,75$; $u = 1,1$; $w = 0,2$ – коефіцієнти для розрахунку сили різання;

K_{mp} – коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу,

$$K_{\text{mp}} = 0,88.$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 3^1 \cdot 0,03^{0,75} \cdot 42^{1,1} \cdot 4}{63^{1,3} \cdot 1600^{0,2}} \cdot 0,88 = 401 \text{ (Н)}.$$

Визначаємо потужність різання при заданих режимах різання за формулою:

$$N_{\text{рв}} = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} [\text{кВт}], \quad (2.31)$$

$$N_{pis} = \frac{401 \cdot 557}{1020 \cdot 60} = 3,6 \text{ (кВт)}.$$

Висновок $N_{верст} = 4,7 \text{ кВт} > N_{pis} = 3,6 \text{ кВт}$.

Операція 010. Токарно-револьверна.

Модель верстата – 1В340Ф30.

Потужність електродвигуна головного руху – 15 кВт.

Регулювання частоти обертання шпинделя – безступінчасте.

На переході 1 виконується попереднє точіння торця, при цьому максимальна глибина різання складає, $t=2$ мм.

Ріжучий інструмент: прохідний різець з твердосплавною пластинкою; геометричні параметри різця $\varphi=30^\circ$, $\gamma=10^\circ$, $\lambda=5^\circ$.

Призначаємо подачу, $s=0,4-0,5$ мм/об. Приймаємо $s=0,4$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання за формулою:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v, \text{ [м/хв.]} \quad (2.32)$$

де $C_v=350$; $x=0,15$; $y=0,35$; $m=0,2$.

За формулою 2.30 визначаємо поправковий коефіцієнт для швидкості різання при точінні.

$$K_v = 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 1,2$$

$$v = \frac{350}{180^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,4^{0,35}} \cdot 1,2 = 185 \text{ (м/хв)}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}, \text{ [об/хв.]}; \quad (2.33)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 185}{\pi \cdot 33} = 1785 \text{ (об/хв.)}$$

Визначаємо силу різання при точінні:

$$P_{z,y,x} = 10C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot \vartheta^n \cdot K_p \text{ [H]}, \quad (2.34)$$

Коефіцієнти та степені складових сил різання занесемо в таблицю 2.21.

Таблиця 2.21 – Коефіцієнти та степені складових сил різання

Складові сили різання	Коефіцієнти та степені								
	K_{mp}	$K_{\varphi p}$	$K_{\gamma p}$	$K_{\lambda p}$	K_{rp}	C_p	x	y	n
P_z	0,78	1,08	1	-	-	300	1	0,75	-0,15
P_y	0,78	1,3	1	1,25	-	243	0,9	0,6	-0,3
P_x	0,78	0,78	1	0,85	-	339	1	0,5	-0,2

Загальний поправковий коефіцієнт для сили різання визначаємо за формулою:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} \quad (2.35)$$

$$K_{pz} = 0,78 \cdot 1,08 \cdot 1 = 0,84;$$

$$K_{py} = 0,78 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1,25 = 1,3;$$

$$K_{px} = 0,78 \cdot 0,78 \cdot 1 \cdot 0,85 = 0,52.$$

Тепер за формулою 2.37 знаходимо складові сили різання.

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2^1 \cdot 0,4^{0,75} \cdot 185^{-0,15} \cdot 0,84 = 1158 \text{ (H)},$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 2^{0,9} \cdot 0,4^{0,6} \cdot 185^{-0,3} \cdot 1,3 = 710 \text{ (H)},$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 2^1 \cdot 0,4^{0,5} \cdot 185^{-0,2} \cdot 0,52 = 785 \text{ (H)}.$$

Визначаємо потужність різання при заданих режимах різання за формулою:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot \vartheta}{1020 \cdot 60}, [\text{кВт}] \quad (2.36)$$

$$N_{\text{різ}} = \frac{1158 \cdot 185}{1020 \cdot 60} = 3,5 \text{ (кВт)}.$$

Висновок $N_{\text{верст}} = 15 \text{ кВт} > N_{\text{різ}} = 3,5 \text{ кВт}$.

Перехід 3. Свердління отвору Ø12.

Ріжучий інструмент: свердло 2301-0039 Ø12 мм; матеріал ріжучої частини – P6M5.

Глибина різання, $t = 6$ мм.

Призначаємо подачу, $s = 0,08-0,2$ мм/об. Приймаємо $s = 0,11$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання при свердлінні за формулою:

$$\vartheta = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot s^y} \cdot K_v, [\text{м/хв}] \quad (2.37)$$

де $C_v = 7$; $q = 0,4$; $y = 0,7$; $m = 0,2$; $T = 45 \text{ хв}$.

Поправковий коефіцієнт K_v визначаємо за формулою 2.30

$$K_v = 1,2 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,84,$$

$$\vartheta = \frac{7 \cdot 12^{0,4}}{45^{0,2} \cdot 0,11^{0,7}} \cdot 0,84 = 35 \text{ (м/хв)}.$$

Визначаємо крутний момент при свердлінні:

$$M_{\text{кр}} = 10C_M \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p [\text{Н} \cdot \text{м}], \quad (2.38)$$

де $C_M = 0,0345$; $q = 2$; $y = 0,8$; $K_p = 0,78$.

$$M_{kp} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 12^2 \cdot 0,11^{0,8} \cdot 0,78 = 6,63 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Визначаємо осьову силу різання при свердлінні за формулою:

$$P_o = 10C_p \cdot D^q \cdot s^y K_p [H], \quad (2.39)$$

де $C_p=68$; $q=1$; $y=0,7$; $K_p=0,78$.

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 12^1 \cdot 0,11^{0,7} \cdot 0,78 = 1385 \text{ (Н)}.$$

Частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою 2.36.

$$n = \frac{1000 \cdot 35}{\pi \cdot 12} = 930 \text{ (об/хв)}.$$

Визначаємо потужність різання при свердлінні по заданих режимах різання за формулою:

$$N_e = \frac{M_{kp} \cdot n}{9750} \text{ [кВт]}, \quad (2.40)$$

$$N_e = \frac{6,63 \cdot 930}{9750} = 0,63 \text{ (кВт)}.$$

Висновок $N_{\text{верст}} = 5,5 \text{ кВт} > N_{\text{різ}} = 0,63 \text{ кВт}$

Режими різання визначаємо за нормативними таблицями [13-15]

Операція 005 перехід 1 – фрезерування поверхні торцевою фрезою $D=63$ мм, кількість зубів $Z=4$, марка інструменту T15K6.

Знаходимо швидкість різання:

$$V=V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \text{ [м/хв]}, \quad (2.41)$$

де $V_{\text{табл}}$ – табличне значення швидкості різання;

K_1 – коефіцієнт, який залежить від розмірів обробки;

K_2 – коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу;

K_3 – коефіцієнт, який залежить від стійкості та матеріалу інструменту.

При $S_z=0,06$ мм/зуб, $t=2,5$ мм, $V_{\text{табл}}=340$ м/хв.

При матеріалі фрези Т15К6 та стійкості інструменту $T_p=100$ хв, $K_1=1$; $K_2=0,9$; $K_3=1$.

Отже,

$$V=340 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1=306 \text{ (м/хв.)}$$

Знаходимо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \text{ [об/хв]}, \quad (2.42)$$

де D – діаметр фрези;

V – швидкість різання.

$$n = \frac{1000 \cdot 306}{3,14 \cdot 63} = 1550 \text{ (об/хв)}$$

Знаходимо потужність різання:

$$N_{\text{різ}} = E \cdot \frac{V \cdot t \cdot z}{1000} \cdot K_1 \cdot K_2 \text{ [кВт]}, \quad (2.43)$$

де E – коефіцієнт, який залежить від відношення D/b_{max} ;

V – швидкість різання.

K_1 – коефіцієнт, який залежить від розмірів обробки;

K_2 – коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу;

t – глибина різання;

z – кількість зубів.

$$N_{\text{різ}} = 0,9 \cdot \frac{306 \cdot 2,5 \cdot 4}{1000} \cdot 1,3 \cdot 0,9 = 3,58 \text{ (кВт)}.$$

Висновок $N_{\text{верст}} = 5,5 \text{ кВт} > N_{\text{різ}} = 3,58 \text{ кВт}$

Операція 005 перехід 3 – свердлити отвір $\varnothing 10$ мм.

Знаходимо швидкість різання:

$$V = V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \text{ [м/хв]}, \quad (2.44)$$

де $V_{\text{табл}}$ – табличне значення швидкості різання;

K_1 – коефіцієнт, який залежить від розмірів обробки;

K_2 – коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу;

K_3 – коефіцієнт, який залежить від стійкості та матеріалу інструменту.

При $S_o=0,25$ мм/об; $d=10$ мм; $V_{\text{табл}}=17$ м/хв.

При матеріалі свердла Р6М5 та стійкості інструменту $T_p=100$ хв, $K_1=0,75$; $K_2=1$; $K_3=1$.

Отже,

$$V = 17 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 = 13 \text{ (м/хв.)}$$

Знаходимо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \text{ [об/хв.]}, \quad (2.45)$$

де D – діаметр свердла;

V – швидкість різання.

$$n = \frac{100 \cdot 13}{3,14 \cdot 10} = 414 \text{ (об/хв.)}.$$

Знаходимо потужність різання:

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{табл}} \cdot K_N \cdot \frac{n}{1000} \text{ [кВт]}, \quad (2.46)$$

де $N_{\text{табл}}$ – табличне значення потужності;

K_N – коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу;

n – частота обертання шпинделя.

$$N_{\text{різ}} = 0,9 \cdot 1,15 \cdot \frac{414}{1000} = 0,43 \text{ (кВт)}.$$

Висновок $N_{\text{верст}} = 5,5 \text{ кВт} > N_{\text{різ}} = 0,43 \text{ кВт}$

Аналогічно визначаються режими різання для усіх інших операцій, дані заносимо до таблиць 2.22, 2.23, 2.24.

Таблиця 2.22 – Режими різання операція 005 Комбінована з ЧПК (верстат ЛТ260МФ3)

Технологічні переходи і робочі ходи	d , мм	B , мм	t , мм	t_{max} , мм	s , мм/об	s_z , мм/зуб	z	$s_{\text{хв}}$, мм/хв	v , м/хв	$N_{\text{різ}}$, кВт	n , об/хв	L , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 перехід Фрезерувати площину 1 попередньо.	63	42	2,5		12,2	0,06	4	288	306	3,58	1550	67,4
2 перехід Центрувати 3 отворів 2.	2	–	1	–	0,11	–	–	–	12	–	1910	1,5
3 перехід Свердлити отвір 3.	10	–	5	–	0,25	–	–	–	13	0,43	414	8

Продовження таблиці 2.22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>4 перехід</i> Розсвердлити отвір 2	20	-	5	-	0,38	-	-	-	13,5	1,36	215	4
<i>5 перехід</i> Свердлити отвір 5	3	-	1,5	-	0,08	-	-	-	23	0,07	2440	6
<i>6 перехід</i> Цекувати отвір 4	12	-	0,6	-	0,11	-	-	-	33	0,17	875	1,85
<i>7 перехід</i> Свердлити 4 отвори 6	6,5	-	3,2 5	-	0,11	-	-	-	25	0,25	1225	33,5
<i>8 перехід</i> Фрезерувати площину 1 остаточно.	63	42	0,5	-	11,2	0,05	8	286	292	1,6	1909	67,4
<i>9 перехід</i> Зенкувати отвір 2	20	-	1	-	0,45	-	-	-	16	0,1	637	4
<i>10 перехід</i> Розвітрити отвір 2	20	-	0,1	-	0,75	-	-	-	21	0,1	335	4
<i>11 перехід</i> Зенкувати 4 отвори 6	6,5	-	0,3 25	-	0,2	-	-	-	34	0,5	1666	33
<i>12 перехід</i> Розвернути Отвори 5	6,5	-	0,0 325	-	1	-	-	-	18	0,5	882	33

Таблиця 2.23 – Режими різання операція 010 Комбінована з ЧПК (верстат 1В340Ф30)

Технологічні переходи і робочі ходи	d , мм	t , мм	$t_{\max}$, мм	s , мм/об	v , м/хв	$N_{\text{рв}}$, кВт	n , об/хв	L , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>1 перехід</i> Точити торець 7 попередньо і поверхню 8 однократно	28	2	—	0,4	185	3,5	1785	33
<i>2 перехід</i> Центрувати отвір 9	2	—	1,5	0,11	27	-	1720	1,5
<i>3 перехід</i> Свердлити отвір 9	12	6	-	0,11	35	0,63	930	65,4
<i>4 перехід</i> Зенкерувати отвір 9	12	-	—	0,2	34	—	900	65,4
<i>5 перехід</i> Розточити отвори 10,13,фаски 11,12	16 16 2 1	2	—	0,2	180		1910 1910 1910 1910	5 5 2 1
<i>6 перехід</i> Нарізати різь в отворі 10	16	-	—	1	12	-	240	4
<i>7 перехід</i> Точити торець 7 остаточно	26	0,7	—	0,15	180	—	2000	26
<i>8 перехід</i> Точити торець 14 попередньо і поверхню 15 однократно	26	2	—	0,4	185	—	1785	33
<i>9 перехід</i> Розточити отвори 17,118,фаски 19,20,21	16 16 2 2 1	-	—	0,2	180	-	1910	4 4 2 2 1
<i>10 перехід</i> Нарізати різь 18	16	-	—	1	12	-	240	4

Продовження таблиці 2.23

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>11 перехід</i> Розвіртити отвір 16	12	-	—	1	18	—	900	62,7
<i>12 перехід</i> Точити торець 14 остаточно	26	0,7	—	0,15	180	—	2000	26

Таблиця 2.24 – Режими різання операція 015 Вертикально-фрезерна з ЧПК (ЛТ260МФ3)

Технологічні переходи і робочі ходи	d , мм	B , мм	t мм	$t_{\max}$ мм	s , мм /об	s_z , мм/з уб	z	$s_{\text{хв}}$ мм /хв	v , м/х в	$N_{\text{рв}}$ кВт	n , об/хв	L , м м
<i>1 перехід</i> Фрезерувати площину 1 попередньо.	63	42	3	3	12,2	0,03	4	320	557	3,6	1600	50
<i>2 перехід</i> Фрезерувати площину 1 остаточно.	63	42	0,3	0,3	12,2	0,03	4	320	570	3,6	1800	50
<i>3 перехід</i> Цекувати 4 отвори 6.	11	-	6,5	—	0,11	—	—	—	33	—	875	7

2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання

За допомогою програми «Оптимізація режиму різання при торцевому фрезеруванні» [1] розраховуємо оптимальні режими різання на переході 2 операції 005.

Матеріал заготовки – Сталь 35, так як даного матеріалу не має в наявній програмі, тому будемо використовувати наближену по характеристикам сталь 45 (рис. 2.12).

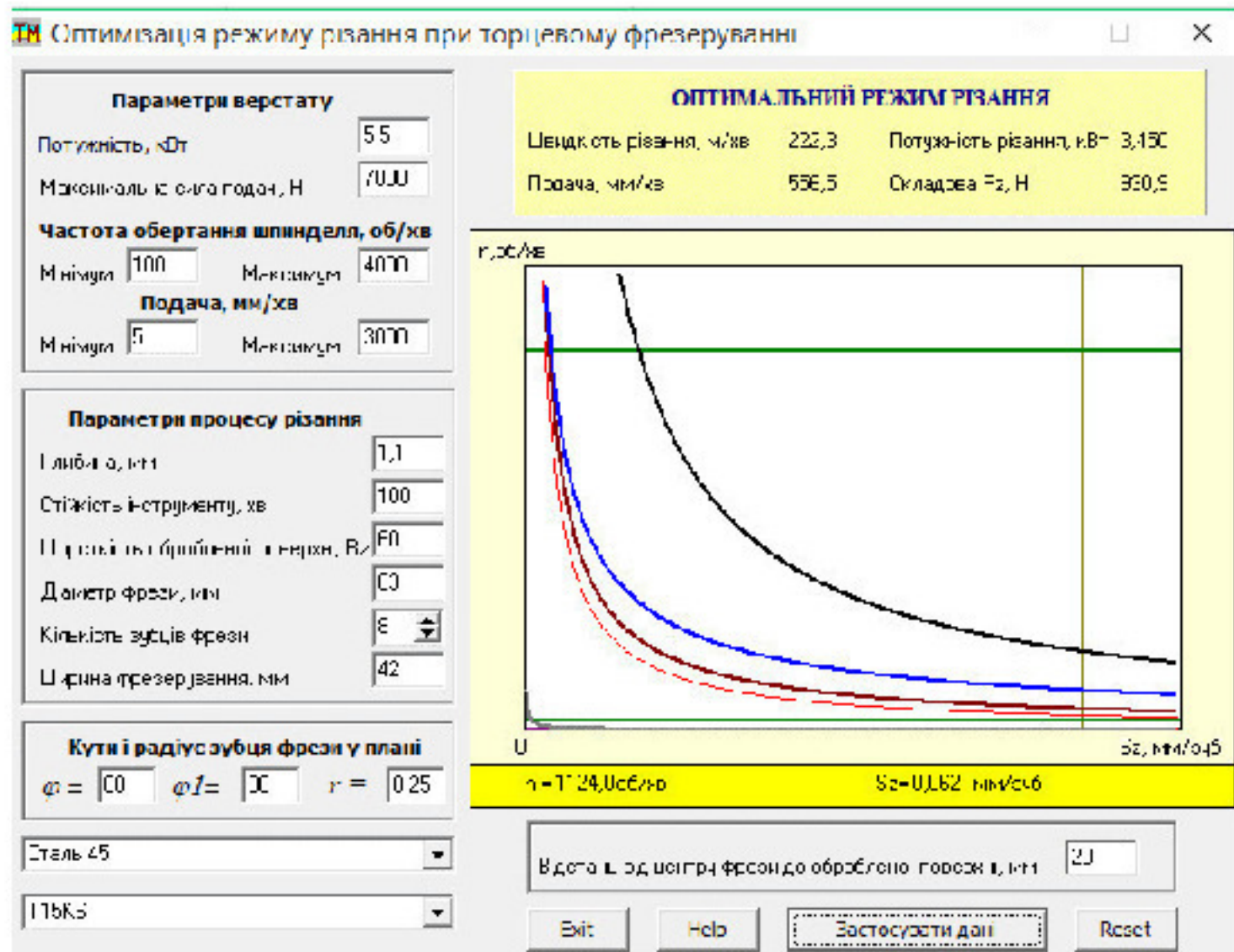


Рисунок 2.12 – Вікно оптимізації режимів різання на переході 2 операції 005

Зробивши аналіз отриманих даних видно, що оптимальним режимом різання на переході 2 операції 005 будуть такі дані:

Швидкість різання – 222,3 м/хв;

Подача – 556,5 мм/хв;

Потужність різання – 3,45 кВт;

Складова P_z (сила різання) – 930,9 Н.

За допомогою програми «Оптимізація режимів різання при точінні» [1] розраховуємо оптимальні режими різання на переході 5 операції 010 (рис. 2.13).

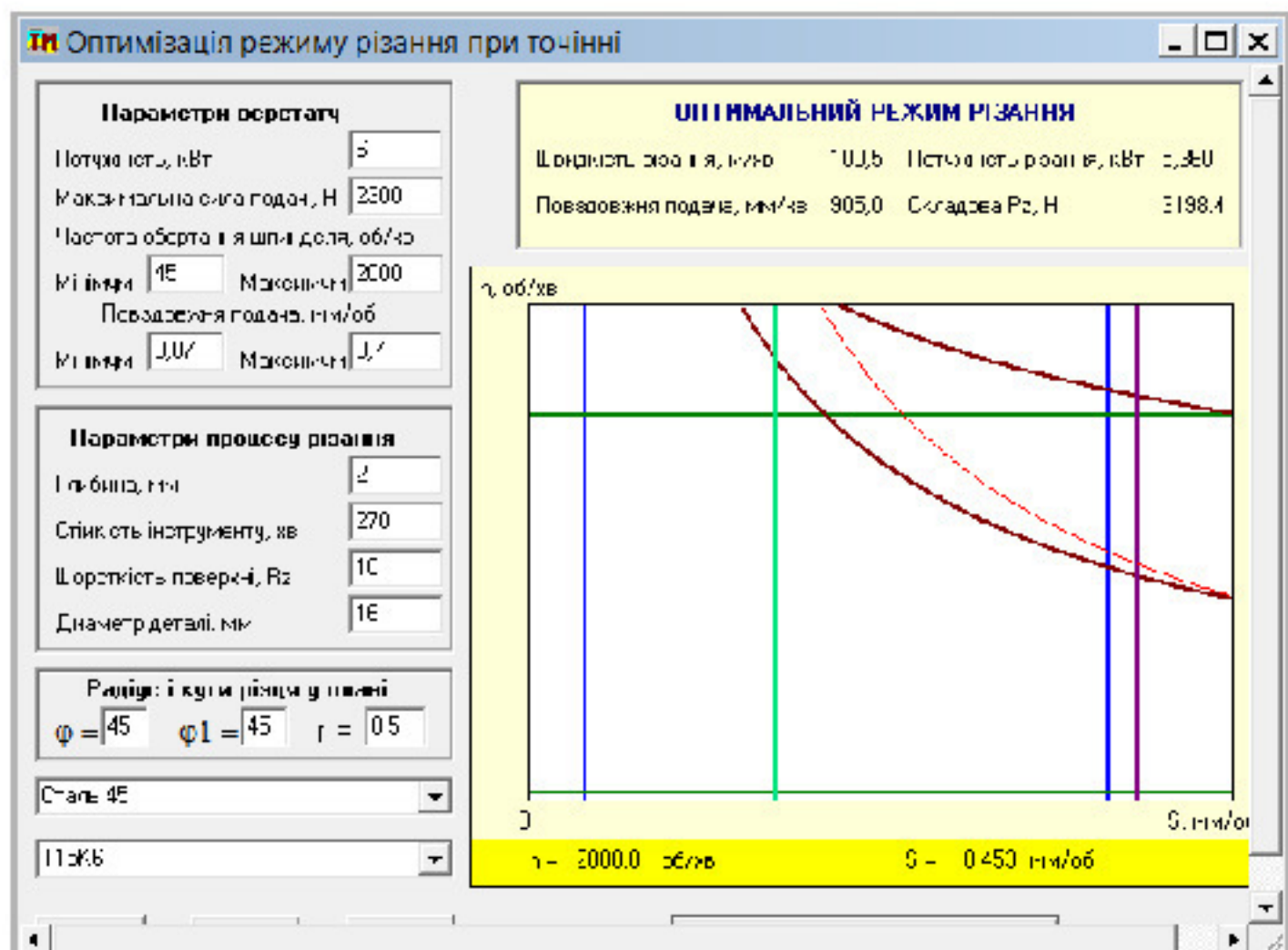


Рисунок 2.13 – Оптимізація режиму різання при точінні на переході 5 операції

010

Зробивши аналіз отриманих даних видно, що оптимальним режимом різання на переході 5 операції 010 будуть такі дані:

Швидкість різання – 100,5 м/хв;

Подача – 905,0 мм/хв;

Потужність різання – 5,36 кВт;

Складова P_z (сила різання) – 3198,4 Н.

2.12 Визначення технічних норм часу

Виконуємо розрахунок технічних норм часу для операції 005 [1, 14, 15].

В великосерійному, середьносерійному виробництві норма штучно-калькуляційного часу $T_{шт-к}$ визначається за формулою:

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

де n – кількість деталей в партії, $n = 965$ шт.;

$T_{пз}$ – підготовчо-заключний час, який залежить від типу верстата і довжини його столу, для фрезерного верстата ЛТ260МФ30, $T_{пз} = 25,75$ хв.;

$T_{шт}$ – норма штучного часу;

$$T_{шт} = T_o + T_{доп} + T_{об} + T_{ндп} \text{ [хв.]}, \quad (2.48)$$

де T_o – основний час.

Визначаємо основний час виконання переходів маршруту механічної обробки варіанту.

Таблиця 2.25 – Основний час виконання переходів маршруту механічної обробки

Назва переходу, операції	Основний час на виконання переходу, t_o , хв.			
	Формула			Результат
		d	l	
1	2	3	4	5
005 Вертикально-фрезерна з ЧПК				
1	2	3	4	5
Фрезерувати поверхню 1 попередньо	$T_o = \frac{l}{s_{хв}}$		67,4	0,23
Центрувати 6 отворів	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	2	1,5	0,043
Свердлити отвір 3	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	10	15	0,145
Розсвердлити отвір 2	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	20	4	0,05

Продовження таблиці 2.25

1	2	3	4	5
Свердлити отвір 5	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	3	15	0,08
Цекувати отвір 4	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	12	1,85	0,02
Свердлити 4 отвори 6	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	6,5	33,5	1
Фрезерувати поверхню 1 остаточно	$T_o = \frac{l}{s_{XB}}$		67,4	0,23
Зенкувати отвір 2	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	20	4	0,035
Розвернути отвір 2	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	20	4	0,016
Зенкувати 4 отвори 6	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	6,5	33	0,4
Розвернути 4 отвори 6	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	6,5	33	0,15
Всього				2,399
010 Токарно-револьверна з ЧПК				
Точити торець 7 попередньо і поверхню 8 однократно	$T_o = \frac{\pi \cdot D^2}{2000 \cdot v \cdot s} + \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	33	6	0,1
Центрувати отвір 9	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	2	1,5	0,043
Свердлити отвір 9	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	12	65,4	0,64
Зенкерувати отвір 9	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	12	65,4	0,36
Розточити отвір 10	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	16,5	4	0,013

Продовження таблиці 2.25

1	2	3	4	5
Розточити отвір 13	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	16,5	5	0,013
Нарізати різь в отворі 10	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot t_p} \cdot a$	16,5	4	0,021
Точити торець 7 остаточно	$T_o = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4000 \cdot v \cdot s}$	26	16	0,012
Точити торець 14 попередньо і поверхню 15 однократно	$T_o = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{2000 \cdot v \cdot s} + \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	33	12 6	0,1
Розточити отвір 18	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	16,5	4	0,013
Розточити отвір 17	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	16,5	5	0,013
Нарізати різь в отворі 18	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot t_p} \cdot a$	16,5	62,7	0,021
Розвернути отвір 14	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	12	6	0,13
Точити торець 14 остаточно	$T_o = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4000 \cdot v \cdot s}$	26	12	0,012
Всього				1,412
015 Вертикально-фрезерна з ЧПК				
Фрезерувати поверхню 22	$T_o = \frac{l}{s_{XB}}$		50	0,17
Цекувати 4 отвори 23	$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot v \cdot s}$	11	7	0,27
Всього				0,44

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

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{ус}} + T_{\text{зак}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{вим}} \quad [\text{хв.}], \quad (2.49)$$

де $T_{\text{ус}}$ – час на установку і зняття деталі, який залежить від способу закріп-

лення (ручне чи автоматичне) та від розмірів деталі, для спеціального пристосування з автоматизованим приводом, $T_{yc} = 0,038$ хв;

$T_{зак}$ – час на закріплення і розкріплення деталі, який залежить від способу закріплення та маси деталі, затискання пневматичними зажимами, $T_{зак} = 0,024$ хв;

$T_{уп}$ – час на прийоми управління, який залежить від типу верстата та переходів обробки, а також від виду подачі, також він включає: час на зміну частоти обертання шпинделя, на зміну подачі, час на заміну інструменту, $T_{уп} = 0,4$ хв;

$T_{вим}$ – час на вимірювання деталі, який залежить від типу вимірювального приладу та від кінцевого розміру деталі, який контролюється, $T_{вим} = 0,021$ хв.

$$T_{доп} = 0,038 + 0,024 + 0,4 + 0,021 = 0,483 \text{ (хв)};$$

$T_{об}$ – час затрачений на технічне та організаційне обслуговування робочого місця, який залежить від типу верстата. Для вертикально-фрезерного верстата час на обслуговування складе 4,2% від оперативного.

$T_{відп}$ – час на відпочинок, який виділяється на особисті потреби працівника та складає 2% від операційного для всіх верстатів з ЧПК.

Знаходимо оперативний час за формулою:

$$T_{оп} = T_o + T_{доп} \text{ [хв]}, \quad (2.50)$$

$$T_{оп} = 2,399 + 0,483 = 2,882 \text{ (хв)}.$$

За формулою 2.51 визначаємо штучний час:

$$T_{шт} = 2,399 + 0,483 + 0,12 + 0,058 = 3,06 \text{ (хв)}.$$

За формулою (2.47) визначаємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{ITT-K}} = 3,06 + \frac{25,75}{965} = 3,086 \text{ (XB.)}$$

Розрахунок норми часу на операції 010 та 015 виконані аналогічно і зведені до таблиці 2.26.

Таблиця 2.26 – Норми часу, хв.

№ оп.	T_o	Складові T_d				T_d	$T_{об}$	$T_{відп}$	$T_{шт}$	$T_{п-з}$	n	$T_{п-з}/n$	$T_{шт-к}$
		$T_{уст}$	$T_{закр}$	$T_{уп}$	$T_{вим}$								
005	2,399	0,038	0,024	0,4	0,021	0,483	0,12	0,058	3,06	25,75	965	0,026	3,086
010	1,412	0,059	0,085	0,35	0,028	0,522	0,08	0,04	2,054	24,8		0,025	2,079
015	0,44	0,038	0,024	0,18	0,013	0,255	0,01	0,014	0,719	13,8		0,014	0,733
$\Sigma T_{шт-к}$													5,898

3 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ТОНКИМ ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК

3.1 Постановка задачі дослідження

Необхідною умовою роботи без браку в процесі виконання останнього технологічного переходу механічної обробки партії заготовок деталей на настроєному верстаті є забезпечення співвідношення

$$\varepsilon_{\Sigma} \leq T, \quad (3.1)$$

де ε_{Σ} – сумарна похибка обробки, яка дорівнює полю розсіювання розмірів, отриманих в результаті механічної обробки партії заготовок;

T – допуск забезпечуваного розміру.

Виникнення сумарної похибки обробки є наслідком впливу низки технологічних факторів, кожний з яких зумовлює появу елементарної похибки.

Якщо здійснюється остаточна обробка, як на переході, що розглядається, то, визначивши ε_{Σ} , потрібно перевірити виконання умови (3.1). Якщо ця умова не виконується, то мають бути вжиті заходи щодо зменшення ε_{Σ} . Визначивши рівень впливу кожної з елементарних похибок на величину ε_{Σ} , можна встановити, яких саме заходи потрібні для її зменшення.

Метою роботи є виявлення і порівняння рівнів впливу елементарних похибок на сумарну похибку під час чистового торцевого фрезерування сталевих заготовки на верстаті з ЧПК.

3.2 Результати дослідження

Дослідження виконувалось на прикладі технологічного процесу виготовлення деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001» в умовах серійного виробництва. В основу дослідження покладена методика, описана в [16].

Ескіз обробки (операція 015) площини в розмір $30h10(-0,084)$ мм показано на рис. 3.1.

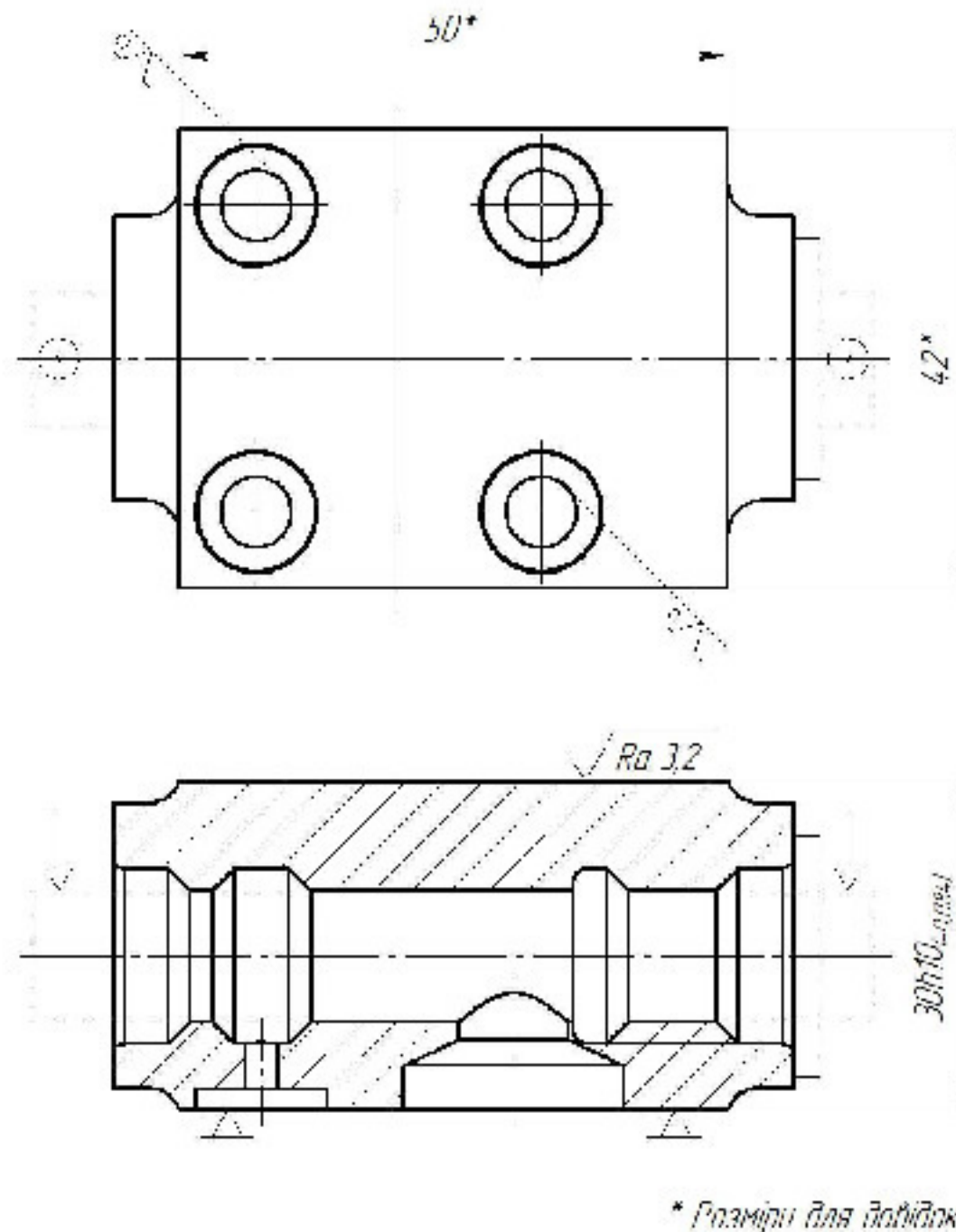


Рисунок 3.1 – Схема обробки площини в розмір $30h10(-0,084)$ мм

Прийнято, що обробка здійснюється за таких початкових умов:

- операція виконується на багатоінструментальному верстаті з ЧПК ЛТ260МФ3;
- клас точності верстата П;
- чистове фрезерування виконується після чорнового фрезерування; чорнове фрезерування забезпечує розмір поверхні за $IT14$ (для прийнятого номінального розміру величина допуску складе 520 мкм);
- партія заготовок (965 шт.) обробляється на настроєному на розмір верстаті;

- настроювання торцевої фрези на розмір обробки чистовим фрезеруванням здійснюється за пробними заготовками;
- матеріал різальної частини фрези: – твердий сплав T5K4 (чорнове фрезерування); твердий сплав T15K10 – (чистове фрезерування);
- матеріал заготовки – Сталь 35;
- заготовку встановлюється на чисто оброблену поверхню на плоскі опорні пластини із закріпленням за допомогою двох гвинтових затискачів (прихоплювачів).

Передбачається, що на операції з одного установа виконуватиметься як попереднє, так і остаточне фрезерування.

Згідно з [2], для лінійних розмірів, що координують розташування оброблюваної площини відносно іншої площини (вимірювальної бази), сумарна похибка визначається за формулою

$$\varepsilon_z = \frac{1}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_y)^2 + (K_2 \varepsilon_{\text{пл}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{пр.о.}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_5 \varepsilon_i)^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_7 \varepsilon_{\text{т}})^2} \text{ [мкм]}, \quad (3.2)$$

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

$K_1 \dots K_7$ – коефіцієнти, значення яких залежить від виду закону розподілу відповідних елементарних похибок:

ε_y – похибка установа заготовки у верстатний пристрій;

$\varepsilon_{\text{пл}}$ – похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи і дією сили різання;

$\varepsilon_{\text{пр.о.}}$ – похибка, що спричиняється неточністю позиціонування робочого органу верстата;

$\varepsilon_{\text{н}}$ – похибка настроєння інструмента на розмір обробки;

ε_i – похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента;

$\varepsilon_{\text{в}}$ – похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата;

ε_{τ} – похибка, що спричиняється тепловими деформаціями технологічної системи.

Визначено послідовно всі елементарні похибки і сумарну похибку розміру що виникають при чистовому (остаточному) фрезеруванні площини.

Похибку установлення визначено за формулою [6]:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_{np}^2} \text{ [мкм]}, \quad (3.3)$$

де ε_{δ} – похибка базування;

ε_z – похибка закріплення;

ε_{np} – похибка положення заготовки у пристрої.

У випадку, що розглядається, похибка базування відсутня, оскільки виконується принцип суміщення баз.

Похибку закріплення ε_z визначено за формулою [6]

$$\varepsilon_z = y_{\max} - y_{\min} \text{ [мкм]}, \quad (3.4)$$

де $y_{\max}$ і $y_{\min}$ – відповідно максимальне і мінімальне зміщення вимірювальної бази під дією сили закріплення.

Найбільше і найменше зміщення вимірювальної бази визначені за емпіричними формулами. Для випадку встановлення заготовки на опорні пластини ці формули матимуть вигляд

$$y_{\max} = \left(\frac{Q_{\max}}{9,8 F} \right)^{0,6} (0,776 + 0,053 F + 0,016 Rz_{\max} - 0,0045 HB_{\min}) \text{ [мкм]}; \quad (3.5)$$

$$y_{\min} = \left(\frac{Q_{\min}}{9,8 F} \right)^{0,6} (0,776 + 0,053 F + 0,016 Rz_{\min} - 0,0045 HB_{\max}) \text{ [мкм]}, \quad (3.6)$$

де $Q_{\max}$ і $Q_{\min}$ – значення сили, що діє з боку кожного з прихоплювачів на заготовку, Н;

F – площа опорної пластини, см^2 ;

$Rz_{\max}$ і $Rz_{\min}$ – граничні значення висоти мікронерів ностей на поверхні технологічної бази, мкм;

$HB_{\max}$ і $HB_{\min}$ – граничні значення твердості (за Брінелем) технологічної бази.

Необхідну для надійного затискання заготовки силу Q визначимо за формулою

$$Q = \frac{K}{n_3 \cdot f} \sqrt{P_z^2 + P_h^2} \text{ [Н]}, \quad (3.7)$$

де P_z і P_h – складові сили різання: відповідно головна (окружна) сила і сила подачі;

K – коефіцієнт запасу;

n_3 – кількість затискачів;

f – коефіцієнт тертя між площиною заготовки і опорною пластиною.

Складові сили різання P_z і P_h визначались за емпіричними формулами

$$P_z = \frac{10 C_p t^x s_z^y B^u z}{D^q n^w} \text{ [Н]}, \quad (3.8)$$

$$P_h = 0,5 P_z \text{ [Н]}, \quad (3.9)$$

де t – глибина різання, мм;

s_z – подача, мм/зуб;

B – ширина фрезерування, мм;

z , D і n – кількість зубів, діаметр і частота обертання фрези;

$C_p = 54,5$; $x = 0,9$; $y = 0,74$, $u = 1,0$; $q = 1,0$; $w = 0$ – коефіцієнт і показники степеня, величини яких визначено за [17].

На операції, що розглядається, виконується як чорнове, так і чистове фрезерування, тому необхідне мінімальне значення сили затискання $Q_{\min}$ визначалась з урахуванням сили різання, яка виникає під час чорнового фрезерування за максимальної глибини різання. Отже, розрахунок ε_z виконувався за таких режимів різання, параметрів оброблюваної заготовки, значень складових сили різання і граничних значень сили затискання: $t = z_{\max} = 2,5$ мм, $s_z = 0,25$ мм/зуб; $n = 265$ об/хв.; $B = 40$ мм; $D = 80$ мм; $z = 8$; $F = 16$ см²; $Rz_{\max} = 12$ мкм; $Rz_{\min} = 9$ мкм; $HB_{\max} = 200$; $HB_{\min} = 150$; $K = 2,3$; $n_s = 2$; $f = 0,16$.

Підставивши у формули (3.8) і (3.9) прийняті й вибрані значення коефіцієнтів і показників степеня, отримаємо

$$P_z = \frac{10 \cdot 54,5 \cdot 2,5^{0,9} \cdot 0,25^{0,74} \cdot 100 \cdot 10}{120^1 \cdot 265^0} = 2320 \text{ (Н)};$$

$$P_h = 0,5 \cdot 2320 = 1160 \text{ (Н)}.$$

Мінімально необхідну силу затискання на кожному з прихоплювачів, визначено за формулою (3.7)

$$Q_{\min} = \frac{2,3}{2 \cdot 0,16} \sqrt{2320^2 + 1160^2} = 19368 \text{ (Н)}.$$

Максимальна сила затискання, яка може виникати на затискачах через коливання сил ручного затискання складе

$$Q_{\max} = 1,3 \cdot Q_{\min} = 1,3 \cdot 19368 = 25180 \text{ (Н)}.$$

За формулами (3.5) і (3.6) знайдемо

$$y_{\max} = \left(\frac{34156}{9,8 \cdot 16} \right)^{0,6} (0,776 + 0,053 \cdot 16 + 0,016 \cdot 12 - 0,0045 \cdot 150) = 23 \text{ (мкм)};$$

$$y_{\min} = \left(\frac{26272}{9,8 \cdot 16} \right)^{0,6} (0,776 + 0,053 \cdot 16 + 0,016 \cdot 9 - 0,0045 \cdot 200) = 13 \text{ (мкм)}$$

За формулами (3.3) знайдемо

$$\varepsilon_z = 23 - 13 = 10 \text{ (мкм)}.$$

Похибка $\varepsilon_{\text{пр}}$ визначалась за формулою [6]

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{yc}}^2 + \varepsilon_{\text{zy}}^2 + \varepsilon_{\text{тв}}^2} \text{ [мкм]}, \quad (3.10)$$

де ε_{yc} , ε_{zy} , $\varepsilon_{\text{тв}}$ — відповідно похибки, спричинені: неточністю виготовлення і складання установочних елементів пристрою; зносом цих елементів; неточністю установлення пристрою на верстат.

Прийнято, що похибка ε_{yc} за даних технологічних умов відсутня, оскільки може бути зкомпенсована під час настроювання фрези на розмір обробки.

Похибку ε_{zy} визначено за емпіричною формулою [6]

$$\varepsilon_{\text{zy}} = \beta \sqrt{N} \text{ [мкм]}, \quad (3.11)$$

де β — коефіцієнт, який залежить від виду опор і умов контакту;

N — кількість контактів заготовки з опорами верстатного пристрою.

Згідно з [6] для прийнятих технологічних умов $\beta = 0,2$. Прийmemo, що $N = 965$ шт. Тоді ε_{zy} складатиме 9 мкм.

Оскільки зазор у напрямку отримуваного розміру між основними конструкторськими базами пристрою і допоміжними конструкторськими базами верстата відсутній, то у випадку, що розглядається $\varepsilon_{пв} = 0$. Таким чином, $\varepsilon_{пр} = \varepsilon_{zy} = 9$ мкм.

Підставивши визначені значення складових похибки устанoвлення в (3.3), отримаємо

$$\varepsilon_y = \sqrt{10^2 + 9^2} = 14 \text{ (мкм)}.$$

Похибка, що зумовлена пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання визначалась за формулою [6]

$$\varepsilon_{пд} = \omega_{\Sigma} (P_{x_{\max}} - P_{x_{\min}}) \text{ [мкм]}, \quad (3.12)$$

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

$P_{x_{\max}}$ і $P_{x_{\min}}$ – відповідно найбільша і найменша величина складової сили різання, яка діє у напрямі нормалі до оброблюваної поверхні.

Під час визначення величини ω_{Σ} вважалось, що податливості верстатного пристрою, фрези і заготовки суттєво менші за податливість верстата $\omega_{\text{в}}$, тобто приймалося, що $\omega_{\Sigma} = \omega_{\text{в}} = 0,026$ мкм/Н [2].

Згідно з [17], вважалось, що $P_x = 0,5 P_z$. На зміну величини P_x впливатиме зміна припуску на чистове фрезерування і, відповідно, глибина різання t під час обробки заготовок партії. Згідно з результатами розмірного аналізу технологічного процесу $t_{\max} = 1$ мм; $t_{\min} = 0,3$ мм.

Граничні значення сили P_x знайдено за формулою (3.7) за таких параметрів: $C_p = 54,5$; $x = 0,9$; $y = 0,74$, $u = 1,0$; $q = 1,0$; $w = 0$; $t_{\max} = 1$ мм, $t_{\min} = 0,3$ мм, $s_z = 0,1$ мм/зуб; $n = 320$ об/хв; $B = 40$ мм; $D = 100$ мм; $z = 12$;

$$P_{z_{\max}} = \frac{10 \cdot 54,5 \cdot 1^{0,9} \cdot 0,1^{0,74} \cdot 40 \cdot 12}{100 \cdot 320^0} = 520 \text{ (Н)};$$

$$P_{z_{\min}} = \frac{10 \cdot 54,5 \cdot 0,3^{0,9} \cdot 0,1^{0,74} \cdot 40 \cdot 12}{100 \cdot 320^0} = 180 \text{ (Н)};$$

Відповідно, $P_{x_{\max}} = 0,5 \cdot P_{z_{\max}} = 0,5 \cdot 520 = 260 \text{ (Н)}$; $P_{x_{\min}} = 0,5 \cdot P_{z_{\min}} = 0,5 \cdot 180 = 90 \text{ (Н)}$.

За формулою (3.11) визначено величину похибки $\varepsilon_{\text{пл}}$

$$\varepsilon_{\text{пл}} = 0,026 (260 - 90) = 4 \text{ (мкм)}.$$

Під час обробки на багато інструментальних верстатах з ЧПК після завершення чергового переходу відбувається заміна інструмента в шпинделі з подальшим його швидким переміщенням у початкову точку (позиціонуванням). Під час гальмування робочого органу верстата в кінці цього переміщення виникає похибка позиціонування $\varepsilon_{\text{пл}}$. Згідно з паспортними даними верстата ЛТ260МФЗ ця похибка складає 40 мкм.

Похибку $\varepsilon_{\text{н}}$ визначено з урахуванням того, що для точної завершальної обробки верстата з ЧПК зазвичай настроюються з використанням методу пробних заготовок. Згідно з [6], $\varepsilon_{\text{н}}$ знайдено за формулою

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{(\varepsilon_{\text{р}})^2 + (\varepsilon_{\text{вм}})^2 + (\varepsilon_{\text{зм}})^2} \text{ [мкм]}, \quad (3.13)$$

де $\varepsilon_{\text{р}}$ – похибка регулювання положення інструмента;

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

$\varepsilon_{\text{зм}} = \varepsilon_{\text{п.д}} / \sqrt{m}$ – похибка, замовлена зміщенням центра групування розмірів спробних заготовок відносно середини поля розсіювання в момент настроювання;

m – кількість пробних заготовок.

Похибку $\varepsilon_{\text{р}}$ прийнято рівною точності позиціювання $\Delta_{\text{п}}$. Для верстата ЛТ2060МФ $\Delta_{\text{п}}$ дорівнює чотирьом дискетам. Таким чином, прийнято, що $\varepsilon_{\text{р}} = 40$ мкм. Похибку $\varepsilon_{\text{вм}}$ прийнято рівною 10 мкм (ціна поділки мікрометра).

Величина похибки $\varepsilon_{\text{зм}}$ за $m = 5$ складає

$$\varepsilon_{\text{зм}} = \frac{4}{\sqrt{5}} = 2 \text{ (мкм)}.$$

За формулою (3.13) визначено величину похибки $\varepsilon_{\text{і}}$

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{(40)^2 + (10)^2 + (2)^2} = 42 \text{ (мкм)}.$$

Розмірний знос різального інструмента і, відповідно похибка $\varepsilon_{\text{і}}$ може бути зкомпенсована введенням корекції положення фрези. Тому прийнято, що $\varepsilon_{\text{і}} = \Delta_{\text{п}} = 40$ мкм.

Похибку $\varepsilon_{\text{н}}$ в даному випадку спричиняє непаралельність площини столу до напрямку його руху. Згідно з [2] ця похибка визначена за формулою

$$\varepsilon_{\text{н}} = \frac{Cl}{L_{\text{б}}} \text{ [мкм]}, \quad (3.14)$$

де C – допустиме відхилення від паралельності площини столу і напрямку його руху в межах базової довжини $L_{\text{б}}$.

Прийнявши згідно з [2], що $C = 20$ мкм, $L_{\text{в}} = 400$ мкм, за формулою (3.14) знайдемо

$$\varepsilon_{\text{в}} = \frac{20 \cdot 40}{400} = (2 \text{ мкм}).$$

Похибка, що зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи згідно з [2] складає близько 15% від суми інших похибок, тобто

$$\varepsilon_{\text{т}} = 0,15 (\varepsilon_{\text{у}} + \varepsilon_{\text{пл}} + \varepsilon_{\text{н}} + \varepsilon_{\text{плі}} + \varepsilon_{\text{в}}) [\text{мкм}]. \quad (3.15)$$

Разом з тим, ця похибка під час обробки на сучасних багатоцільових верстатах з ЧПК зазвичай дещо менша, ніж на верстатах з ручним керуванням завдяки використанню рясного охолодження оброблюваної заготовки у закритій робочій зоні верстата. З урахуванням цього $\varepsilon_{\text{т}}$ визначена за формулою (3.14), але коефіцієнт перед виразом в дужках зменшений з 0,15 до 0,1. Отже,

$$\varepsilon_{\text{т}} = 0,1 (14+4+42+40+2) = 11 \text{ (мкм)}.$$

Прийнявши: $\frac{1}{K} = 1$ (очікуваний брак складе 0,03%); $K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = 1$ (розподіл похибок $\varepsilon_{\text{у}}$, $\varepsilon_{\text{н}}$, $\varepsilon_{\text{пл}}$, $\varepsilon_{\text{плі}}$ відповідає нормальному закону); $K_5 = K_6 = K_7 = 1,73$ (розподіл похибок $\varepsilon_{\text{і}}$, $\varepsilon_{\text{в}}$, $\varepsilon_{\text{т}}$ відповідає закону рівної імовірності) за формулою (3.2) отримаємо

$$\varepsilon_{\Sigma} = \sqrt{(14)^2 + (4)^2 + (40)^2 + (42)^2 + (1,73 \cdot 40)^2 + (1,73 \cdot 5)^2 + (1,73 \cdot 11)^2} = 75 \text{ (мкм)}.$$

За результатами розрахунків побудовані діаграми величин елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають під час чистового фрезерування сталеві заготовки на верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФ3 (рис. 3.2).

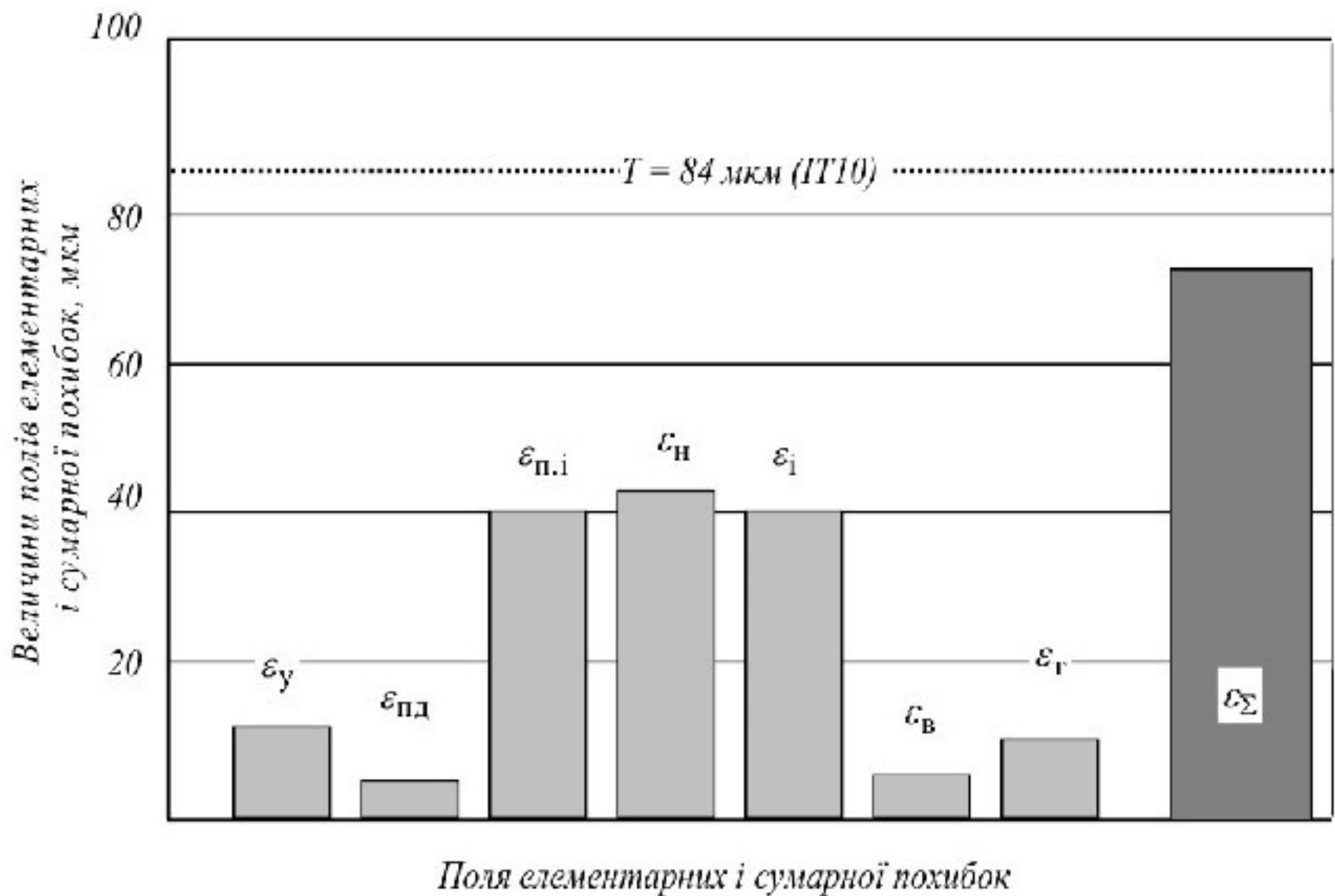


Рисунок 3.2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, які виникають під час чистового фрезерування заготовки на верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФ3

Висновки

1. На прикладі обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001» на багатоінструментальному верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФ3 (клас точності «П») виконано аналіз точності обробки з виявлення елементарних похибок, які мають домінуючий вплив на сумарну похибку чистової фрезерної обробки партії сталевих заготовок на настроєному верстаті.

2. Показано, що за прийнятих технологічних умов найсуттєвіший вплив на точність обробки мають похибка настроєння, похибка, що зумовлена неточністю позиціонування при підведенні різального інструмента (торцевої фрези) до початкової точки і похибка, що спричиняється розмірним зносом різальної кромки зубів фрези.

3. Похибка, що спричиняється розмірним зносом різальної кромки зубів фрези, зменшується до рівня похибки позиціювання робочого органу верстата завдяки використанню програмованої корекції інструмента.

4. Обробка на верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФЗ забезпечує задану точність розміру $30h10_{(-0,084)}$ мм, оскільки сумарна похибка обробки склала 75 мкм.

5. Для зменшення сумарної похибки обробки потрібно використати верстат класу точності «В» з величиною дискрети 0,001 мм і, відповідно з точністю позиціювання 4...5 мкм.

6. Результати дослідження можуть бути використані для аналізу наявних та проектування нових технологічних процесів механічної обробки і у навчальному процесі.

4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КЛАПАНА КТ-48.001»

4.1 Розрахунок приведеної програми

Проектування ділень і цехів в умовах дрібносерійного, серійного, а іноді і великосерійного виробництва, виконують за приведеною програмою. Це пояснюється тим, що при значній номенклатурі випуску деталей, виробів об'єм проектних і технологічних розробок стає надто великим. Для його скорочення реальну багатономенклатурну програму заміняють приведеною, яка виражається обмеженою кількістю представників, еквівалентною по трудомісткості багатономенклатурній програмі.

Приведена програма може бути розрахована за формулою [9, 18]:

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

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

Таблиця 4.1 – Дані для розрахунку приведеної програми

Деталі	Маса, кг	Програма, шт.	Точність (IT) / Шорсткість (Ra, мкм)								
			6	7	8	9	10	11	12	13	14
Корпус клапана КТ-48.001 (рахунковий представник)	0,414	12000			4		2	1	6		38
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	50	-
				5			3		43		
Стакан 24.65	0,25	100000	6	7	8	9	10	11	12	13	14
					2			2			22
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	50	
				2			2		22		
Кришка	0,8	2000	6	7	8	9	10	11	12	13	14
					1				6		28
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	50	-
				1			6		28		

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

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

де m – маса деталі розглядуваного виробу;

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

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

– для розрахункового представника

$$K_{1c} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_c}{m_{p.np}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{0,412}{0,412}\right)^2} = 1,0;$$

– стакан 24,65

$$K_{1\phi} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{\phi 15}}{m_{p.np}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{0,25}{0,414}\right)^2} = 0,72;$$

– для кришки

$$K_{1BK} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_K}{m_{p.np}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{0,8}{0,412}\right)^2} = 1,54;$$

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

– для розрахункового представника

$$K_{2c} = \left(\frac{N_{p.np}}{N_K}\right)^a = \left(\frac{12000}{12000}\right)^{0,15} = 1,0;$$

– для стакан 24,65

$$K_{2\Phi} = \left(\frac{N_{p, \kappa p}}{N_{\kappa 15}} \right)^{\alpha} = \left(\frac{12000}{100000} \right)^{0,15} = 0,73;$$

– для кришки

$$K_{2BK} = \left(\frac{N_{p, \kappa p}}{N_K} \right)^{\alpha} = \left(\frac{12000}{2000} \right)^{0,15} = 1,31;$$

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

Знайдемо значення коефіцієнта K_{3I} для кожної деталі:

– для розрахункового представника

$$\overline{K_{Tp, \kappa p}^C} = \frac{\sum K_{\kappa} \cdot n_{\kappa}}{\sum n_{\kappa}} = 13,08;$$

$$K_{3I} = \left(\frac{\overline{K_{Tp, \kappa p}^C}}{K_{Tp, \kappa p}} \right)^{\alpha_1} = 0,795;$$

– стакан 24.65

$$\overline{K_{Tp, \kappa p}^{\kappa 15}} = \frac{\sum K_{\kappa} \cdot n_{\kappa}}{\sum n_{\kappa}} = \frac{8 \cdot 2 + 11 \cdot 2 + 14 \cdot 22}{2 + 2 + 22} = 13,3;$$

$$K_{3I} = \left(\frac{\overline{K_{Tp, \kappa p}^{\kappa 15}}}{K_{Tp, \kappa p}} \right)^{\alpha_1} = \left(\frac{13,3}{13,08} \right)^{\alpha_1} = \frac{0,785}{0,795} = 0,987;$$

– для кришки

$$\overline{K_{Tp, \kappa p}^K} = \frac{\sum K_{\kappa} \cdot n_{\kappa}}{\sum n_{\kappa}} = \frac{8 \cdot 1 + 12 \cdot 6 + 14 \cdot 28}{1 + 6 + 28} = 13,5;$$

$$K_{31} = \left(\frac{\overline{K_r^K}}{K_{Tp. np}} \right)^{\alpha_1} = \left(\frac{13,5}{13,08} \right)^{\alpha_1} = \frac{0,775}{0,795} = 0,975 ;$$

Знайдемо значення коефіцієнта K_{32} для кожної деталі:

– для розрахункового представника

$$\overline{R_a^K} = \frac{\sum R_a \cdot n_{nos}}{\sum n_{nos}} = 10,85 ;$$

$$\left(\overline{R_a^K} \right)^{\alpha_1} = (10,85)^{\alpha_1} = 1 ;$$

– стакан 24,65

$$\overline{R_a^{K15}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{nos}}{\sum n_{nos}} = \frac{1,25 \cdot 2 + 3,2 \cdot 2 + 12,5 \cdot 22}{2 + 2 + 22} = 10,919$$

$$K_{32}^{K15} = \left(\frac{\overline{R_a^{\Phi}}}{\overline{R_a^{Tp. np}}} \right)^{\alpha_1} = \left(\frac{10,919}{10,85} \right)^{\alpha_1} = \frac{1}{1} = 1 ;$$

– для кришки

$$\overline{R_a^K} = \frac{\sum R_a \cdot n_{nos}}{\sum n_{nos}} = \frac{1,25 \cdot 1 + 3,2 \cdot 6 + 12,5 \cdot 28}{1 + 6 + 28} = 10,58 ;$$

$$K_{32}^K = \left(\frac{\overline{R_a^K}}{\overline{R_a^{Tp. np}}} \right)^{\alpha_1} = \left(\frac{10,58}{10,85} \right)^{\alpha_1} = \frac{1}{1} = 1$$

Знайдемо значення коефіцієнта K_3 для кожної деталі:

– для розрахункового представника

$$K_{3C} = K_{31}^{\alpha_1} \cdot K_{32}^{\alpha_2} = 1,0 \cdot 1,0 = 1,0 ;$$

– для стакан 24,65

4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

В умовах серійного виробництва обробку деталей ведуть партіями. При детальному проектуванні цехів та дільниць, кількість верстатів визначається по кожному типорозміру обладнання на основі даних про верстатомісткість ($T_{шт-к}$).

Необхідна кількість верстатів по кожній операції механічної обробки розрахункового представника [9, 18]:

$$C_p = \frac{T_{шт-к.р.пр} \cdot N_{пр}}{F_d \cdot 60}, \text{ [шт]} \quad (4.3)$$

де $T_{шт-к.р.пр}$ – штучно-калькуляційний час розрахункового представника на i -тої операції, хв.;

$N_{пр}$ – приведена програма випуску деталей, шт.

$$C_p = \frac{3,086 \cdot 66940}{3890 \cdot 60} = 0,88$$

$$C_p = \frac{2,079 \cdot 66940}{3890 \cdot 60} = 0,6$$

$$C_p = \frac{0,733 \cdot 66940}{3890 \cdot 60} = 0,21$$

Прийнята кількість обладнання на кожній операції – 1 верстат.

Коефіцієнт завантаження верстатів для кожної з операції визначаємо за формулою:

$$\eta_z = \frac{C_p}{C_{пр}}, \quad (4.4)$$

де C_p – кількість розрахункового обладнання;

$C_{пр}$ – кількість прийнятого обладнання.

$$\eta_{з005} = \frac{0,88}{1} = 0,88;$$

$$\eta_{з010} = \frac{0,6}{1} = 0,6;$$

$$\eta_{з015} = \frac{0,21}{1} = 0,21 .$$

Знайдемо середній коефіцієнт завантаження верстатів:

$$\eta_{з,ср.} = \frac{\Sigma C_p}{\Sigma C_{пр}}, \quad (4.5)$$

де ΣC_p – сумарна розрахункова кількість верстатів;

$\Sigma C_{пр}$ – сумарна прийнята кількість верстатів, шт.

$$\eta_{з,ср.} = \frac{0,88 + 0,6 + 0,21}{1 + 1 + 1} = 0,56.$$

Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання за основним часом:

$$\eta_o = \frac{T_o}{T_{шт-к}}, \quad (4.6)$$

Визначимо коефіцієнт завантаження обладнання за основним часу на кожній операції окремо:

$$\eta_{o005} = \frac{2,399}{3,086} = 0,78;$$

$$\eta_{o010} = \frac{1,412}{2,079} = 0,68;$$

$$\eta_{o010} = \frac{0,44}{0,733} = 0,60.$$

По значеннях η_o на всіх операціях визначаємо середній (як середнє арифметичне) $\eta_{o,ср}$ верстатів дільниці (цеху):

$$\eta_{o,ср} = \frac{\sum T_o}{\sum T_{шт-к}}, \quad (4.7)$$

де $\sum T_o$ – сумарний основний час всіх операцій, хв;

$\sum T_{шт-к}$ – сумарний штучно-калькуляційний час всіх операцій, хв.

$$\eta_{o,ср} = \frac{2,399 + 1,412 + 0,44}{3,086 + 2,079 + 0,733} = 0,72.$$

4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

Графік завантаження обладнання показаний на рис. 4.1.

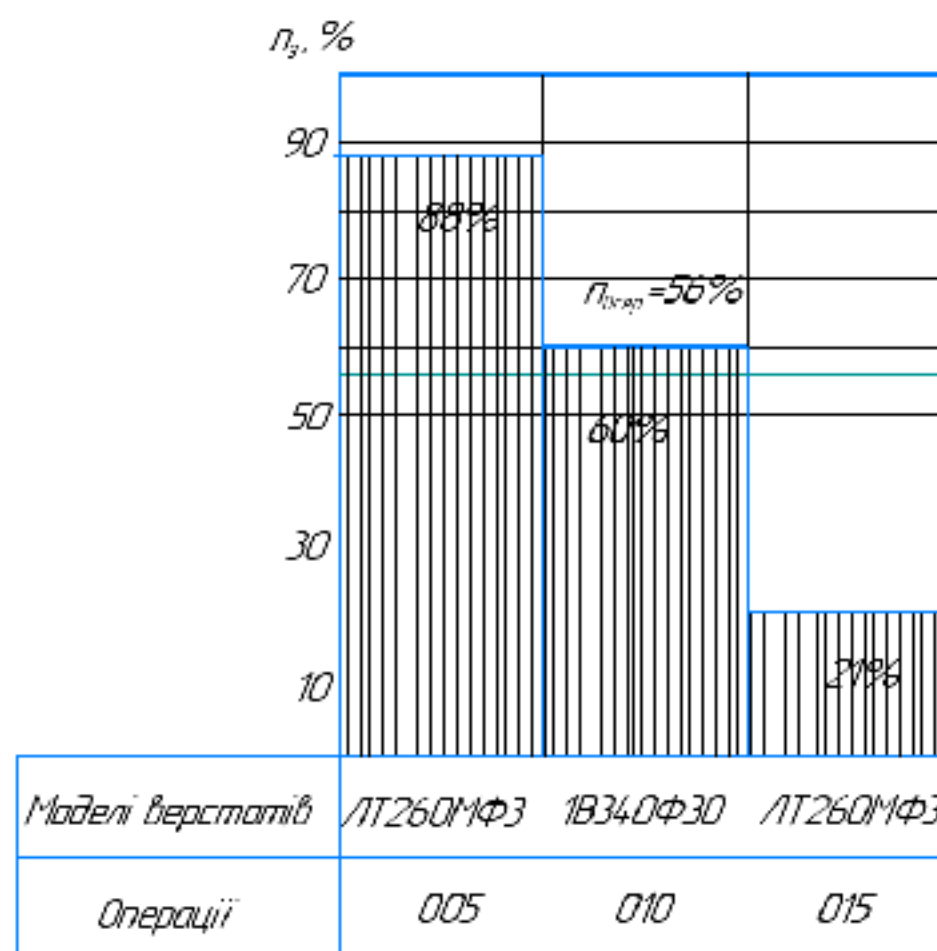


Рисунок 4.1 – Графік завантаження верстатів

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

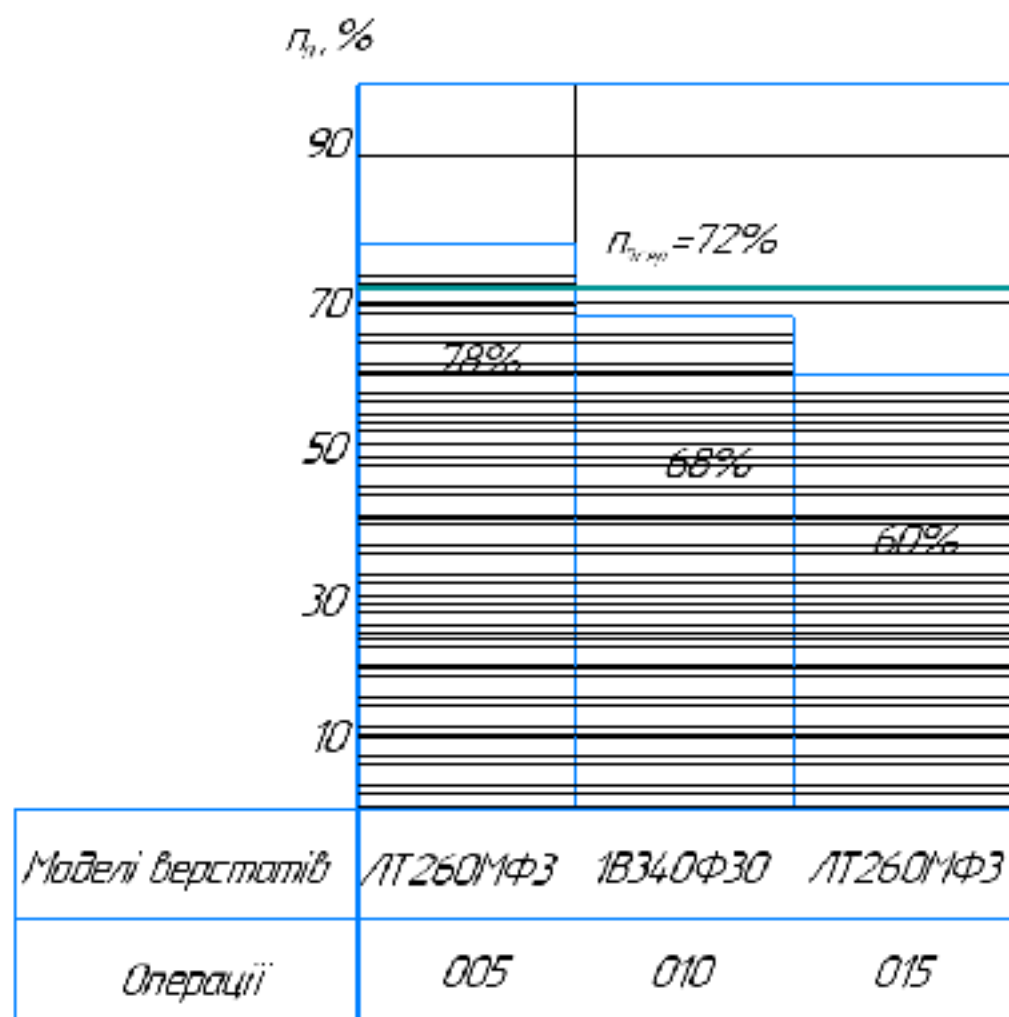


Рисунок 4.2 – Графік використання верстатів за основним часом

Проаналізувавши коефіцієнти завантаження обладнання, можна зробити висновок, що економічно доцільними є завантаження на операції 005, тому верстати на операції 010 та 015 потрібно довантажити додатковими деталями (крім тих, що враховані в приведеній програмі) з метою доведення завантаження верстатів до нормативних рекомендацій. Доцільно, щоб деталі, які оброблятимуться не вимагали зміни пристосування, тобто були подібної конфігурації.

Графіка завантаження верстатів за основним часом є досить високим, що свідчить про правильність розробленого технологічного процесу, більша частина часу витрачається на процес різання і значно менша частина на допоміжний час, обслуговування та відпочинку.

4.4 Розрахунок кількості працівників на ділянці

До основних відносяться робітники, які безпосередньо виконують технологічні операції по виготовленню продукції.

Кількість основних робітників, зайнятих виконанням операцій технологічного процесу [9, 18]:

$$P_{\text{верст}} = \frac{C_{\text{пр}} \cdot F_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{з}} \cdot \eta_{\text{в}}}{F_{\text{р}} \cdot K_{\text{м}}}, \quad (4.8)$$

де $\eta_{\text{з}}$ і $\eta_{\text{в}}$ – коефіцієнти відповідно завантаження і використання верстатів за основним часом;

$F_{\text{д}}$ – ефективний річний фонд часу верстату, $F_{\text{д}} = 3890$ год;

$K_{\text{м}}$ – коефіцієнт багатоверстатного обслуговування, для верстатів з програмним керуванням, $K_{\text{м}} = 1$;

$F_{\text{р}}$ – ефективний річний фонд часу робітника, $F_{\text{р}} = 1820$ год;

Визначимо кількість основних робітників на кожній операції окремо:

$$P_{005} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,88 \cdot 0,78}{1820 \cdot 1} = 1,47;$$

$$P_{010} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,6 \cdot 0,68}{1820 \cdot 1} = 0,87;$$

$$P_{015} = \frac{1 \cdot 3890 \cdot 0,21 \cdot 0,6}{1820 \cdot 1} = 0,27.$$

Аналіз розрахунків кількості прийнятих основних робітників на свідчить про те, що вони на операціях 005 та 010 завантажені в достатній мірі, а на операції 015 будуть довантажуватися обробкою інших деталей.

На основі зроблених розрахунків приймаємо кількість працюючих на кожній операції: $P_{005} = 2$ чол.; $P_{010} = 1$ чол.; $P_{015} = 1$ чол.

Тоді загальна кількість основних робітників складає:

$$P_{oc.} = P_{005} + P_{010} + P_{015},$$

$$P_{oc.} = 2 + 1 + 1 = 3 \text{ (чол.)}$$
(4.9)

Визначимо необхідну кількість допоміжних робітників:

$$P_{д.} = P_{oc.} \cdot 25\%,$$

$$P_{д.} = 4 \cdot 0,25 = 1 \text{ (чол.)}$$
(4.10)

Приймаємо 1 допоміжних робітника, один із них який буде не повністю завантажений, він також буде обслуговувати основних робітників іншої ділянки.

Визначимо необхідну кількість інженерно-технічних робітників:

$$P_{i.t.} = C_{np.} \cdot 20\%,$$

$$P_{i.t.} = 4 \cdot 0,20 = 0,8.$$
(4.11)

Приймаємо 1 інженерно-технічного робітника.

Визначимо необхідну кількість службовців:

$$P_{с.} = P_{oc.} \cdot 1,6\%,$$

$$P_{с.} = 4 \cdot 0,016 = 0,064.$$
(4.12)

Приймаємо 1 бухгалтера на 0,064 ставки, який працюватиме на декількох ділянках.

Молодший обслуговуючий персонал:

$$P_{моп} = P_{заг.} \cdot 2\%,$$

$$P_{моп} = 8 \cdot 0,02 = 0,16.$$
(4.13)

Приймаємо 1 робітника, який буде не повністю завантажений і буде обслуговувати площі конторських, побутових приміщень іншої ділянки.

Таблиця 4.4 – Відомість працюючих на ділянці

Працюючі (категорія)	Загальна кількість	Розподіл по професіям
Основні робітники	4	Фрезерувальник – 1 (І зміна), 1 (ІІ зміна)
		Токар – 1 (І зміна)
		Фрезерувальник – 1 (ІІ зміна)
Допоміжні працівники	1	Контролери – 0,5 ставки
		Наладчик – 0,5 ставки
Інженерно-технічні робітники	1	Технологи – 0,5 ставки
		Майстри – 0,5 ставки
Службовці	1	Бухгалтер – 0,064 ставки на ділянці
Молодший обслуговуючий персонал	1	Прибиральник – 0,16
Загальна кількість	8	

5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КЛАПАНА КТ-48.001»

5.1 Оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки

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

Для проведення технологічного аудиту залучено 3-х незалежних експертів, які оцінили комерційний потенціал розробки за 12-ма критеріями, наведеними в таблиці 5.1 [21].

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

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

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або 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 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Експерти		
	Експерт № 1	Експерт № 2	Експерт № 3
	Бали, виставлені експертами:		
1	3	2	2
2	1	1	2
3	4	3	2
4	3	2	2
5	4	3	2
6	4	2	3
7	2	3	3
8	2	2	2
9	3	3	3
10	1	2	2
11	3	3	3
12	2	4	2
Сума балів	СБ ₁ = 32	СБ ₂ = 30	СБ ₃ = 28
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{32 + 30 + 28}{3} = 30$		

Згідно таблиці 5.2 розробка має рівень комерційного потенціалу середній.

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

Ринками збуту продукції можуть бути промислові регіони України.

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

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

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

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

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

Таблиця 5.3 – Основні параметри інноваційного рішення

Параметри	Абсолютне значення параметра			Коефіцієнт вагомості параметра
	краще	середнє	гірше	
Кількість верстатів	10			40%
Кількість основних робітників	10			30%
Середній розряд робітників		8		10%
Середній коефіцієнт завантаження обладнання		7		15%
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом		7		15%

Визначимо абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

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

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

$$K_{\text{я.о.}} = 10 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,3 + 8 \cdot 0,1 + 7 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,15 = 9,9.$$

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

Таблиця 5.4 – Основні параметри інноваційного рішення та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий	Новий (інноваційне рішення)		
Кількість верстатів, шт.	8	3	2,67	0,4
Кількість основних робітників, чол.	16	4	4,0	0,3
Середній розряд робітників	5	3	1,67	0,1
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,53	0,56	1,06	0,15
Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом	0,47	0,72	1,53	0,15
Собівартість заготовки, грн.	21,62	18,68	-	-

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

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

або

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

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

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

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

$$K_{ж.в.} = 2,67 \cdot 0,4 + 4,0 \cdot 0,3 + 1,67 \cdot 0,1 + 1,06 \cdot 0,15 + 1,53 \cdot 0,15 = 2,82.$$

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

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

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

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

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

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

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

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

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

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

Оскільки індекс технічних параметрів дорівнює відносному рівню якості нашого інноваційного продукту, то він буде рівним 2,82. За формулою (5.6) розрахуємо індекс економічних параметрів інноваційного рішення:

$$I_{e.n.} = \frac{21,62}{18,68} = 1,16.$$

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

$$K = \frac{2,82}{1,16} = 2,43.$$

Оскільки $K > 1$, то запропонована нова технологія виготовлення деталі «Корпус клапана КТ-48.001» є більш доцільнішою і конкурентноспроможною, ніж базова.

5.2 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001»

5.2.1 Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу

Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу K , складаються з відповідних витрат і розраховують за такою формулою [21]:

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

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.;

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

Z_n – нарахування на заробітну плату розробників, грн.;

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

$B_{обз}$ – 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.;

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

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

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

5.2.2 Основна заробітна плата розробників

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

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

де k – кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

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

t_i – число днів роботи конкретного розробника, грн.;

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

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату розробників

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

5.2.3 Додаткова заробітна плата розробників

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

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

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

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

5.2.4 Єдиний страховий внесок розробників (ЄСВ)

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

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

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

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

5.2.5 Вартість будівлі, що її займає дільниця

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

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

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

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

$$B_{\text{буд.}} = 1000 \cdot 60 = 60000 \text{ (грн.)}$$

5.2.6 Початкова вартість технологічного обладнання

Балансову вартість нового обладнання розраховуємо за формулою:

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

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

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

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

k – кількість найменувань обладнання встановленого на дільниці.

Таблиця 5.6 – Вартість обладнання

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	K_i	Вартість, грн.
1	Вертикально-фрезерний з ЧПК ЛТ260МФ3	550000	2	1,1	1210000
2	Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30	500000	1	1,1	550000
Всього					1760000

Придбані верстати були у використанні.

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

Таблиця 5.7 – Вартість реалізації старих верстатів

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість, шт.	Вартість, грн.	Загальна вартість, грн.
1	Фрезерний верстат 6Р82Ш	55000	2	110000	110000
2	Вертикально-свердлильний верстат 2Н135 з револьверною головкою	24000	4	96000	96000
3	Токарно-гвинторізний верстат 16К20	50000	2	100000	100000
Всього					306000

Всього отримано коштів за реалізацію проданих верстатів: 306000 грн.

Отже, витрати на обладнання

$$B_{\text{обл}} = 1760000 - 306000 = 1454000 \text{ (грн.)}$$

5.2.7 Початкова вартість транспортних засобів

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

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

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

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

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

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

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

$$B_{\text{мо}} = 1454000 \cdot 0,10 = 145400 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{\text{осн}} = 145400 \cdot 0,25 = 36350 \text{ (грн.)}$$

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

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

$$B_{\text{ксп}} = 0,1 \cdot 145400 = 14540 \text{ (грн.)}$$

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

$$B_{осн} = B_{во} + B_{обс} + B_{кал} \text{ [грн.]}; \quad (5.16)$$

$$B_{осн} = 145400 + 36350 + 14540 = 196290 \text{ (грн.)}$$

5.2.9 Вартість виробничого та господарчого інвентарю

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

5.2.10 Вартість програм керування

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

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

$$B_{пу} = 0,1 \cdot 1454000 = 145400 \text{ (грн.)}$$

5.2.11 Величина передвиробничих витрат

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

5.2.12 Величина оборотних засобів

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

Отже, величина капітальних вкладень на удосконалення технологічного процесу складе:

$$K = 31454,46 + 3145,45 + 7611,98 + 60000 + 1454000 + 196290 + 145400 = \\ = 1897901,89 \text{ (грн.)}$$

5.3 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції

5.3.1 Сировина та матеріали

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

Вартість витрат на матеріал заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001» складає 18,68 грн. (див. розділ 2).

5.3.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховують за формулою:

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

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

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

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

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

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

Проведені розрахунки зведено до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Витрати на електроенергію

Найменування операції, верстат	Встановлена потужність, кВт	Тривалість обробки, год.	Сума, грн.
005 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3	5,5	2,399/60	1,55
010 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В340Ф30	6	1,412/60	0,99
015 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3	5,5	0,44/60	0,28
Всього			Σ 2,82

5.3.3 Основна заробітна плата робітників

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблиця 5.9 – 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 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3	2,399/60	3	1,35	92,05	3,68
010 Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В340Ф30	1,412/60	3	1,35	92,05	2,17
015 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК ЛТ260МФ3	0,44/60	3	1,35	92,05	0,68
Всього					Σ 6,53

5.3.4 Додаткова заробітна плата робітників

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

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

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

$$Z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 6,53 = 0,65 \text{ (грн.)}$$

5.3.5 Єдиний страховий внесок робітників (ЄСВ)

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

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

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

$$z_n = (6,53 + 0,65) \cdot 0,22 = 1,58 \text{ (грн.)}$$

5.3.6 Розрахунок загальновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

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

$$B_{\text{заг}} = 2,5 \cdot 6,53 = 16,33 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Таблиця 5.10 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.	Примітка
Витрати на матеріали на одиницю продукції, грн.	M	18,68	
Витрати на силову електроенергію, грн.	B_e	2,82	
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	z_p	6,53	
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	z_{dod}	0,65	
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	z_n	1,58	
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{\text{заг}}$	16,33	
Всього	S_v	46,59	

5.4 Розрахунок ціни реалізації нового виробу

5.4.1 Нижня межа ціни

Ціна реалізації виробу розраховується за формулою:

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

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

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

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

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

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

$$C_{\text{нир}} = 46,59 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 67,09 \text{ (грн.)}$$

5.4.2 Верхня межа ціни

Верхня межа ціни ($C_{\text{вир}}$) захищає інтереси споживача і визначається тією ціною, яку споживач готовий сплатити за продукцію з кращою споживчою якістю.

Параметри якості продукції закладено в конструкторській документації, тому, при удосконаленні технологічного процесу, якість кінцевого продукту не змінюється $C_{\text{вир}} = 67,09$ грн.

5.5 Розрахунок величини чистого прибутку

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

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

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

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

S_v – виробнича собівартість виробу, грн.;

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \Pi &= \left\{ \left[67,09 - \frac{(67,09 - 18,68) \cdot 16,67}{100} - 46,59 - \frac{10 \cdot 46,59}{100} \right] \cdot \left[1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 66940 = \\ &= 426559,32 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

5.6 Оцінювання ефективності інноваційного рішення

При оцінці ефективності інноваційних проектів передбачається розрахунок таких важливих показників, як: чистий дисконтний дохід (інтегральний ефект); внутрішня норма дохідності (прибутковості); індекс прибутковості; термін окупності.

5.6.1 Розрахунок чистого дисконтного доходу

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

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{P_t}{(1+d)^t} - K \text{ [грн.]}, \quad (5.26)$$

де P_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.

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{426559,32}{(1+0,2)^1} + \frac{426559,32}{(1+0,2)^2} + \frac{426559,32}{(1+0,2)^3} + \frac{426559,32}{(1+0,2)^4} - 1897901,89 = \\ &= 193653,03 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

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

5.6.2 Розрахунок внутрішньої норми доходності

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

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

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

A_t – амортизаційні відрахування у t -му році функціонування проекту на обладнання, яке безпосередньо було використано для розробки інноваційного рішення, грн.;

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

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

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

$$IRR_{MIN} = \sqrt[4]{\frac{426559,32 + 426559,32 + 426559,32 + 426559,32}{1897901,89}} - 1 = 0,03 .$$

5.6.3 Розрахунок терміну окупності

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

$$T_o = \frac{\Delta K (K)}{\Pi} \text{ [років]}, \quad (5.28)$$

де K – величина капітальних вкладень для розробки нової технології грн.,

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

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

$$T_o = \frac{1897901,89}{426559,32} = 4,45 \text{ (року)}.$$

5.7 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001», 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 1897901,89 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 426559,32 грн., термін окупності 4,45 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001» доцільне для впровадження.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі виконано удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001». 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 клапана КТ-48.001».

2. Варіантним вибором встановлено, що найбільш доцільними способами виготовлення заготовки є листовий та полосовий прокат. Техніко-економічні розрахунки показали, що економічно доцільніше виготовляти заготовку із листового прокату.

3. Розроблений удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001». Запропоновано два варіанти технології механічної обробки, проведено їх техніко-економічне порівняння, вибрано оптимальний варіант. Виконане розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу механічної обробки. Вибрані припуски на механічну обробку, режими різання, норми часу, встановлені розряди робітників-верстатників.

4. На прикладі обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001» на багатоінструментальному верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФ3 (клас точності «П») виконано аналіз точності обробки з виявлення елементарних похибок, які мають домінуючий вплив на сумарну похибку чистової фрезерної обробки партії сталевих заготовок на настроєному верстаті.

5. Для визначення необхідної кількості верстатів для виконання механічної обробки та забезпечення їх нормального завантаження підібрані аналогічні (за технологією обробки) деталі та розраховано приведену програму. Встановлено кількість працюючих, які забезпечать роботу верстатів на ділянці механічної обробки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001».

6. Проведені економічні розрахунки, які підтвердили доцільність впровадження удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Корпус клапана КТ-48.001», визначені капітальні вкладення, одержаний прибуток, термін окупності вкладень.

МКР містить додатки, де приведені протокол перевірки навчальної роботи та ілюстративна частина роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Пурдик В. П. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 123 с.
2. Дерібо О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. Вінниця : ВНТУ, 2023. 116 с. Електронний ресурс : https://iq.vntu.edu.ua/method/getfile.php?fname=5927.pdf&card_id=1949&id=5927.
3. Веселовська Н. Р., Шаргородський С. А., Руткевич В. С., Моторна О. О. Практикум з навчальної дисципліни «Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування» : навчальний посібник. Вінниця : ТВОРИ, 2020. 354 с.
4. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Репінський С. В. Основи технології машинобудування. Частина 1: практикум. Вінниця: ВНТУ, 2017. 106 с.
5. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Сухоруков С. І. Основи технології машинобудування. Частина 2 : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2015. 116 с.
6. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013. 125 с.
7. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. К. : Вища школа, 1993. 414 с.
8. Рудь В. Д. Курсове проектування з технології машинобудування. К. : ІСДО, 1996. 300 с.
9. Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Савуляк В. В., Сердюк О. В. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2016. 148 с.

10. Дусанюк Ж. П., Сивак І. О., Дусанюк С. В., Репінський С. В. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Гаряче об'ємне штампування : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2006. 105 с.
11. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів : Світоч, 1996. 348 с.
12. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М., Пуховський Є. С. Проектування і виробництво заготовок : підручник. К. : НТУУ «КПІ», 2014. 353 с.
13. Булига Ю. В., Веселовська Н. Р., Міськов В. П. Теорія різання. Розрахунок режимів різання : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2019. 67 с.
14. Кирилович В. А., Мельничук П. П., Яновський В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ. Під заг. ред. В. А. Кириловича. Житомир : ЖІТІ, 2001. 600 с.
15. Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
16. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Черноволик Г. О. Аналіз точності фрезерної обробки на багатоцільових верстатах з ЧПК. Промислова гідравліка і пневматика. № 3(37), 2012. С. 65–68.
17. Мазур М. П., Внуков Ю. М., Грабченко А. І. та ін. Основи теорії різання матеріалів : підручник. Львів : Новий світ, 2018. 471 с.
18. Дерібо О. В., Гарболінський О. В., Мицик І. С. До питання визначення складових мінімального проміжного припуску для попередньої обробки головних отворів у литих заготовках деталей типу «Фланець». Матеріали ІІ Всеукраїнської науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ (2023), Вінниця : ВНТУ, 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2023/paper/view/18759>.

19. Козлов Л. Г., Буренніков Ю. А., Гарболінський О. В., Лукіянов О. М. Адаптивний регулятор для механотронної гідросистеми маніпулятора Матеріали ІІ Всеукраїнської науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ (2022), Вінниця : ВНТУ, 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2022/paper/view/15816>.

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

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

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001»

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

Показники звіту подібності

Turnitin	
Оригінальність	72%
Загальна схожість	28%

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 _____ Гарболінський О. В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

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

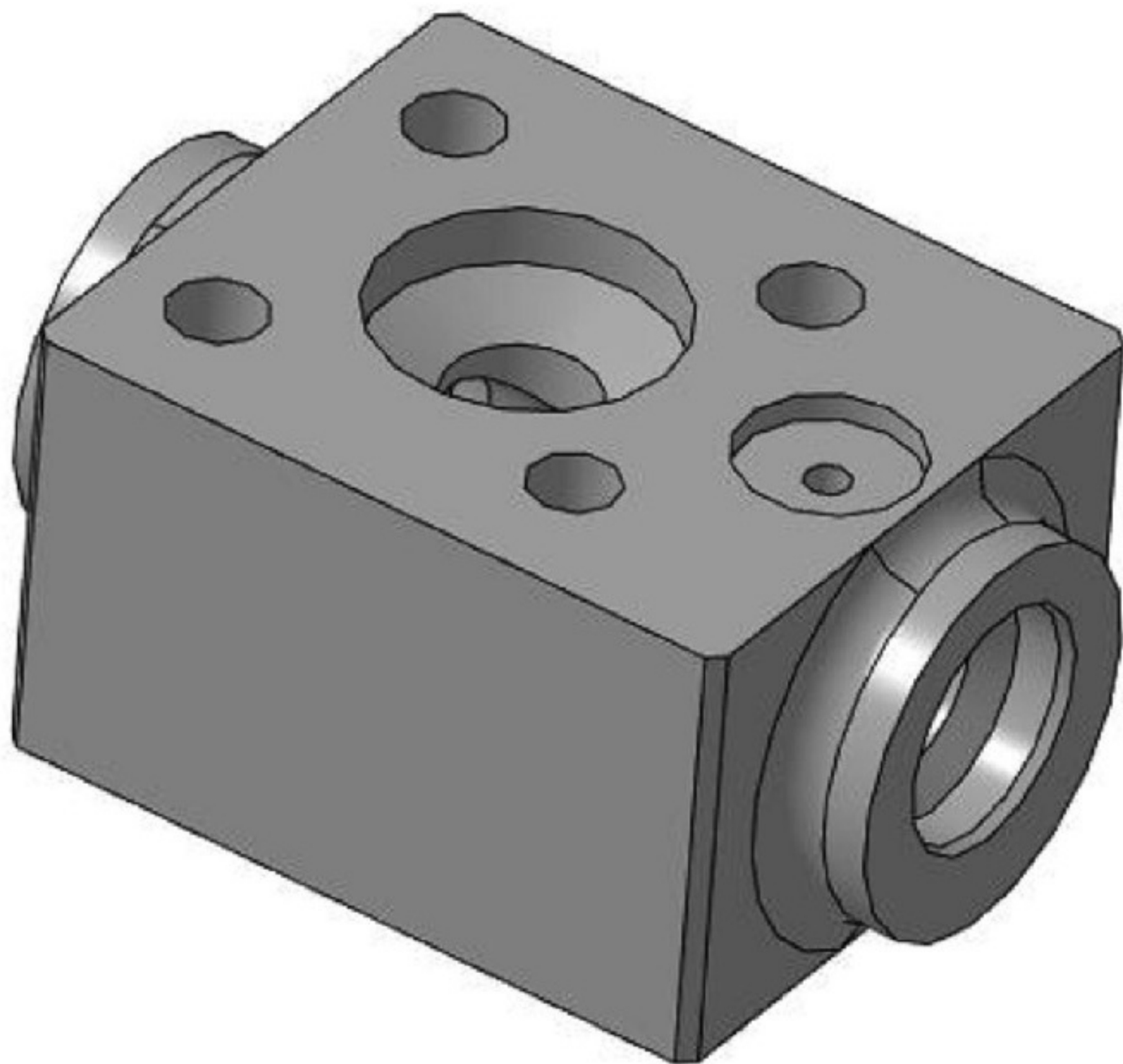
Експерт _____ Козлов Л. Г., д.т.н., проф., зав. каф. ТАМ
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Додаток

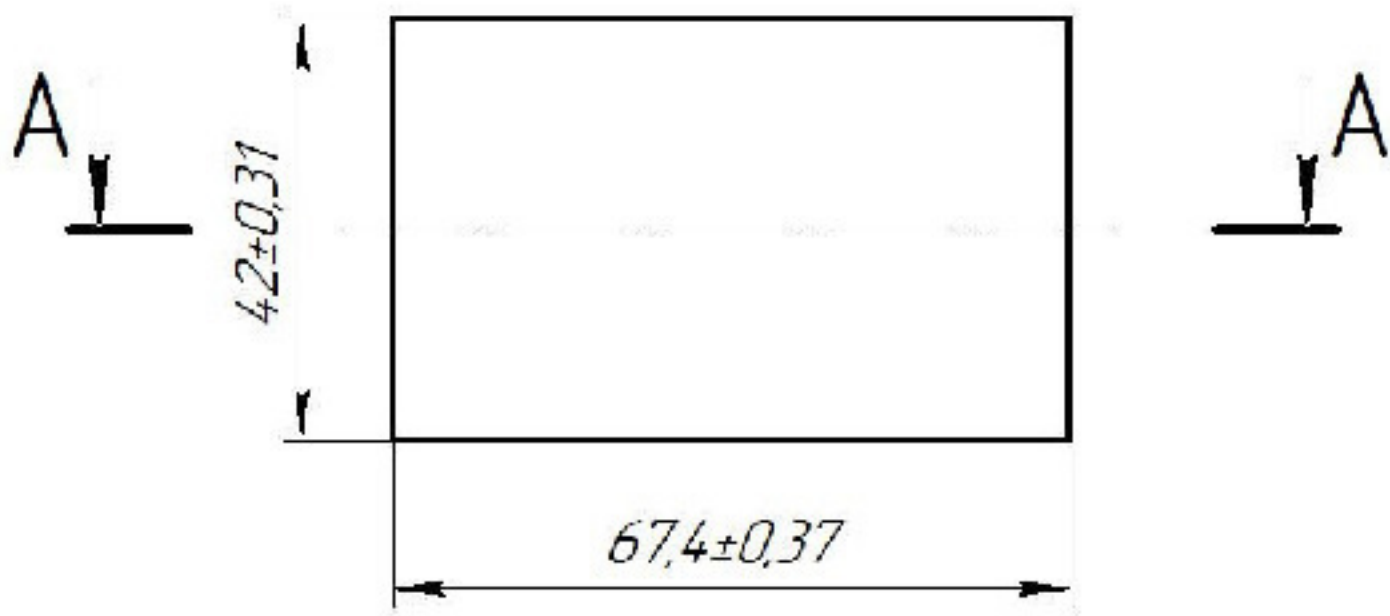
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ
ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС КЛАПАНА КТ-48.001»**

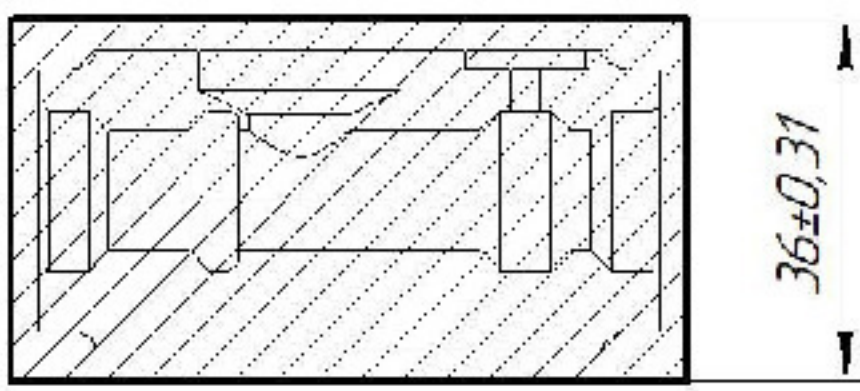
3D-модель деталі "Корпус клапана КТ-48.001"



08-64.МКР.002.00.002



A-A



1. Питома кривизна не більше 0,12 мм/мм.

08-64.МКР.002.00.002

Заготовка
з листового прокату
(ГОСТ 19903-74)

Лист	Масса	Масштаб
	0,797	1:1
Лист		Листов
		1

Лист 36x1500x6000 в 18 шт по ГОСТ 19903-74
Сталь 35 ГОСТ 1050-80

ВНТУ,
ст. гр. 1ПМ-23М

Копировал

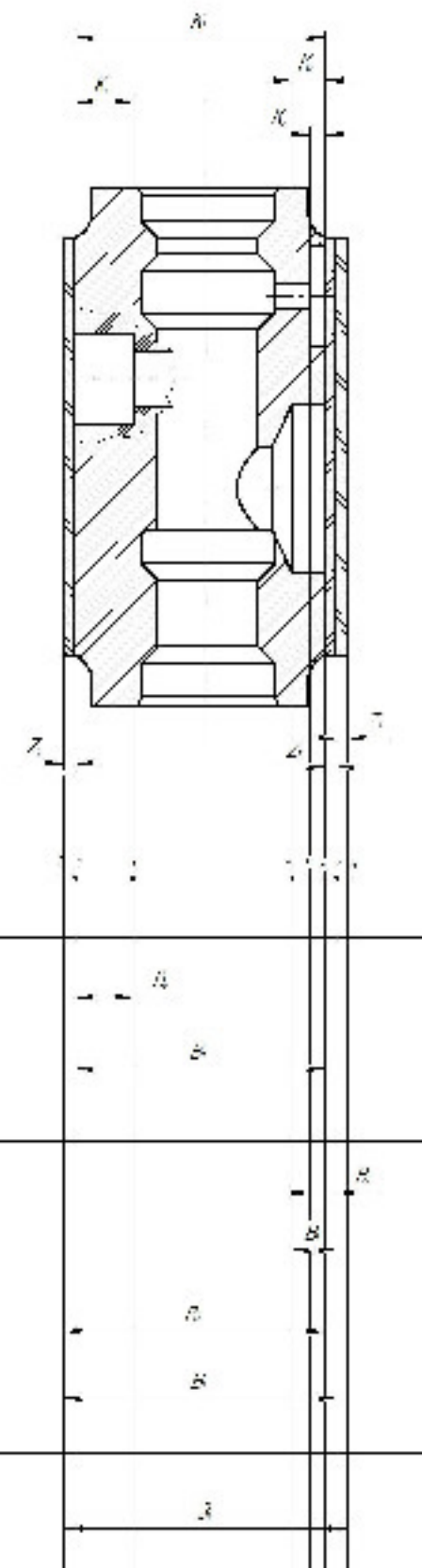
Формат А4

Маршрут механічної обробки

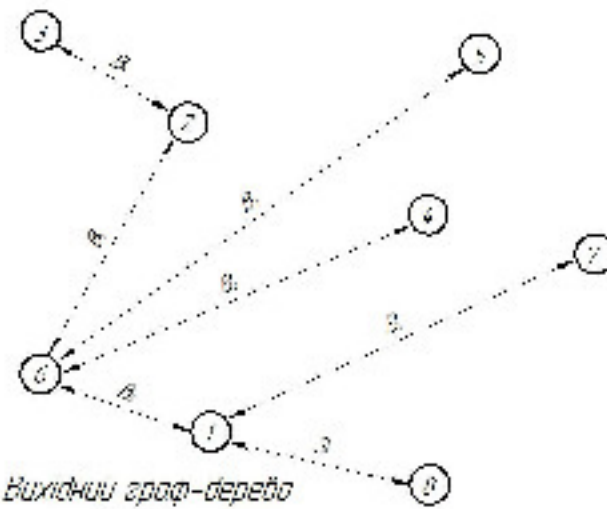
№п/п	Найменування операції. Зміст переходу	Схема установки деталі та ескіз обробки	Обладнання
005	Вертикальний фрезерний з ЧПК - Виконати зигзагоподібну. - Фрезерувати поверхню 1 попередньо в розмір 33,5_{±0,1}. - Фрезерувати поверхню 1 остаточно в розмір 33_{±0,1}. - Центрувати отвори 3 в розмір $\phi 2$. - Гнорілити отвір 3 в розмір $\phi 10^{+0,05}_{-0,05}$. - Розвернути отвір 2 в розмір $\phi 20^{+0,05}_{-0,05}$. - Гнорілити отвір 5 в розмір $\phi 3^{+0,05}_{-0,05}$. - Центрувати отвір 4 в розмір $\phi 12^{+0,05}_{-0,05}$. - Гнорілити 4 отвори 6 в розмір $\phi 6,5^{+0,05}_{-0,05}$. - Зенкувати отвір 7 в розмір $\phi 20^{+0,05}_{-0,05}$. - Розточити отвір 2 в розмір $\phi 20^{+0,05}_{-0,05}$. - Зенкувати 4 отвори 6 $\phi 6,5^{+0,05}_{-0,05}$. - Розточити 4 отвори 6 $\phi 6,5^{+0,05}_{-0,05}$. - Зняти зигзагоподібну.		Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК модель АТ260МФ3
010	Токарно-револьверний з ЧПК 1 установ - Виконати зигзагоподібну. - Токарити торці 7 попередньо і поверхню 6 однократно в розмір 65,4_{±0,1} і $\phi 26$. - Центрувати отвір 9 в розмір $\phi 2$. - Гнорілити отвір 9 в розмір $\phi 11^{+0,05}_{-0,05}$. - Зенкувати отвір 9 в розмір $\phi 11,6^{+0,05}_{-0,05}$. - Розточити отвір 10 фаску 11 в розмір $\phi 16,5^{+0,05}_{-0,05}$. - Розточити отвір 13 в розмір $\phi 16,5^{+0,05}_{-0,05}$. - Розточити фаску 12 згідно ескізу. - Нарізати різь в отвірі 10 в розмір згідно ескізу. - Токарити торці 7 остаточно в розмір 64,7_{±0,1}. - Покружлитимовити зигзагоподібну. 2 установ - Токарити торці 14 попередньо і поверхню 15 однократно в розмір 62,7_{±0,1} і $\phi 26^{+0,05}_{-0,05}$. - Розточити отвір 16 фаску 19 в розмір $\phi 16,5^{+0,05}_{-0,05}$. - Розточити отвір 17 фаску 21 в розмір $\phi 16,5^{+0,05}_{-0,05}$. - Розточити фаску 20 згідно ескізу. - Нарізати різь в отвірі 10 в розмір згідно ескізу. - Розточити отвір 16 в розмір згідно ескізу. - Токарити торці 14 остаточно в розмір 62_{±0,1}. - Зняти загострення.		Токарно-револьверний верстат з ЧПК модель АТ340Ф30
015	Вертикально-фрезерний з ЧПК - Виконати зигзагоподібну. - Фрезерувати поверхню 22 попередньо в розмір 30,3_{±0,1}. - Фрезерувати поверхню 22 остаточно в розмір згідно ескізу. - Центрувати 4 отвори 23 в розмір згідно ескізу. - Зняти бетон.		Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК модель АТ260МФ3
020	Листоципи Нірити гострі кромки.		Верстак

Розмірний аналіз технологічного процесу

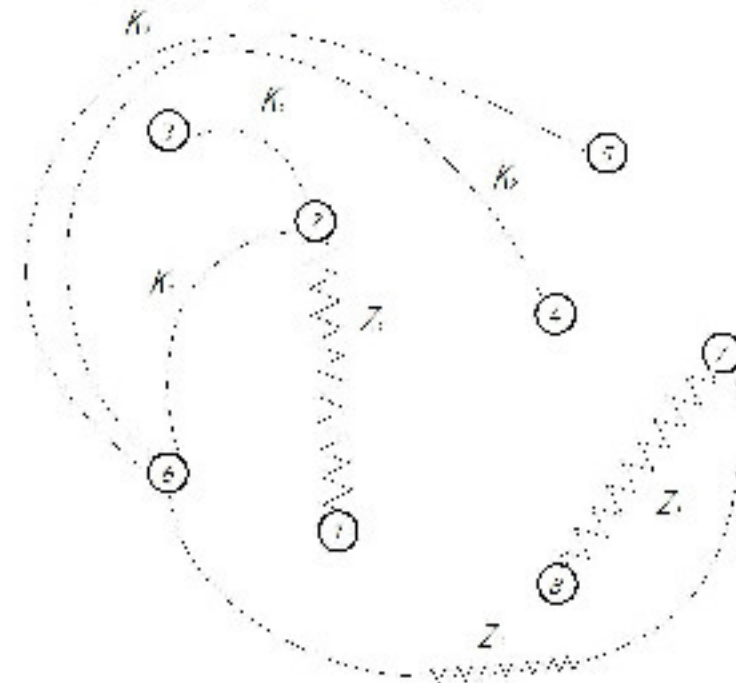
Розмірна схема технологічного процесу



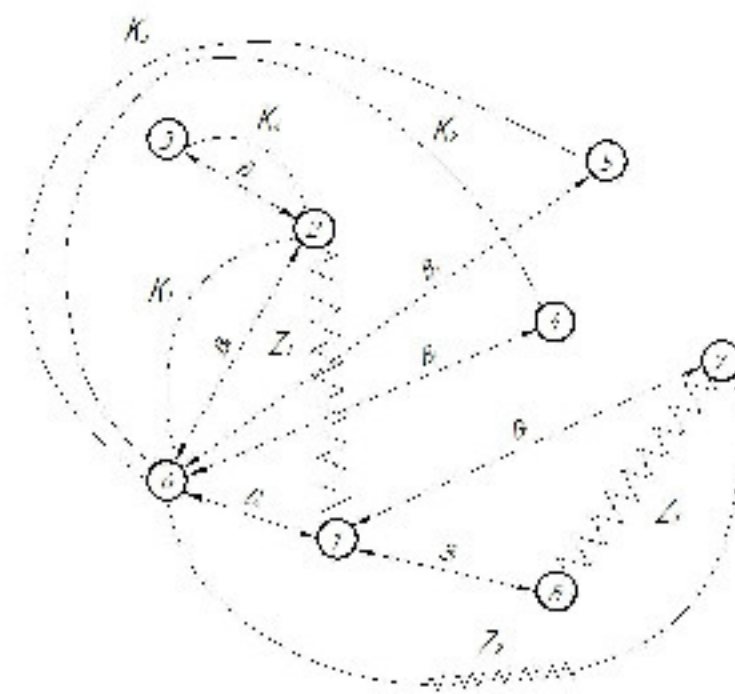
Початковий граф-дерево



Вихідний граф-дерево



Суттєвий граф



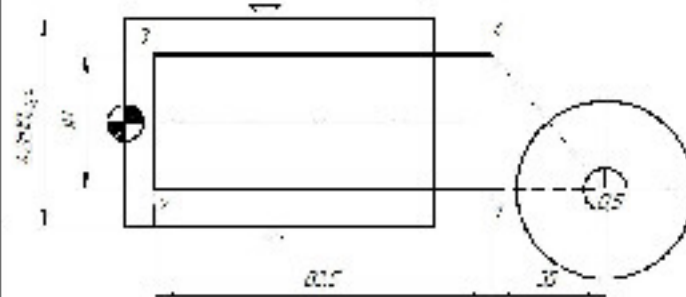
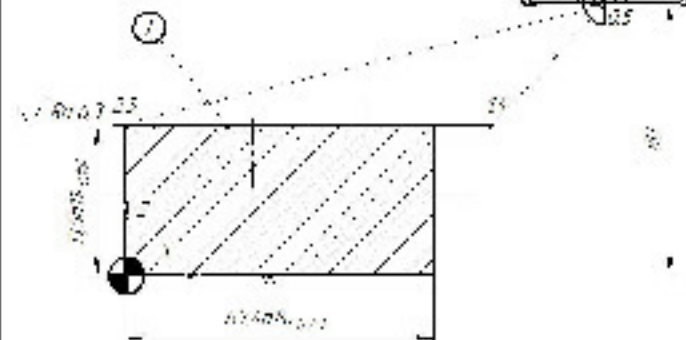
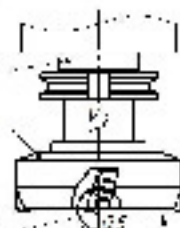
Таблиця 1 – Значення шестигранних розмірів при розмірах деталей, міліметрів

Значення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номінальний розмір	Значення розміру у стандартній таблиці	Значення розміру на кресленні вихідних елементів
	мінімальний (розмір)	максимальний (розмір)				
Н	11,6	11,74	0,14	11,5	11,5-11,7	---
В	2,5	2,7	0,2	2,5	2,5-2,7	---
В	2,7	3	0,3	2,7	2,7-3	---
В	1,85	1,95	0,1	1,85	1,85-1,9	---
Н	71,736	71,8	0,064	71,7	71,7-71,8	---
В	6,64	7	0,36	6,5	6,5-7	---
З	3,124	3,15	0,026	3,1	---	3,1-3,15

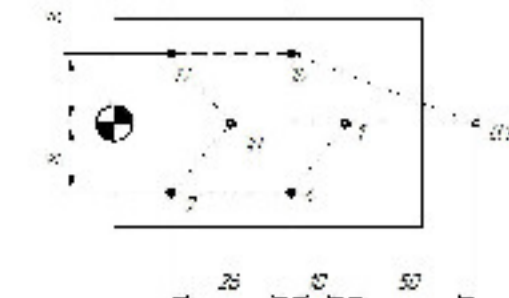
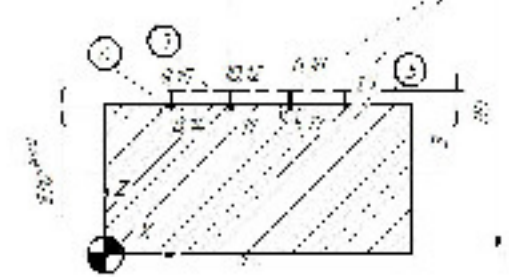
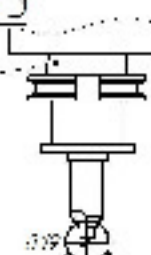
Таблиця 2 – Значення максимальних та мінімальних припусків

Габарити, мм	Припуск, мм		
	L_{max}	L_{min}	L_{avg}
Габарити припусків	2	1,5	1,75
Габарити припусків	2,5	2	2,25
Габарити припусків	3	2,5	2,75

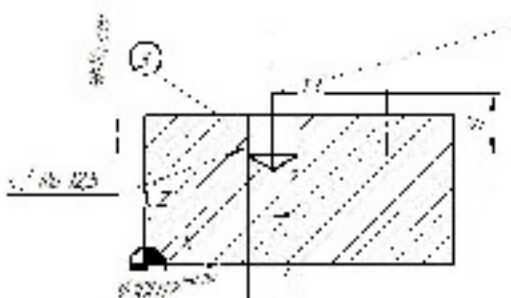
1021 1994-95
 1022 1995-96
 1023 1996-97



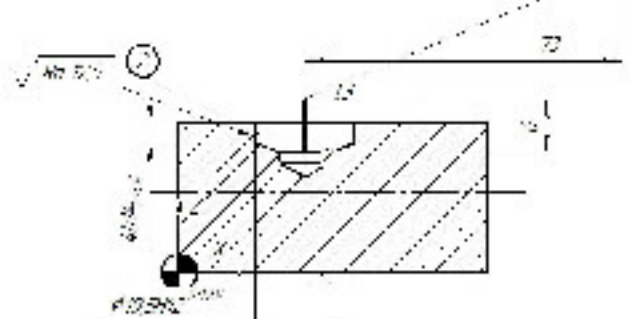
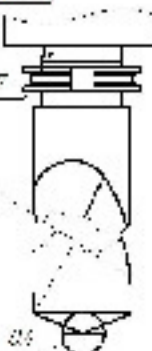
11/1/94 11:11-11:12



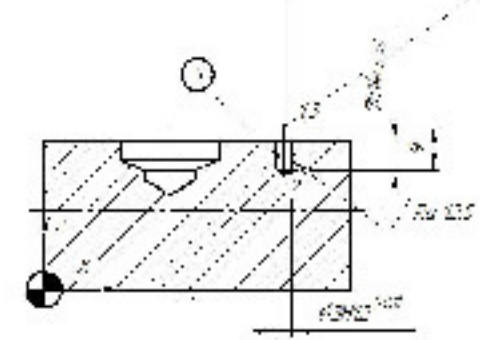
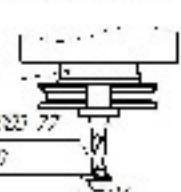
118 / 2004



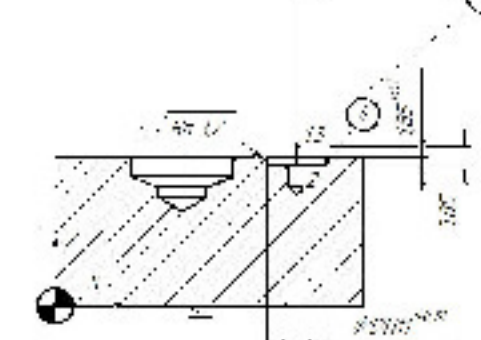
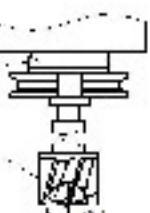
Received: 1999-09-15
Accepted: 1999-11-05



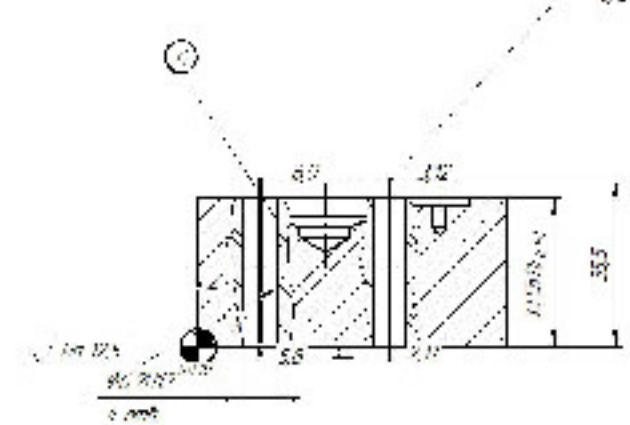
Synthesizing Skills



Debut: 6222 G
 5557-2678-07

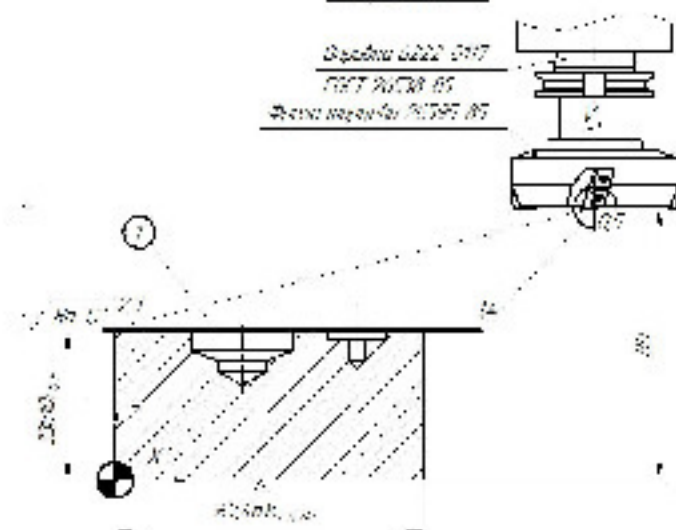


587/2073/05

[illegible]

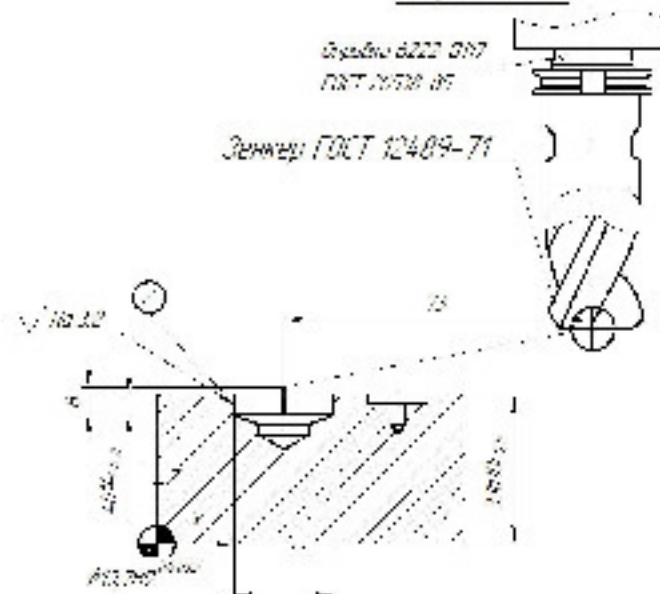
Перехід 9

Стандарт 6222-0117
ГОСТ 24738-85
Фланець металевий 16795-85



Перехід 10

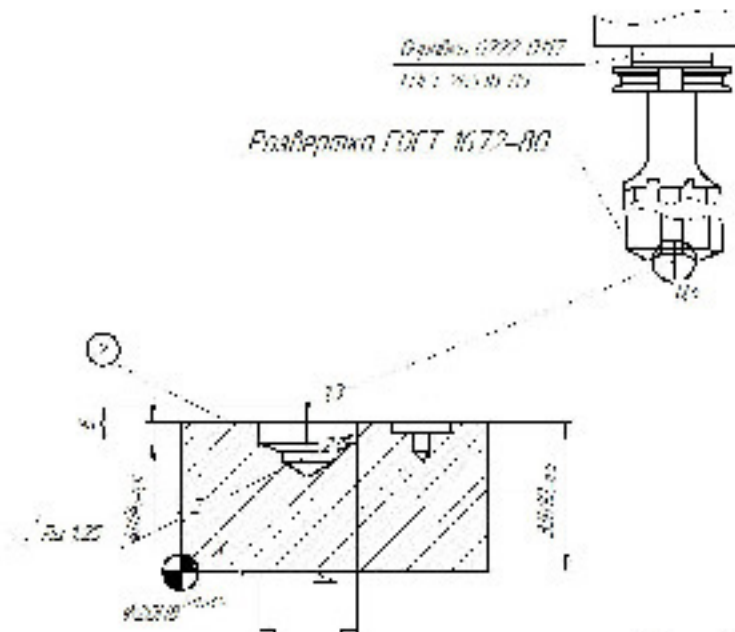
Стандарт 6222-0117
ГОСТ 24738-85
Зенкери ГОСТ 12489-71



Перехід 11

Стандарт 6222-0117
ГОСТ 24738-85

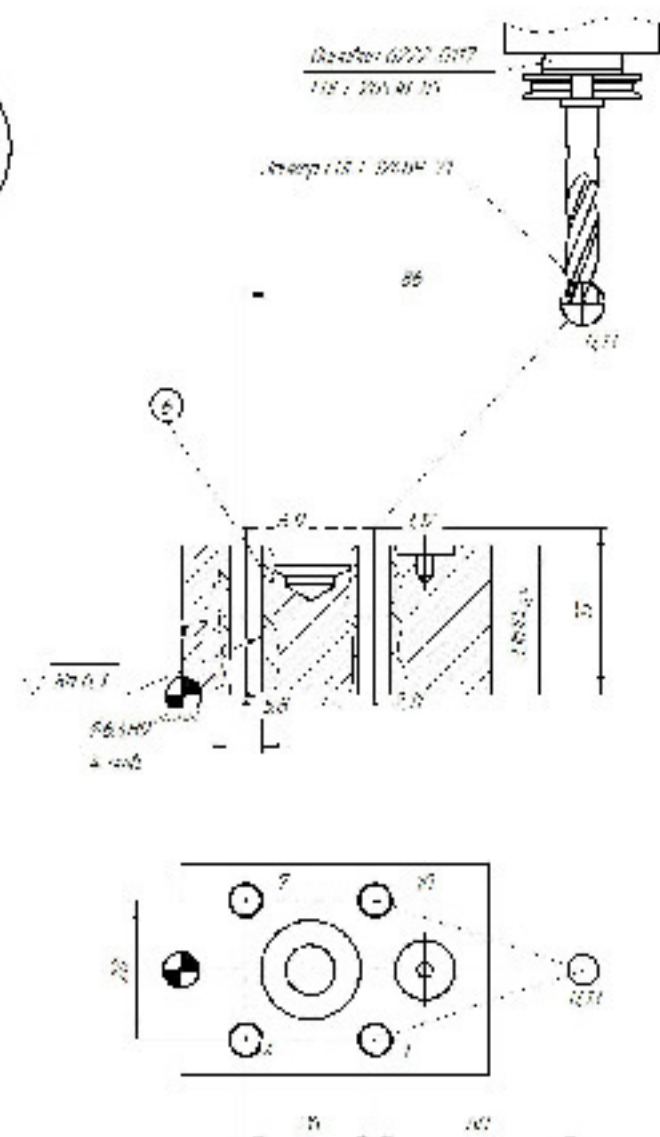
Розбірна ГОСТ 1672-80



Перехід 12

Стандарт 6222-0117
ГОСТ 24738-85

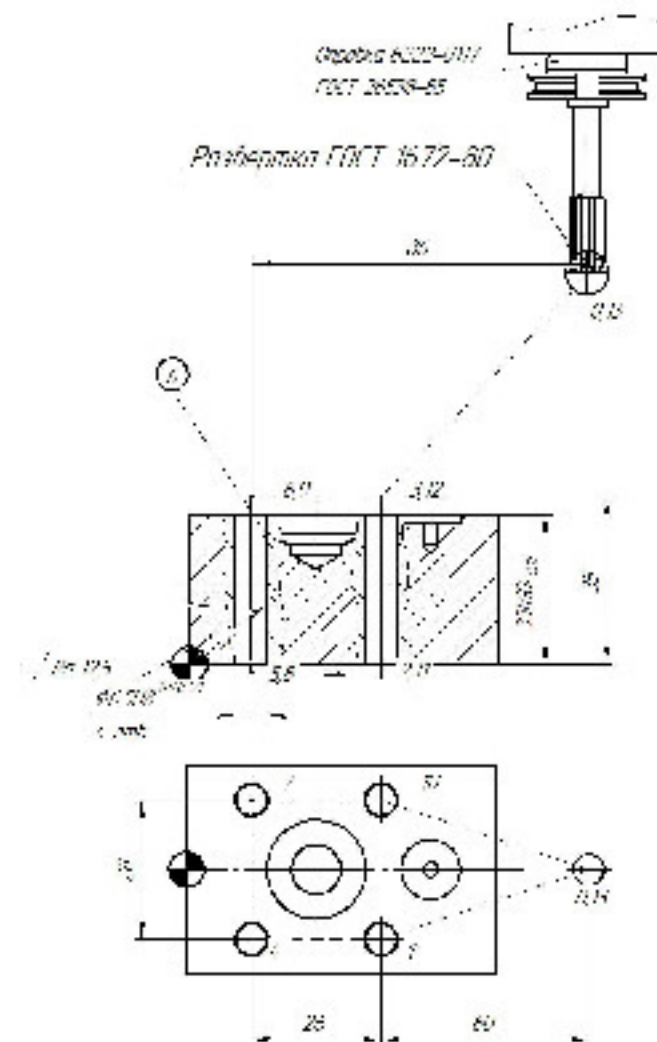
Зенкери ГОСТ 12489-71



Перехід 13

Стандарт 6222-0117
ГОСТ 24738-85

Розбірна ГОСТ 1672-80



АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ТОНКИМ ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК

Метою роботи є виявлення і порівняння рівнів впливу елементарних похибок на сумарну похибку під час чистового торцевого фрезерування сталеві заготовки на верстаті з ЧПК.

Згідно з [2], для лінійних розмірів, що координують розташування оброблюваної площини відносно іншої площини (вимірювальної бази), сумарна похибка визначається за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_y)^2 + (K_2 \varepsilon_{\text{пд}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{п.р.о.}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_5 \varepsilon_i)^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_7 \varepsilon_{\text{т}})^2} \text{ [мкм]}, \quad (1)$$

де $\frac{1}{K}$ – коефіцієнт, що залежить від бажаної імовірності роботи без браку; $K_1 \dots K_7$ – коефіцієнти, значення яких залежить від виду закону розподілу відповідних елементарних похибок: ε_y – похибка установлення заготовки у верстатний пристрій; $\varepsilon_{\text{пд}}$ – похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи і дією сили різання; $\varepsilon_{\text{п.р.о.}}$ – похибка, що спричиняється неточністю позиціонування робочого органу верстата; $\varepsilon_{\text{н}}$ – похибка настроєння інструмента на розмір обробки; ε_i – похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента; $\varepsilon_{\text{в}}$ – похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата; $\varepsilon_{\text{т}}$ – похибка, що спричиняється тепловими деформаціями технологічної системи.

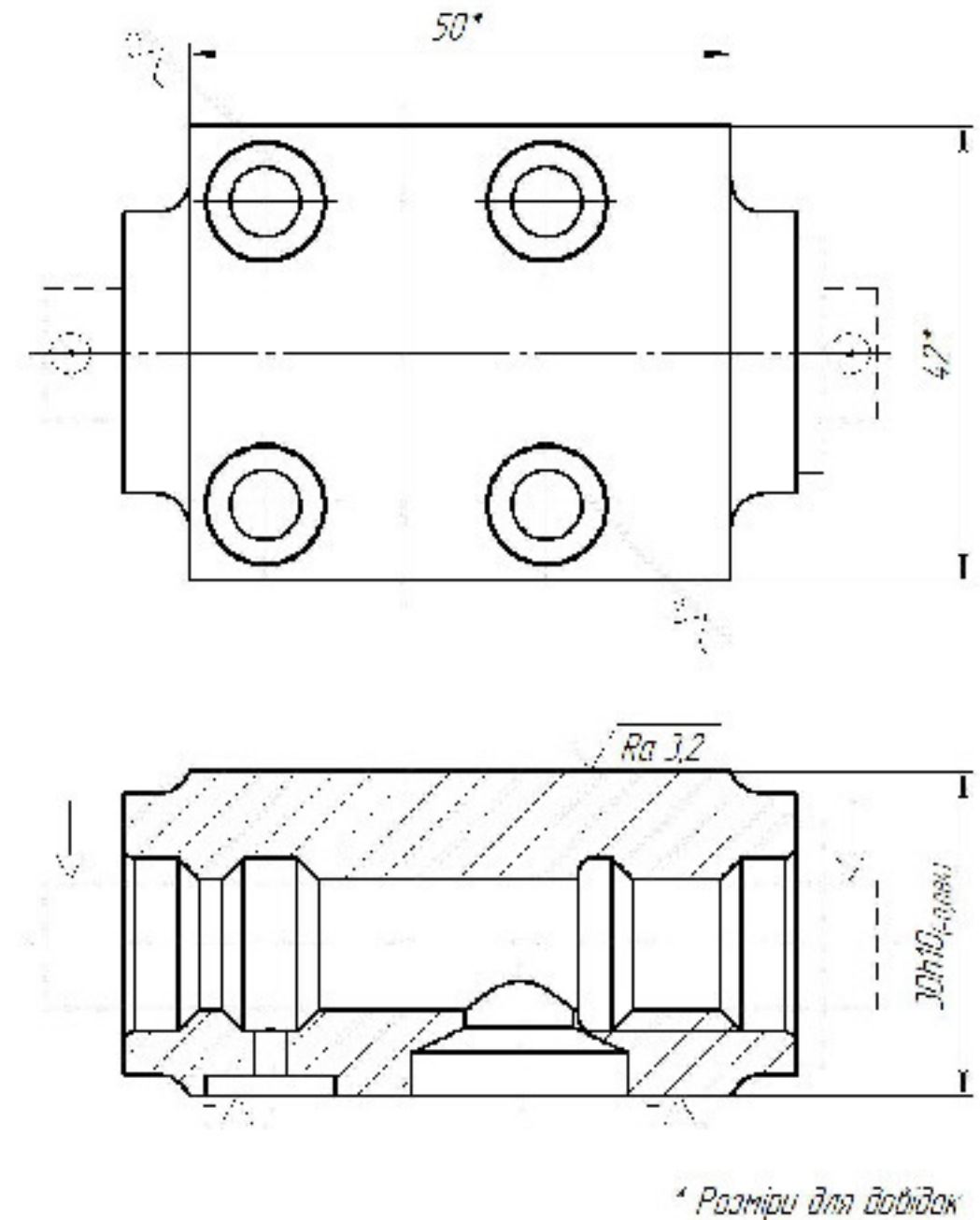


Рисунок 1 – Схема обробки площини в розмір $30h10(-0,084)$ мм (операція 015)

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ТОНКИМ ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК (продовження)

Похибку установлення визначено за формулою [6]:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{пр}^2} \text{ [мкм]}, \quad (2)$$

де ε_6 – похибка базування; ε_3 – похибка закріплення; $\varepsilon_{пр}$ – похибка положення заготовки у пристрої.

Похибку закріплення ε_3 визначено за формулою [6]

$$\varepsilon_3 = y_{\max} - y_{\min} \text{ [мкм]}, \quad (3)$$

де $y_{\max}$ і $y_{\min}$ – відповідно максимальне і мінімальне зміщення вимірювальної бази під дією сили закріплення.

Похибка $\varepsilon_{пр}$ визначалась за формулою [6]

$$\varepsilon_{пр} = \sqrt{\varepsilon_{yc}^2 + \varepsilon_{zy}^2 + \varepsilon_{пв}^2} \text{ [мкм]}, \quad (4)$$

де ε_{yc} , ε_{zy} , $\varepsilon_{пв}$ — відповідно похибки, спричинені: неточністю виготовлення і складання установочних елементів пристрою; зносом цих елементів; неточністю установлення пристрою на верстат.

Похибка, що зумовлена пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання визначалась за формулою [6]

$$\varepsilon_{пд} = \omega_{\Sigma} (P_{x_{\max}} - P_{x_{\min}}) \text{ [мкм]}, \quad (5)$$

де ω_{Σ} – сумарна податливість технологічної системи, яка враховує податливості верстата, верстатного пристрою, фрези і заготовки; $P_{x_{\max}}$ і $P_{x_{\min}}$ – відповідно найбільша і найменша величина складової сили різання, яка діє у напрямі нормалі до оброблюваної поверхні.

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ТОНКИМ ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК (продовження)

Похибку ε_n визначено з урахуванням того, що для точної завершальної обробки верстати з ЧПК зазвичай настроюються з використанням методу пробних заготовок. Згідно з [6], ε_n знайдено за формулою

$$\varepsilon_n = 1,2 \sqrt{(\varepsilon_p)^2 + (\varepsilon_{\text{вм}})^2 + (\varepsilon_{\text{зм}})^2} \text{ [мкм]}, \quad (6)$$

де ε_p – похибка регулювання положення інструмента;

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

$\varepsilon_{\text{зм}} = \varepsilon_{\text{п.д}} / \sqrt{m}$ – похибка, зумовлена зміщенням центра групування розмірів спробних заготовок відносно середини поля розсіювання в момент настроювання;

m – кількість пробних заготовок.

Похибка, що зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи згідно з [2] складає близько 15% від суми інших похибок, тобто

$$\varepsilon_t = 0,15 (\varepsilon_y + \varepsilon_{\text{п.д}} + \varepsilon_n + \varepsilon_{\text{п.і}} + \varepsilon_{\text{в}}) \text{ [мкм]}. \quad (7)$$

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ТОНКИМ ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК (продовження)

Висновки

1. На прикладі обробки заготовки деталі типу «Корпус клапана КТ-48.001» на багатоінструментальному верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФ3 (клас точності «П») виконано аналіз точності обробки з виявлення елементарних похибок, які мають домінуючий вплив на сумарну похибку чистової фрезерної обробки партії сталевих заготовок на настроєному верстаті.

2. Показано, що за прийнятих технологічних умов найсуттєвіший вплив на точність обробки мають похибка настроєння, похибка, що зумовлена неточністю позиціонування при підведенні різального інструмента (торцевої фрези) до початкової точки і похибка, що спричиняється розмірним зносом різальної кромки зубів фрези.

3. Похибка, що спричиняється розмірним зносом різальної кромки зубів фрези, зменшується до рівня похибки позиціонування робочого органу верстата завдяки використанню програмованої корекції інструмента.

4. Обробка на верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФ3 забезпечує задану точність розміру $30h10(-0,084)$ мм, оскільки сумарна похибка обробки склала 75 мкм.

5. Для зменшення сумарної похибки обробки потрібно використати верстат класу точності «В» з величиною дискрети 0,001 мм і, відповідно з точністю позиціонування 4...5 мкм.

6. Результати дослідження можуть бути використані для аналізу наявних та проектування нових технологічних процесів механічної обробки і у навчальному процесі.

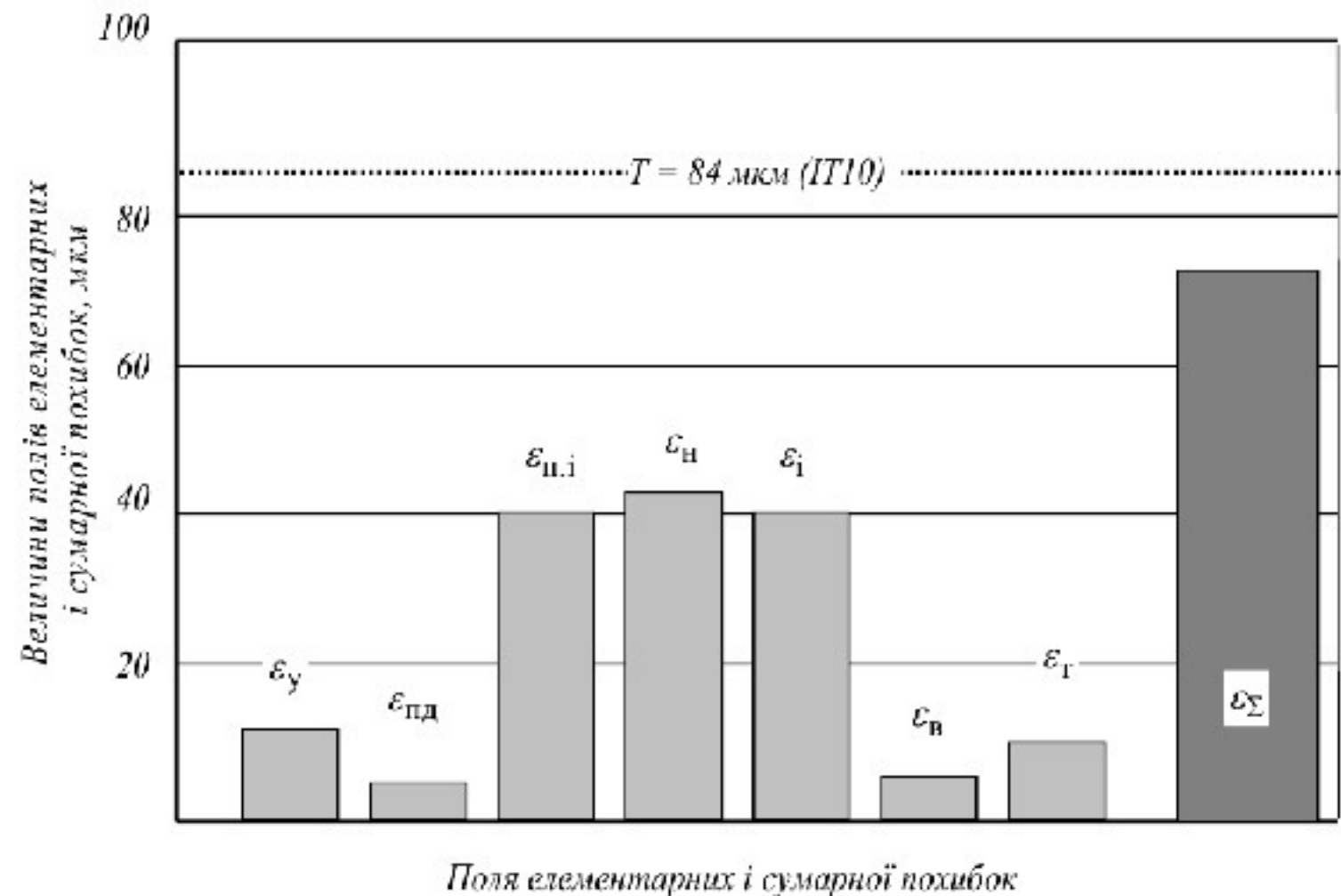


Рисунок 2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, які виникають під час чистового фрезерування заготовки на верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФ3

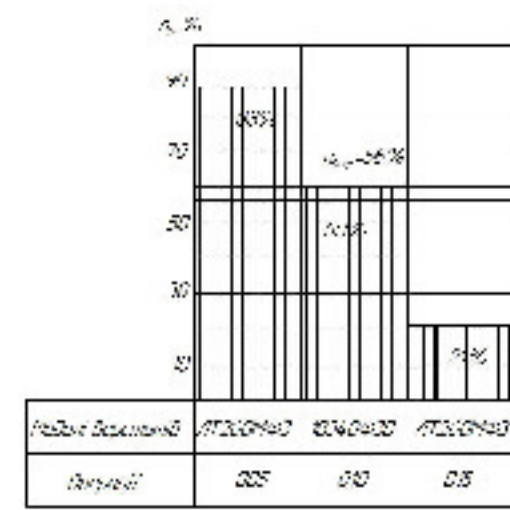
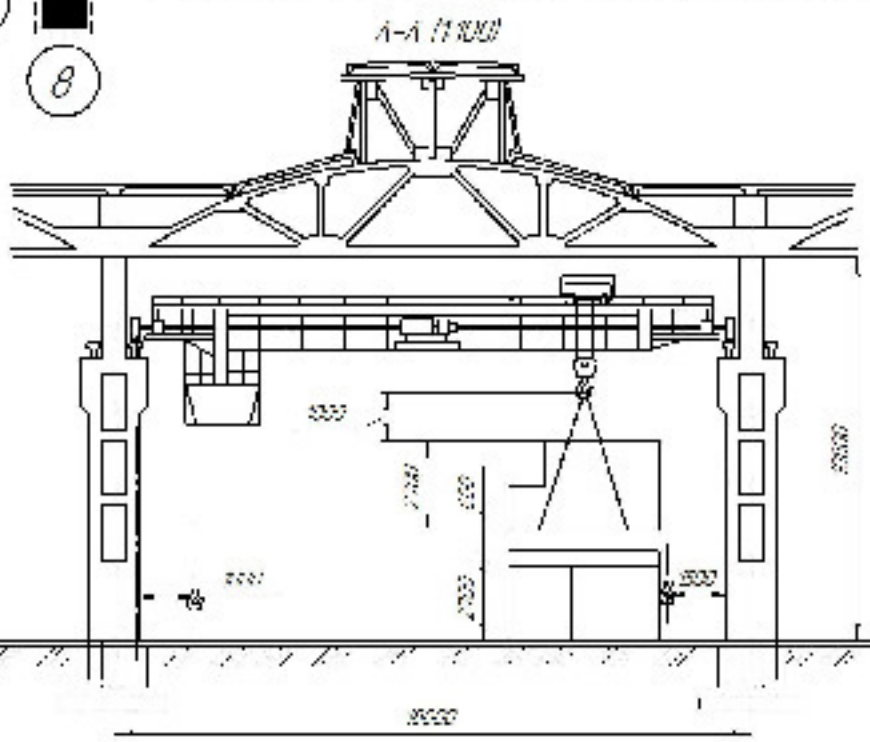
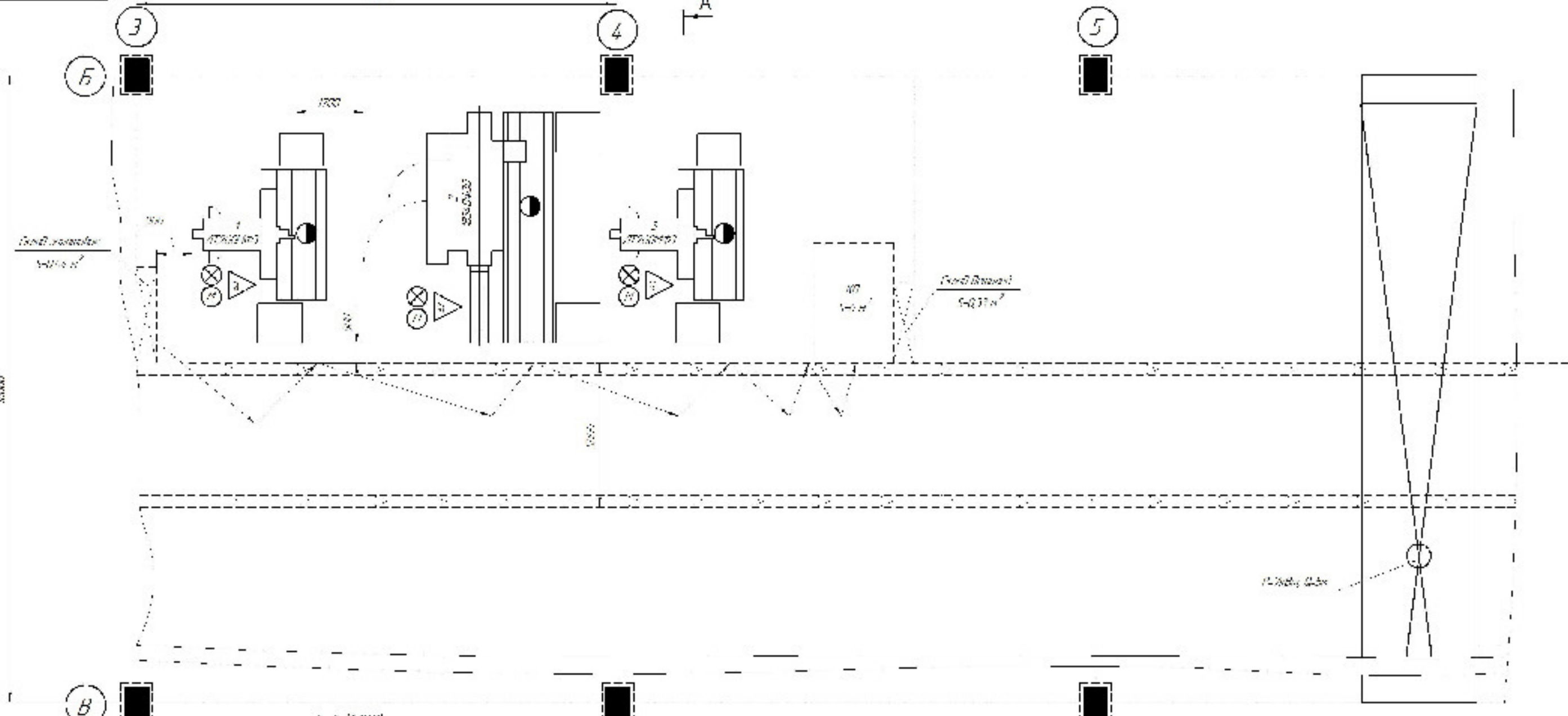


График распределения оборудования

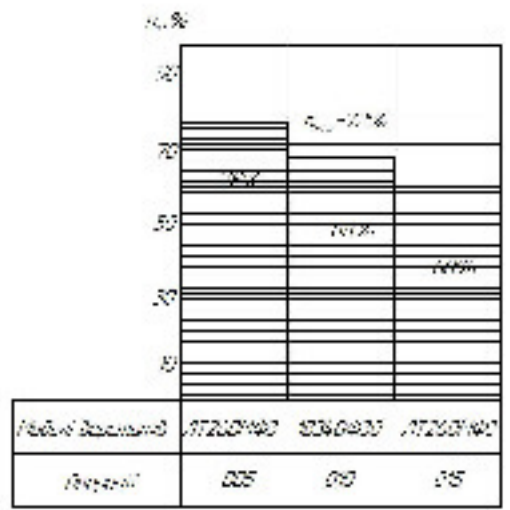


График распределения оборудования по различным видам

- Технические характеристики
1. Количество оборудования - 1 единица
 2. Генераторная
 3. Количество оборудования - 1 единица
 4. Количество оборудования - 1 единица

Об 64 МКР.002.00.600 БЗ			
Вид	Вид	Вид	Вид
План дильниці			
Вид	Вид	Вид	Вид
-			
150			
6400			
10000			

*Техніко-економічне порівняння показників
процесів механічної обробки*

Технологічний процес	Базовий	Удосконалений
Маса деталі, кг		0,414
Маса заготовки, кг		0,797
Коефіцієнт використання матеріалу	0,52	0,52
Собівартість заготовки	21,62	18,68
Кількість операцій	8	3
Основний час, хв.	7,68	4,251
Штучно-калькуляційний час, хв.	16,24	5,898
Кількість основних працівників, чел.	16	4
Середній розряд робітників	5	3
Кількість верстатів	8	3
Коефіцієнт завантаження обладнання	0,53	0,56
Коефіцієнт використання за основним часом	0,47	0,72
Виробнича площа ділянки, м ²	160	60
Капітало вкладення, грн.	–	1897901,89
Собівартість деталі, грн.	67,09	46,59
Чистий дохід, грн.	–	426559,32
Термін окупності, р.	–	4,45