

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

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


МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ
НАСОСА ЗМІННОГО РОБОЧОГО ОБ'ЄМУ»**

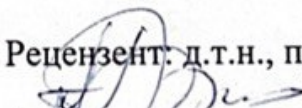
МКР.08-64.017.00.000.ПЗ

Виконав: студент групи 1ПМ-23м
спеціальності 131 – Прикладана механіка

 Богдан ЮЗЬКОВ

Керівник: д.т.н., професор каф. ТАМ
 Леонід КОЗЛОВ

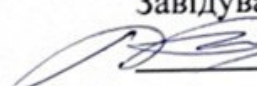
«20» грудня 2024 р.

Рецензент: д.т.н., проф., директор ІДА
 Андрій КАШКАНОВ

«20» грудня 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ТАМ

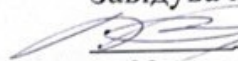
 д.т.н., проф. Леонід КОЗЛОВ

«21» грудня 2024 р.

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

 Леонід КОЗЛОВ
02 вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Юзькову Богдану Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи:

«Розроблення електрогідравлічного регулятора для насоса змінного
робочого об'єму»

керівник роботи: д.т.н., професор Козлов Л. Г.

затверджені наказом ВНТУ від 17.09.2024 року № 310

2. Строк подання студентом роботи 20 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Креслення деталі: Корпус електрогідравлічного
регулятора, матеріал: Сталь 45 ГОСТ 4543-71, Програма випуску: 1600 шт.

4. Зміст текстової частини: експериментальні дослідження роботи гідросистеми з
насосом змінного робочого об'єму та електрогідравлічним регулятором,
визначення типу виробництва і форми організації роботи, аналіз конструкції і
технологічності деталі, вибір способу виготовлення заготовки, розробка маршруту
механічної обробки, розрахунок елементів дільниці механічної обробки,
визначення ефективності застосування результатів науково-технічних робіт по
розробленню електрогідравлічного регулятора для насоса змінного робочого
об'єму

5. Перелік ілюстративного матеріалу

креслення деталі «Корпус електрогідравлічного регулятора», креслення заготовки
деталі, схему експериментального стенда, результати експериментальних
досліджень роботи гідросистеми з насосом змінного робочого об'єму та
електрогідравлічним регулятором у графіках, маршрут механічної обробки деталі
«Корпус електрогідравлічного регулятора», розмірний аналіз технологічного
процесу, розрахунок елементів дільниці механічної
обробки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	д.т.н., проф. Леонід КОЗЛОВ	02.09.2024	14.12.2024
Економічна частина	к.т.н., проф. Олександр ЛЕСЬКО	02.09.2024	14.12.2024

7. Дата видачі завдання 02 вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	При-м.
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	16.09.2024	Вик.
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	04.10.2024	Вик.
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	21.10.2024	Вик.
4	Виконання розділу «Економіка»	28.11.2024	Вик.
5	Перевірка на антиплагіат	04.12.2024	Вик.
6	Попередній захист МКР	08.12.2024	Вик.
7	Нормоконтроль МКР	14.12.2024	Вик.
8	Рецензування МКР	20.12.2024	Вик.
9	Захист МКР	24.12.2024	Вик.

Студент


(підпис)

Богдан ІЮЗЬКОВ

Керівник роботи


(підпис)

Леонід КОЗЛОВ

АНОТАЦІЯ

УДК 621.9

Юзьков Б.О. Розроблення електрогідравлічного регулятора для насоса змінного робочого об'єму. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – Прикладна механіка, освітня програма – Технології машинобудування. Вінниця: ВНТУ, 2024. 110 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 17 назв; рис.: 20; табл. 21.

У магістерській кваліфікаційній роботі проведено експериментальні дослідження гідросистеми з насосом змінного робочого об'єму та електрогідравлічним регулятором, розробленим і виготовленим із застосуванням сучасних технологій обробки та високопродуктивного обладнання. Дослідження виконувались у рамках науково-дослідних проектів кафедри технологій і автоматизації машинобудування.

У технологічній частині роботи представлено технологічний процес виготовлення деталі «Корпус електрогідравлічного регулятора». Здійснено аналіз конструкції та технологічності деталі, вибір способу отримання заготовки, розроблено маршрут механічної обробки, визначено режими різання, надано рекомендації щодо інструменту та обладнання. Також визначено виробничі параметри ділянки механічної обробки, розраховано економічну ефективність і обґрунтовано доцільність науково-технічних розробок.

Графічна частина складається з 10 плакатів.

Ключові слова: електрогідравлічний регулятор, гідросистема, насос, заготовка, верстат з ЧПК.

ABSTRACT

Yuzkov B.O. Development of an electrohydraulic regulator for a variable displacement pump. Master's qualification thesis on specialty 131 - Applied mechanics, educational program - Mechanical engineering technologies. Vinnytsia: VNTU, 2024. 110 p.

In Ukrainian speech. Bibliography: 17 titles; Fig.: 20; table 21.

In the master's qualification work, experimental studies of a hydraulic system with a pump of variable working volume and an electro-hydraulic regulator, developed and manufactured using modern processing technologies and high-performance equipment, were carried out. Research was carried out within the framework of research projects of the Department of Technologies and Automation of Mechanical Engineering.

In the technological part of the work, the technological process of manufacturing parts of the "Electro-hydraulic regulator body" is presented. An analysis of the design and manufacturability of the part was carried out, a method of obtaining the workpiece was selected, a machining route was developed, cutting modes were determined, and recommendations regarding tools and equipment were provided. Also, the production parameters of the mechanical processing section were determined, the economic efficiency was calculated and the expediency of scientific and technical developments was substantiated.

The graphic part consists of 10 posters.

Keywords: electro-hydraulic regulator, hydraulic system, pump, workpiece, CNC machine tool.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГІДРОСИСТЕМИ З НАСОСОМ ЗМІННОГО РОБОЧОГО ОБ'ЄМУ ТА ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ	10
2. ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА І ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ	20
2.1 Визначення маси деталі.....	20
2.2 Визначення типу виробництва.....	22
2.3 Визначення організації форми виробництва.....	27
3. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ДЕТАЛІ	29
3.1 Аналіз конструкції деталі.....	29
3.2 Аналіз технологічності деталі.....	30
4. ВИБІР СПОСОБУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ	35
4.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки та визначення їх розмірів.....	35
4.2 Оформлення ескізів обох варіантів виготовлення заготовки.....	37
4.3 Розрахунок маси і коефіцієнтів використання матеріалу для обох варіантів заготовки	38
4.4 Техніко-економічне порівняння обох варіантів отримання заготовок та вибір найраціональнішого	39
5. РОЗРОБКА МАРШРУТУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	43
5.1 Аналітичний огляд відомих маршрутів механічної обробки подібних деталей в умовах даного типу виробництва.....	43
5.2 Вибір способів механічної обробки поверхонь із підвищеними вимогами точності. Визначення кількості ступенів механічної обробки	44
5.3 Вибір чистових технологічних баз.....	48
5.4 Вибір чорнових технологічних баз.....	50
5.5 Орієнтовний вибір інструменту та вибір обладнання	51

5.6 Проектування маршруту механічної обробки.....	53
5.7 Розмірний аналіз технологічного процесу.....	56
5.7.1 Вибір розташування технологічних розмірів.....	56
5.7.2 Попереднє призначення допусків технологічних розмірів. Розмірна схема технологічного процесу.....	57
5.7.3 Похідний, вихідний графі-дерева, суміщений граф.....	58
5.7.4 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів.....	59
5.7.5 Визначення проміжних мінімальних пропусків на механічну обробку плоских поверхонь.....	59
5.7.6 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків, корекція допусків технологічних розмірів.....	60
5.8 Визначення припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричних поверхонь.....	62
5.9 Визначення режимів різання при різних методах обробки	69
5.10 Визначення технічних норм часу для всіх операцій.....	73
6 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ.....	75
6.1. Розрахунок приведеної програми	75
6.2. Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження обладнання	78
6.3. Розрахунок кількості працюючих.....	79
7 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РОБІТ ПО РОЗРОБЛЕННЮ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ НАСОСА ЗМІННОГО РОБОЧОГО ОБ'ЄМУ	81
7.1. Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи.....	81
7.2. Оцінка комерційного потенціалу науково-технічної розробки	82
7.3. Визначення витрат на науково-дослідну роботу.....	85
7.4 Розрахунок економічної ефективності науково-дослідної роботи	92
ВИСНОВКИ.....	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	99
Додатки.....	101

ВСТУП

Актуальність теми: стан економіки та промисловості безпосередньо пов'язаний з розвитком машинобудування, оскільки ця галузь забезпечує підприємства необхідними ресурсами, машинами та устаткуванням, що сприяють розвитку інших секторів економіки. Машинобудування є важливим двигуном науково-технічного прогресу, а також впливає на зростання валового внутрішнього продукту (ВВП). Від рівня розвитку машинобудування залежать такі показники, як матеріаломісткість і енергоємність, що прямо корелюють з обороноздатністю держави.

Сьогодні рівень розвитку машинобудування в Україні відстає від багатьох розвинених країн, що ставить перед країною задачу покращення цієї ситуації. Здебільшого використовуються гідросистеми з нерегульованими насосами, які мають низку недоліків, а отже знижують їхню ефективність і обмежують сферу застосування. До основних недоліків можна віднести: відсутність можливості точного регулювання, що ускладнює роботу; високі втрати енергії в результаті постійної подачі насоса незалежно від потреби, частина енергії перетворюється на тепло, що вимагає додаткового охолодження; перерегулювання і нестабільність, які проявляються як виникають коливання тиску в гідросистемі, особливо під час змін навантаження. Однак запровадження новітніх технологій може стати шляхом до зміцнення позицій у цій галузі.

Сучасне машинобудування орієнтується на наукомісткі технології, де функціональні навантаження частково передаються на інтелектуальні системи – комп'ютери, робототехнічні комплекси, автоматизовані виробничі лінії. Це дозволяє знижувати витрати на енергію та матеріали, підвищувати точність і продуктивність виробництва.

Мета та завдання дослідження: метою магістерської кваліфікаційної роботи є розроблення електрогідравлічного регулятора для насоса змінного робочого об'єму з покращеними характеристиками.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі основні задачі: розрахунки для проектування та виготовлення електрогідравлічного регулятора насоса, виготовлення прототипу електрогідравлічного регулятора, експериментальні дослідження роботи гідросистеми. Ці кроки дозволять розробити, виготовити та протестувати електрогідравлічний регулятор, що забезпечить покращення характеристики роботи гідросистеми і підвищить її ефективність.

Об'єкт дослідження: регульований насос з електрогідравлічним регулятором.

Предмет дослідження: робочі процеси в гідравлічній системі, оснащений регульованим насосом та електрогідравлічним регулятором.

Наукова новизна та практичне значення одержаних результатів: встановлено взаємозв'язок нелінійного характеру між конструктивними параметрами електрогідравлічного регулятора насоса і робочими характеристиками гідросистеми.

Апробація результатів роботи: ключові положення та результати дослідження були представлені та розглянуті на конференції:

XXVIII Міжнародна науково-технічна конференція “Гідроаеромеханіка в інженерній практиці”.

Товкач А.О., Козлов Л.Г., Ковальчук В.А., Макогонюк В.В., Юзьков Б.О. «Покращення статистичної характеристики гідросистеми з регульованим насосом та контролером» в матеріалах XXVIII Міжнародної науково-технічної конференції “Гідроаеромеханіка в інженерній практиці”, Київ, НТУУ КПІ, 2024. [Електронний ресурс].

Режим доступу: <https://conf.pgm.kpi.ua/2024/schedConf/presentations>.

Дата звернення: грудень 2024.

1 РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ НАСОСА ЗМІННОГО РОБОЧОГО ОБ'ЄМУ

Машинобудівна та сільськогосподарська промисловість у світі активно використовують різноманітні технології для підвищення ефективності виробничих процесів. Одним з ключових завдань є транспортування зерна та інших культур з полів на бази без втрат часу та якості [1].

Автомобілерозвантажувач для зерна – це спеціалізоване обладнання, призначене для розвантаження зерна з вантажних автомобілів. Він значно скорочує час і зусилля, необхідні для розвантаження, зберігаючи при цьому мінімальні втрати і якість зерна. Такі розвантажувачі активно використовуються на сільськогосподарських підприємствах, складах та інших об'єктах, де потрібно ефективно обробляти великі обсяги зерна.

Автомобілерозвантажувачі можуть бути стаціонарними та пересувними (включаючи самохідні), тупиковими або проїзними. Структура автомобілерозвантажувача включає в себе довгу платформу, на яку заїжджає транспортний засіб, який фіксується за допомогою систем безпеки. Вивантаження здійснюється через задній або бічний борт кузова: силовий блок нагнітає тиск у гідроциліндрі, що піднімає одну зі сторін платформи. Платформа піднімається до 38 градусів, що дозволяє повністю вивантажити кузов транспорту.

Зазвичай автомобілерозвантажувачі оснащуються гідросистемами з нерегульованими насосами та релейними розподільниками [2, 3]. Принципова схема такої гідросистеми показана на рисунку 1.1.

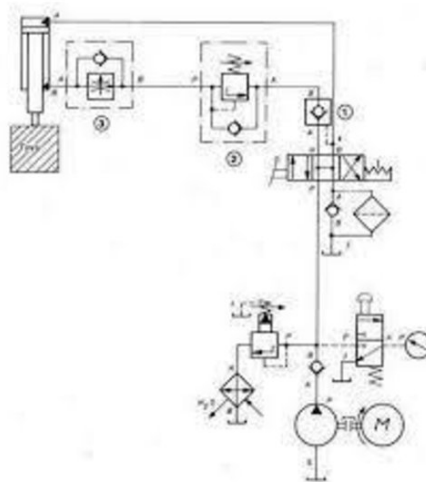


Рисунок 1.1 – Принципова схема гідросистеми типового автомобілерозвантажувача

Гідросистема включає двигун, нерегульований насос з запобіжним клапаном, бак, блок керуючих клапанів, дросель, зворотний клапан і гідроциліндр. Під час підйому та опускання платформи на гідроциліндри впливає змінне навантаження, яке залежить від висоти підйому. Це викликає нелінійність швидкості підйому та опускання, що є суттєвим недоліком такої гідросистеми та погіршує її загальну ефективність [4, 5].

Розробка нових типів приводів і впровадження сучасних технологій з пропорційним керуванням дозволить значно поліпшити робочі характеристики, підвищити якість процесу та вдосконалити технічний рівень гідросистем, що виготовляються на підприємствах України. Така робота вимагає експериментальних досліджень та випробувань нових рішень і схем гідросистем.

Метою цієї роботи є розроблення електрогідравлічного регулятора для насоса змінного робочого об'єму з покращеними характеристиками та проведення експериментальних досліджень роботи гідросистеми з насосом змінного об'єму та розробленим електрогідравлічним регулятором. Спроековано та виготовлено електрогідравлічний регулятор насоса (рисунок 1.2), на основі якого буде вдосконалюватися гідросистема автомобілерозвантажувача. Під час роботи

оцінювались ефективність, надійність та стабільність роботи електрогідравлічного регулятора.

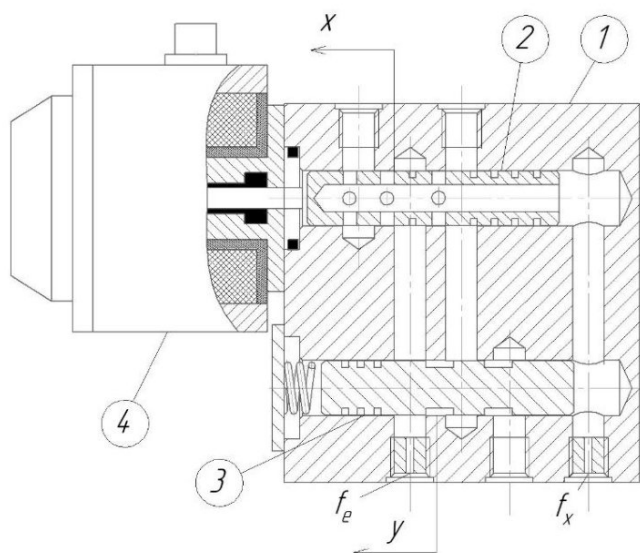


Рисунок 1.2 - Гідравлічна схема розробленого електрогідравлічного регулятора насоса

Електрогідравлічний регулятора насоса складається з корпусу 1, сервозолотників 2 та 3, електромагніта 4. В регулятор встановлені демпфер f_e сервоплунжера насоса та дросель f_x регулятора насоса. Позначення x та y – переміщення сервозолотників в прямому напрямленні.

Для дослідження характеристик роботи гідросистем, що включає розроблений регулятор, був створений експериментальний стенд, схема якого показана на рисунку 1.3.

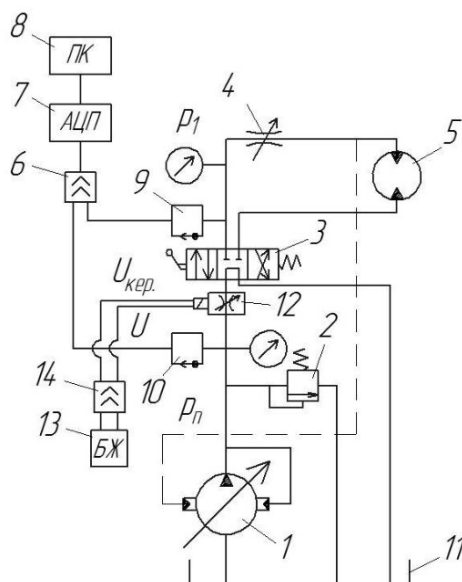


Рисунок 1.3 - Схема експериментального стенда

Стенд складається з насоса 1, запобіжного клапана 2, розподільника 3, дроселя 4, гідромотора 5, підсилювачів 6 і 14, аналого-цифрового перетворювача (АЦП) 7, комп'ютера 8, датчиків тиску 9 та 10, бака 11, електромагнітного дроселя 12 і блоку живлення 13.

Принцип роботи наступний: насос 1 подає рідину через електромагнітний дросель 12 до розподільника 3, який керує обертанням і зупинкою реверсивного гідромотора 5. Навантаження на насос імітується за допомогою дроселя 4. Запобіжний клапан 2 захищає систему від надмірного тиску, який регулюється налаштуванням пружини, що діє на запірно-регулюючий елемент.

Датчики тиску Nagano SML-20.0, розташовані в гідролінії, фіксують зміни тиску, і сигнали від них передаються через підсилювач на аналого-цифровий перетворювач L-Card E14-140-M і далі на комп'ютер. Для візуалізації процесів використовується програмне забезпечення LGraph. Блок живлення 13, через підсилювач 14, живить пропорційний електромагніт. Напруга на електромагніті постійна (13 В), а напруга керування варіюється від 0 до 12 В.

На рисунку 1.4 наведено фото експериментального стенда.



Рисунок 1.4 - Фото експериментального стенда

Експериментальний стенд дозволяє проводити дослідження гідросистеми, одночасно фіксуючи кілька параметрів у статичних та динамічних режимах роботи:

- визначення подачі насоса Q_n через площу дроселя f_g ;
- оцінка тиску p_c і p_n на виході насоса на основі площі дроселя f_c ;
- аналіз зміни тиску p_c і p_n при зміні налаштувань дроселя;
- визначення залежності подачі Q_n від тиску p_c при різних режимах керування регулятором;
- вимірювання подачі Q_n через гідросистему з використанням гідромотора і тахометра;
- запис осцилограм робочого процесу за допомогою АЦП/ЦАП;
- вимірювання тиску в гідролініях з використанням датчиків тиску Nagano ADZ-SML 20.0;

Технічні характеристики стенда:

- номінальна подача насоса: $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;
- номінальний тиск насоса: 16 МПа;
- діапазон регулювання подачі насоса: $(0,05 \dots 1,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;
- АЦП з роздільною здатністю 14 біт і частотою 200 КГц;
- ступінь фільтрації: 15 мкм;

- точність вимірювання тиску: $\pm 1,5\%$;
- точність вимірювання частоти гідромотора: $\pm 1,0\%$;
- точність вимірювання напруги: $\pm 0,5\%$;
- точність вимірювання струму: $\pm 0,5\%$;
- точність вимірювання температури: $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

До гідросистеми, що досліджується, висуваються такі вимоги [4, 5]:

- час регулювання $t_p < 1,0$ с;
- перерегулювання $\sigma < 70\%$;
- втрати потужності в системі керування насосом змінного робочого об'єму

$P_y < 1,5$ кВт.

На рисунку 1.5 показано графік, що демонструє залежність частоти обертання гідромотора від тиску в гідролінії p_1 при різних значеннях подачі Q насоса 1.

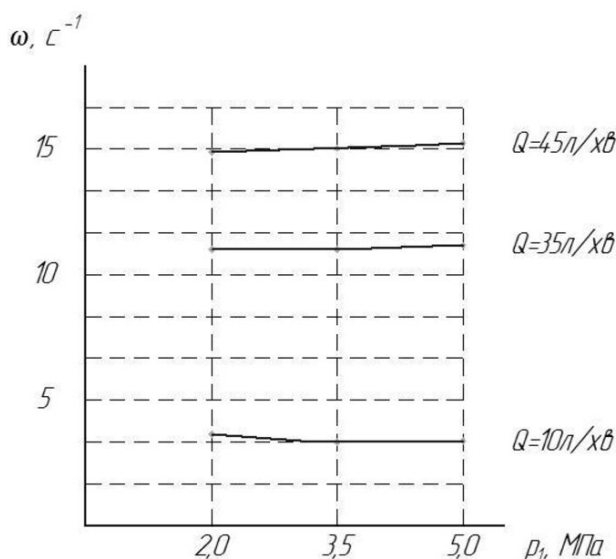


Рисунок 1.5 – Залежність частоти обертання гідромотора від тиску в лінії p_1

Температура робочої рідини на момент вимірювань складала $t=25^\circ\text{C}$. Похибка стабілізації величини подачі насоса A_{cm} при $\omega=3,5\text{с}^{-1}$ становила $A_{cm}=9\%$, при $\omega=11\text{с}^{-1}$ - $A_{cm}=4\%$, а при $\omega=15\text{с}^{-1}$ не перевищувала $A_{cm}=5\%$.

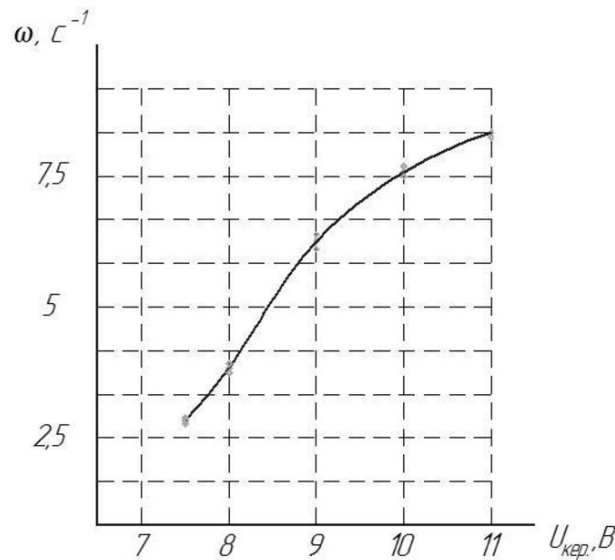


Рисунок 1.6 – Частота обертання гідромотора від напруги керування $U_{кер}$.

На рисунку 1.7 представлена осцилограма робочого процесу в гідросистемі. В ході експерименту було застосоване навантаження на насос 1 шляхом зменшення площі дроселя 4, що призвело до збільшення тиску p_n на виході насоса та тиску p_1 після дроселя 3.

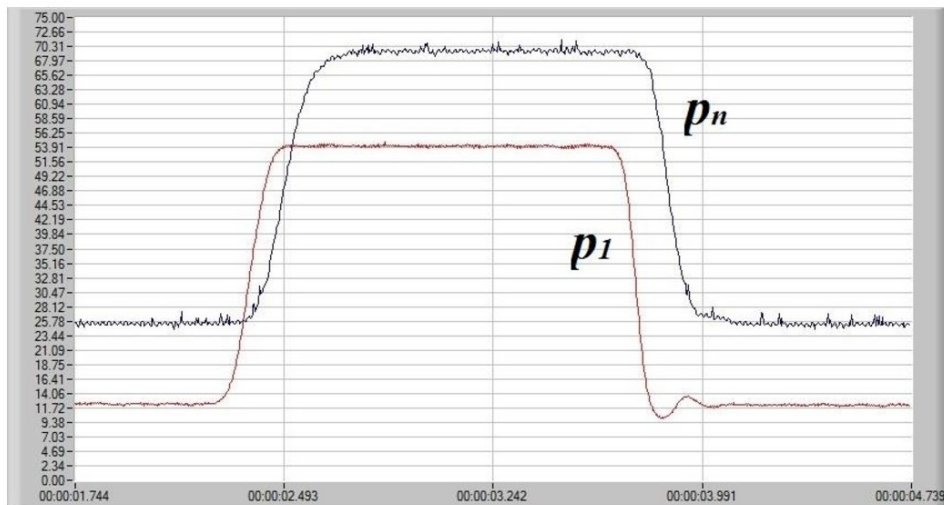


Рисунок 1.7 – Осцилограма робочого процесу в гідросистемі

Було виявлено, що параметри системи значною мірою впливають на ефективність керування гідросистемою. Оскільки вибір конструктивних параметрів є складним завданням для забезпечення необхідних характеристик, було застосовано оптимізаційний підхід. В результаті були визначені три основні параметри для

оптимізації, а також встановлені їх діапазони зміни, що дозволяють досягти оптимальних показників роботи системи:

- k_x – коеф. підсилення робочого вікна сервоклапана регулятора насоса $k_x = (1 \dots 5) \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

- f_e – площа демпфера сервоплунжера насоса $f_e = (1 \dots 4) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;

- f_x – площа дроселя регулятора насоса $f_x = (0,8 \dots 2,5) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

На рисунку 1.6 та рисунку 1.7 представлено вплив конструктивних параметрів на величину часу регулювання t_p та перерегулювання σ . Параметри k_x , f_e та f_x представлені в безрозмірному вигляді, при цьому їх максимальні значення були: $k_x^{\max} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $f_e^{\max} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$; $f_x^{\max} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

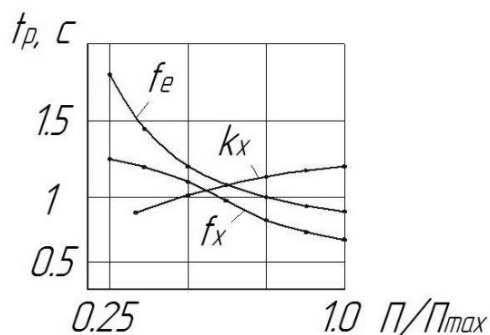


Рисунок 1.5 - Вплив параметрів на час регулювання t_p

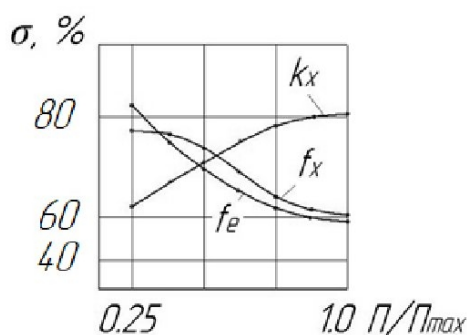


Рисунок 1.6 - Вплив параметрів на величину перерегулювання σ

В результаті дослідження було виявлено, що збільшення параметра k_x призводить до збільшення часу регулювання t_p та перерегулювання σ , в той час як збільшення f_e та f_x призводить до зниження t_p та σ . Однак, вибір значень конструктивних параметрів k_x , f_e та f_x є складним, оскільки підвищення значення f_e

для зниження t_p та σ також призводить до зростання втрат потужності P_y в системі керування насосом змінного робочого об'єму.

Параметри гідросистеми були обрані з урахуванням оптимізаційного підходу. У процесі оптимізації три основні параметри змінювались на трьох різних рівнях, що допомогло визначити найбільш ефективні налаштування для досягнення необхідних результатів [5, 8]:

- $k_x=1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}; 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}; 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м};$
- $f_e=1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$
- $f_x=0,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$

У процесі оптимізації гідросистеми були враховані такі параметри, як час регулювання t_p , перерегулювання σ , втрати потужності в системі керування P_y та статична похибка A регулювання по потужності. Кожен з цих параметрів має відповідні ваги, що дозволяють визначити їхній вплив на ефективність роботи системи та налаштувати гідросистему для досягнення оптимальних характеристик.

$$k = k_{01} \frac{t_p}{t_p^{\max}} + k_{02} \frac{\sigma}{\sigma^{\max}} + k_{03} \frac{P_y}{P_y^{\max}} + k_{04} \frac{A_{pn}}{A_{pn}^{\max}}, \quad (1.1)$$

де, $k_{01}=0,2$, $k_{02}=0,2$, $k_{03}=0,3$, $k_{04}=0,3$ – вагові коефіцієнти показників.

t_p , σ , P_y , A_{pn} – поточні значення;

t_p^{\max} , σ^{\max} , P_y^{\max} , A_{pn}^{\max} – максимальні значення.

Величина втрат потужності насосом P_y визначалась за формулою:

$$P_y = p_n \cdot \mu \cdot f_x \cdot \sqrt{\frac{2(p_n - p_o)}{\rho}}, \quad (1.2)$$

де, p_n та p_o – величини тисків в сталих режимах роботи.

Під час виконання розрахунків перехідних процесів для 27 різних комбінацій параметрів оптимізації було визначено значення критерію оптимізації k для кожної з них. Результати цих розрахунків представлені в таблиці 1.1. В процесі оптимізації було виявлено оптимальне сполучення конструктивних параметрів гідросистеми, яке

дозволяє досягти мінімального значення критерію K , забезпечуючи таким чином найкращу ефективність роботи.

Таблиця 1.1 - Результати розрахунків параметрів оптимізації

$k_x \cdot 10^{-3}$	$f_x \cdot 10^{-6}$ м ²	$f_e \cdot 10^{-6}$ м ²	t_p , с	σ , %	P_y , Вт	A_{pn} , %	K	№ досл.
5	0,8	1	1,56	76	1460	2,41	0,52	19
5	0,8	2,5	1,22	75	1450	2,48	0,46	20
5	0,8	4	0,7	62	1488	2,56	0,35	21
5	2	1	1,58	78	2160	6,16	0,63	22
5	2	2,5	1,18	69	2162	6,27	0,55	23

В процесі оптимізації знайдено сполучення параметрів $k_x=5 \cdot 10^{-3}$ м, $f_x=0,8 \cdot 10^{-6}$ м² та $f_e=4 \cdot 10^{-6}$ м², яке забезпечує час регулювання $t_p \leq 0,7$ с, перерегулювання $\sigma \leq 62\%$, втрату потужності в системі керування $P_y \leq 1,488$ кВт, статичну похибку регулювання $A_{pn} \leq 2,56\%$.

Висновки: під час дослідження було підтверджено, що гідросистема на базі насоса змінного робочого об'єму з електрогідравлічним регулятором забезпечує пропорційне керування подачею насоса та відповідає вимогам, що висуваються до гідросистеми. Отримані результати є наступними:

- похибка стабілізації величини подачі насоса A_{cm} не перевищує 9%;
- відхилення від лінійної залежності частоти обертання гідромотора від напруги керування $U_{кер}$ становить $\delta \leq 15\%$;
- при роботі гідросистеми різниця тисків p_n та p_l насоса не перевищує 1,5 МПа;
- час перехідного процесу по тиску p_n при збільшенні навантаження на гідросистему не перевищує $t_p = 0,7$ с;
- час перехідного процесу по тиску p_n при зменшенні навантаження на гідросистему не перевищує $t_p = 0,5$ с;
- величина перерегулювання σ не перевищує $\sigma \leq 62\%$;
- втрата потужності в системі керування P_y не перевищує $P_y \leq 1,488$ кВт.

2 ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА І ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ

2.1. Визначення маси деталі [6, 7]

Розрахунок базується на розгляді окремих геометричних фігур, з яких складається задана деталь. Спочатку визначають об'єми цих фігур, а потім знаючи матеріал, з якого потрібно виготовити деталь, рахується маса окремих фігур без врахування внутрішніх порожнин. А потім шляхом віднімання із отриманої загальної маси металу, який видаляється при механічній обробці, утворюючи ці порожнини, отримуємо шукану масу деталі.

Визначаємо масу паралелепіпеда розмірами 96х90х50 мм:

- об'єм:

$$V_1 = 96 \cdot 90 \cdot 50 = 432000 \text{ мм}^3 = 0,000432 \text{ [м}^3\text{]}$$

- маса (матеріал - «Сталь 45» ДСТУ 4746:2007):

$$m_1 = \gamma \cdot V_1 = 7850 \cdot 0,000432 = 0,003912 \cong 3,912 \text{ [кг]}$$

- де, γ - щільність матеріалу, $\gamma = 7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Всі інші геометричні фігури описують внутрішні порожнини.

Визначаємо масу 2-х циліндрів Ø14х85 мм:

- об'єм:

$$\Sigma V_2 = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L \cdot 2 = \frac{3,14 \cdot 14^2}{4} \cdot (85 - 2 \cdot 4) \cdot 2 = 2,369444 \cdot 10^{-5} \text{ [м}^3\text{]}$$

- маса:

$$\Sigma m_2 = \gamma \cdot \Sigma V_2 = 7850 \cdot 2,369444 \cdot 10^{-5} \cong 0,186 \text{ [кг]}$$

Визначаємо масу 2-х циліндрів Ø26x4 мм:

- об'єм:

$$\Sigma V_3 = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L \cdot 2 = \frac{3,14 \cdot 26^2}{4} \cdot 4 \cdot 2 = 4,245 \cdot 10^{-6} [\text{м}^3]$$

- маса:

$$\Sigma m_3 = \gamma \cdot \Sigma V_3 = 7850 \cdot 4,245 \cdot 10^{-6} \cong 0,033323 [\text{кг}]$$

Визначаємо масу 4-х циліндрів Ø6x96 мм:

- об'єм:

$$\Sigma V_4 = \frac{3,14 \cdot 6^2}{4} \cdot 96 \cdot 4 = 1,08 \cdot 10^{-5} [\text{м}^3]$$

- маса:

$$\Sigma m_4 = 7850 \cdot 1,08 \cdot 10^{-5} \cong 0,08478 [\text{кг}]$$

Визначаємо масу 8-ми отв. Ø3,3x5 мм (для М4х0,7):

- об'єм:

$$\Sigma V_5 = \frac{3,14 \cdot 3,3^2}{4} \cdot 5 \cdot 8 = 1,7097 \cdot 10^{-7} [\text{м}^3]$$

- маса:

$$\Sigma m_5 = 7850 \cdot 1,7097 \cdot 10^{-7} \cong 0,00134 [\text{кг}]$$

Визначаємо масу 3-х отв. Ø8,5x82 та 2-х отв. Ø8,5x34:

- об'єми:

$$V_6 = 1,395 \cdot 10^{-5} [\text{м}^3]; V_7 = 3,856 \cdot 10^{-6} [\text{м}^3]$$

- маси:

$$m_6 \cong 0,109 \text{ [кг]}; m_7 \cong 0,03 \text{ [кг]};$$

$$\sum m_6 = m_6 + m_7 = 0,139 \text{ [кг]}$$

Але враховуючи, що ці отвори перетинаються з обробленими Ø14, то масу $\sum m_6$ потрібно скорегувати. Тобто з неї потрібно вилучити такі маси:

$$m_1' = 7850 \cdot \frac{3,14 \cdot 14^2}{4} \cdot 8,5 \cdot 14 = 0,0143 \text{ [кг]}$$

Остаточне значення $\sum m_6$ буде таким:

$$\sum m_6 = 0,139 - 0,0143 = 0,124 \text{ [кг]}$$

Примітка: масою металу, який знімається при нарізанні різей, при обробці фасок, при обробці 5 розточок в отв. Ø8,5 та сліди від заборних конусів свердл знехтувано. Таким чином, маса деталі складає:

$$m_0 = 3,912 - 0,428 = 3,484 \text{ [кг]}$$

2.2. Визначення типу виробництва [8]

Вихідні дані:

- річна програма виготовлення виробу, $N=1600$ шт;
- режим роботи дільниці, $m=2$ зміни;
- дійсний річний фонд часу роботи обладнання, $F_0= 3935$ год. (верстат з ЧПК), $F_0= 4055$ год. (універсальні верстати);
- маса деталі, $m_0= 3,484$ кг.

Орієнтуємося щодо типу виробництва та деталі масою до 10 кг. Також враховуючи річну програму виготовлення отримуємо рекомендований тип виробництва – дрібно-серійне.

Визначаємо основний час обробки:

- фрезерування торцевою фрезою 2-х поверхонь 96x50 мм за прохід – Ra=3,2 мкм, T=14 квалітет:

$$T_{o_{01}} = 6 \cdot l \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 96 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1,15 [\text{хв}]$$

- фрезерування торцевою фрезою 2-х поверхонь 90x50 мм за прохід – Ra=3,2 мкм, T=14 квалітет:

$$T_{o_{01}} = 6 \cdot l \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 90 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1,08 [\text{хв}]$$

- фрезерування торцевою фрезою 2-х поверхонь 90x96 мм за прохід – Ra=3,2 мкм, T=14 квалітет:

$$T_{o_{02}} = 6 \cdot l \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 90 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1,08 [\text{хв}]$$

- свердління 2-х отв. Ø10 на глибину 85 мм – Ra=12,5 мкм, T=12 квалітет:

$$T_{o_{03}} = 0,52 \cdot D \cdot l \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 10 \cdot 85 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,884 [\text{хв}]$$

- зенкерування 2-х отв. Ø13 на глибину 85 мм – Ra=6,3 мкм, T=11 квалітет:

$$T_{o_{04}} = 0,21 \cdot D \cdot l \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,21 \cdot 13 \cdot 85 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,464 [\text{хв}]$$

- розгорткування чорнове 2-х отв. Ø13,8 на глибину 85 мм – Ra=0,8 мкм, T=8 квалітет:

$$T_{o_{05}} = 0,43 \cdot D \cdot l \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,43 \cdot 13,8 \cdot 85 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1,01 [\text{хв}]$$

- розгорткування чистове 2-х отв. Ø14H7 на глибину 85 мм – Ra=0,63 мкм, T=7 квалітет:

$$T_{o_{06}} = 0,86 \cdot D \cdot l \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,86 \cdot 14 \cdot 85 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2,04 [\text{хв}]$$

- свердління 3-х отв. Ø8,5 на глибину 82 мм та 2-х отв. Ø8,5 на глибину 34 мм – Ra=20 мкм, T=12 квалітет:

$$T_{o_{07}} = 0,52 \cdot D \cdot l \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 8,5 \cdot 82 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 1,09 [\text{хв}]$$

$$T_{o_{08}} = 0,52 \cdot D \cdot l \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 8,5 \cdot 34 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,3 [\text{хв}]$$

- зенкерування 2-х отв. Ø12 на глибину 1,4 мм – Ra=20 мкм, T=12 квалітет:

$$T_{o_{10}} = 0,21 \cdot D \cdot l \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,21 \cdot 12 \cdot 1,4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,00705 [\text{хв}]$$

- зенкерування 2-х отв. Ø26 на глибину 4 мм – Ra=20 мкм, T=12 квалітет:

$$T_{o_{11}} = 0,21 \cdot D \cdot l \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,21 \cdot 26 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,0437 [\text{хв}]$$

- нарізання різі M10x1,5 в 5-ти отв. Ø8,5 на глибину 10 мм:

$$T_{o_{12}} = 0,4 \cdot D \cdot l \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0,4 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0,2 [\text{хв}]$$

- свердління 4-х отв. Ø6 наскрізно (глибина 96 мм) - Ra=20 мкм, T=12 квалітет:

$$T_{o_{13}} = 0,52 \cdot D \cdot l \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 6 \cdot 96 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 1,2 [\text{хв}]$$

- свердління 8-ми отв. Ø3,3 на глибину 5 мм - Ra=20 мкм, T=12 квалітет:

$$T_{o_{14}} = 0,52 \cdot D \cdot l \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 3,3 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0,0686 [\text{хв}]$$

- нарізання різі M4x0,7 в 8-ми отв. на глибину 5 мм:

$$T_{o_{15}} = 0,4 \cdot D \cdot l \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0,4 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0,064 [\text{хв}]$$

Примітка: часом обробки всіх фасок в отворах деталі знехтувано.

Визначаємо штучно-калькуляційний час обробки:

$$T_{um-k} = \varphi_k \cdot T_{O_i} [\text{хв}], \quad (2.1)$$

де, φ_k - табличний коефіцієнт, який враховує обладнання для конкретної обробки та тип виробництва;

T_{O_i} - основний час обробки на кожній операції.

1. Фрезерувальна:

$$T_{\text{шт}-\kappa_{\text{фр.}}} = 3,31 \cdot 1,84 = 6,09 \text{ [хв]}$$

2. Свердлильна та різенарізна (обладнання з ЧПК):

$$T_{\text{шт}-\kappa_{\text{св.}}} = 7,355 \cdot 1,65 = 12,13 \text{ [хв]}$$

Визначаємо кількість необхідного обладнання за формулою:

$$C_{P_i} = \frac{N \cdot T_{\text{шт}-\kappa_i}}{60 \cdot F_{\partial} \cdot \eta_{\text{з.н}}}, \quad (2.2)$$

де, $\eta_{\text{з.н}}$ - нормативний коефіцієнт завантаження обладнання, для умов дрібносерійного типу виробництва $\eta_{\text{з.н}} = 0,8$.

1. Фрезерувальна обробка:

$$C_{P_{\text{фр.}}} = \frac{1600 \cdot 6,09}{60 \cdot 4055 \cdot 0,8} = 0,05$$

Приймаємо $P_{np_{\text{фр.}}} = 1$ верстат.

2. Свердлильна та різенарізна обробка:

$$C_{P_{\text{св.}}} = \frac{1600 \cdot 12,13}{60 \cdot 3935 \cdot 0,8} = 0,1$$

Приймаємо $P_{np_{\text{св.}}} = 1$ верстат.

Визначення фактичного коефіцієнта завантаження обладнання за формулою:

$$\eta_{\text{з.ф.}} = \frac{C_p}{P_{np.}} \quad (2.3)$$

- Фрезерувальна обробка:

$$\eta_{з.ф.фр.} = \frac{0,05}{1} = 0,05$$

- Свердлильна та різенарізна обробка:

$$\eta_{з.ф.св.} = \frac{0,1}{1} = 0,1$$

Визначення кількості операцій, які використовуються на даному робочому місці за формулою:

$$O = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.}} \quad (2.4)$$

- Фрезерувальна обробка:

$$O_{фр} = \frac{0,8}{0,05} = 16$$

- Свердлильна та різенарізна обробка:

$$O_{св.} = \frac{0,8}{0,1} = 8$$

Визначення коефіцієнту закріплення операцій за формулою:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i}{\sum_{i=1}^n P_{np.}} \quad (2.5)$$

- Фрезерувальна обробка:

$$K_{з.о.фр.} = \frac{16}{1} = 16$$

- Свердлильна та різенарізна обробка:

$$K_{з.о.св.} = \frac{8}{1} = 8$$

Середній коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{з.о.сер.} = \frac{16+8}{1+1} = 12$$

Отриманий середній коефіцієнт закріплення операцій знаходиться в межах ($10 \leq K_{з.о.} \leq 20$) і відповідає умовам середньосерійного типу виробництва згідно рекомендаціям. Приймемо середньосерійний тип виробництва.

2.3. Визначення організації форми виробництва

- Денний випуск деталей:

$$N_{\partial} = \frac{N}{254} = \frac{1600}{254} = 6,3 \approx 6 \text{ [дет.]}$$

- Денна продуктивність поточної лінії:

$$Q_{\partial} = \frac{F_{\partial}}{T_{сер.}} \cdot \eta_{з.н.}, \quad (2.6)$$

де, F_{∂} - денний фонд часу роботи обладнання в 2 зміни, $F_{\partial} = 952$ хв.;

$T_{сер.}$ - середня трудомісткість операцій.

$$T_{сер.} = \frac{(T_{ум-к.фр.} + T_{ум-к.св.})}{2} = \frac{(6,09 + 12,13)}{2} = 9,11 \text{ [хв]}$$

$$Q_{\partial} = \frac{952}{9,11} \cdot 0,8 = 83,6 \approx 84 \text{ [дет.]}$$

Застосування однономенклатурної лінії недоцільне, оскільки $Q_o > N_o$. Тому обираємо групову форму організації виробництва.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску у виробництво:

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

де, a - періодичність запуску деталей у днях, приймаємо $a = 12$ днів.

$$n = \frac{1600 \cdot 12}{254} = 75,6 \cong 76 \text{ [дет.]}$$

Розрахунок кількості змін роботи на обробку всієї партії деталей:

$$c = \frac{T_{um-k_{сер.}}}{476 \cdot \eta_3} \cdot \eta_{np}, \quad (2.8)$$

$$c = \frac{9,11}{476 \cdot 0,8} \cdot 76 = 1,82$$

Приймаємо $c = 2$ зміни.

Уточнення кількості деталей в партії:

$$\eta_{yt} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot 2}{9,11} = 83,6 \cong 84$$

Висновок: враховуючи отримані результати приймаємо групову форму організації виробництва. Запускаємо на обробку партії деталей величиною 84 штуки через кожні 12 днів.

3 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ДЕТАЛІ

3.1 Аналіз конструкції деталі [9, 10]

За своєю конструкцією, формою і технологічними ознаками деталь можна віднести до класу типових деталей «Корпус». Матеріал деталі - Сталь 45 ДСТУ 4746:2007.

Таблиця 3.1 - Хімічний склад (%) матеріалу

Хім. елемент	Вуглець (C)	Хром (Cr)	Кремній (Si)	Марганець (Mn)	Мідь (Cu)	Нікель (Ni)	Сірка (S)	Фосфор (P)
Вміст, %	0.42-0.5	0.25	0.17-0.37	0.5-0.8	Не більше			
					0.3	0.3	0.04	0.04

Таблиця 3.2 – Фізико-механічні властивості матеріалу

Межа міцності при розтягуванні σ_b , МПа	Межа текучості σ_t , МПа	Ударна в'язкість a_n , Дж/см ²	Відносне видовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Твердість НВ після відпалу, одиниць	Густина $\rho \cdot 10^3$, кг/см ³
Не менше						
1000	800	60	10	45	217	7,85

Ззовні деталь має форму паралелепіпеда розмірами 96х90х50мм. Всередині має декілька порожнин, які утворені гладкими та різевими отворами, до складу яких відносяться глухі та наскрізні в залежності від виконання. Є отвори, які перетинаються.

Дана деталь являється корпусом для електромагнітного регулятора насоса. На зовнішній поверхні деталі передбачені 4 наскрізних отвори Ø6Н12 та 8 глухих різевих отворів М4х0,7. Перші призначені для закріплення деталі до насоса за допомогою довгих шпильок, а другі – для закріплення електромагнітів, які переміщують золотники всередині отворів Ø14Н7.

До основних поверхонь, тобто поверхонь з підвищеними вимогами, відносять 2 отв. Ø14Н7 з високою точністю (7 квалітет) та шорсткістю ($Ra=0,63$ мкм). Всі інші поверхні відносяться до другорядних, тобто пряме службове призначення деталі від них не залежить - вони відносяться або до кріпильних або вони є отворами меншого діаметра всередині блоку для сполучення між собою: 4 отв. Ø6Н12, 8 отв. Ø4х0,7, 5

отв. M10x1,5 та 5 отв. Ø8,5. 2 отв. Ø26H12 призначені для встановлення ущільнень для спряження вузлів.

Креслення деталі присутні всі необхідні дані відносно вимог до точності розмірів, шорсткості поверхонь та їх відносного розташування. Крім того, на кресленні представлені необхідні проекції, види та перерізи, за допомогою яких можна отримати повне уявлення про форму деталі, розташування окремих поверхонь тощо.

3.2. Аналіз технологічності деталі

3.2.1 Якісний аналіз технологічності

Задана деталь «Корпус електромагнітного регулятора» умовно відноситься до класу типових деталей «Корпус». Маса деталі складає 3,484 кг. Форма деталі проста, матеріал деталі – Сталь 45 ДСТУ 4746:2007.

Найбільшим доцільним способом отримання заготовки є застосування листового прокату — сталь прокатна полоса за ДСТУ 4747:2007, яка випускається шириною від 12 до 200 мм і товщиною від 4 до 60 мм. З цих полос пилами нарізаються заготовки для заданої деталі. В якості альтернативних способів можна запропонувати поковки, які виготовляються з квадратного прутка.

Найбільшу питому вагу поверхонь, яку потрібно обробити механічним способом, складають отвори - 22 шт. Всі отвори обробляються з 3 площин деталі, які розташовані через 90°. Це вимагає або переустановлення деталі під час обробки або використання багатоцільового верстата з поворотним столом або поворотного пристосування для верстата з ЧПК, який оснащений магазином інструментів. У будь-якому випадку це характеризує деталь як технологічно.

Це вимагає додаткової жорсткості обробки, що в основному полягає в стриманості застосованих режимів обробки. Причому, 4 отв. Ø6 достатньо довгі – 96 мм і наскрізні, тобто в цьому випадку потрібно застосовувати технологію обробки довгих отворів ($L=3\div5D$), а це збільшує основний час обробки і, відповідно, знижується продуктивність обробки.

До нетехнологічних аспектів потрібно віднести обробку основних отворів Ø14H7 з шорсткість у поверхні $Ra=0,63$ мкм, що потребує декілька перехідної обробки, як мінімум 3 переходи.

Загалом деталь має достатньо розвинені базові поверхні, доступ інструментів до оброблюваних поверхонь вільний. Вимоги до точності розмірів та шорсткості поверхонь можна легко дотримати шляхом підбору відповідних технологічних методів обробки та режимів різання. Крім того, майже всю обробку можна виконати на багатоцільовому верстаті з ЧПК. Винятком може бути тільки обробка всіх зовнішніх площин. Потрібно застосовувати верстат небагатоцільового призначення, але це викликає зниження продуктивності обробки по причині переустановлення деталі, що нераціонально для використання такого дорого обладнання як верстат з ЧПК, крім того, збільшується верстатні норми для обробки заданої деталі. Якщо ж використовувати багатоцільовий верстат з ЧПК для повної обробки всіх поверхонь знову ж таки негативом служить переустановлення деталі. Враховуючи вище викладене, виходом з цього положення може бути використання універсального верстата для обробки всіх зовнішніх поверхонь.

Всі поверхні деталі, які підлягають обробці, доступні для контролю.

Таким чином якісний аналіз довів, що задана деталь за конструкцією є цілком технологічно.

3.2.2 Кількісний аналіз технологічності

Відповідно до рекомендацій, кількісна оцінка технологічності деталі оцінюється такими показниками:

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів:

$$K_y = \frac{Q_{y.e.}}{Q_e}, \quad (3.1)$$

де, $Q_{y.e.}$, Q_e - відповідно, кількість уніфікованих елементів і загальна кількість типорозмірів конструктивних елементів (різьба, отвори, фаски і т.і.).

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку коефіцієнта K_y

Діаметральні розміри		Лінійні розміри		Фаски, радіуси, різьби		Шорсткість Ra, мкм	
$P_{\partial.}$	$P_{\partial.y.}$	$P_{л.}$	$P_{л.y.}$	$P_{ф.}$	$P_{ф.y.}$	III	$III_{y.}$
Ø14H7 (2)	2	50±IT14/2 (2)	2	Різьби:		0,63 (2)	2
Ø26H12 (2)	2	96±IT14/2 (4)	4	M10x1,5 (5)	5	3,2 (13)	12
Ø8,5H12 (5)	5	90±0,1 (2)	-	M4x0,7 (8)	-	20 (24)	24
Ø12H12 (5)	5	66±0,1 (1)	3	Фаски:			
Ø6H12 (4)	4	58±0,1 (1)	1	0,5x45° (10)	10		
Ø3,3H12 (8)	-	33±0,1 (1)	1	0,3x45° (8)	8		
		13±IT14/2 (1)	1	1x45° (5)	5		
		8±IT14/2 (3)	2				
		12±IT14/2 (2)	-				
		82 ^{+0,5} (3)	2				
		4 _{-0,2} (2)	2				
		71±0,1 (1)	-				
		45±0,1 (1)	-				
		34 ^{+0,5} (2)	1				
		85 ^{+0,5} (2)	1				
		1,4±IT14/2 (5)	5				
		56±IT14/2 (1)	2				
		24±IT14/2 (1)	3				
		72±IT14/2 (1)	1				
$\sum P_{\partial.}=26$	$\sum P_{\partial.y.}=18$	$\sum P_{л.}=36$	$\sum P_{л.y.}=30$	$\sum P_{ф.}=24$	$\sum P_{ф.y.}=28$	$\sum III=39$	$\sum III_{y.}=39$

$$K_y = \frac{18 + 30 + 28 + 39}{26 + 36 + 24 + 39} = 0,92$$

Деталь вважається технологічною, якщо коефіцієнт уніфікації більше 0,6.

Для розрахунку коефіцієнта точності необхідно розрахувати середню точність обробки. Складаємо відповідну таблицю:

Таблиця 3.2 – Визначення коефіцієнта точності обробки

Квалітет	Поверхні і розміри відповідного коефіцієнта	Кількість розмірів	Розрахунок
7	Отв. Ø14H7 (2 шт.)	2	7x2=14
12	Отв. Ø26H12 (2 шт.); Отв. Ø8,5H12 (5 шт.); Отв. Ø12H12 (5 шт.); Отв. Ø6H12 (4 шт.); Отв. Ø3,3H12 (8 шт.)	24	24x12=288
14	4 _{-0,2} (2); 82 ^{+0,5} (3); 34 ^{+0,5} (2)	7	7x14=98
±IT12/2	66±0,1 (1); 58±0,1 (1); 33±0,1 (1); 13±0,1 (1); 34±0,1 (4); 45±0,1 (1); 71±0,1 (1)	10	10x12=120
±IT14/2	50 (2); 96 (4); 12 (1); 8 (2); 56 (1); 24 (1); 72 (1); 1,4 (5); 10 (5)	22	22x14=308
	Сума:	65	828

$$T_{сер.} = \frac{\sum T_i n_i}{\sum n_i} = \frac{828}{65} = 12,73$$

$$K_{T.O.} = 1 - \frac{1}{T_{сер.}} = 1 - \frac{1}{12,73} = 0,92$$

Деталь вважається технологічною, якщо коефіцієнт точності обробки більше 0,8.

Для розрахунку коефіцієнта шорсткості необхідно розрахувати середню шорсткість оброблюваних поверхонь. Складаємо таблицю 3.3:

Таблиця 3.3 – Визначення коефіцієнта шорсткості

Шорсткість, Ra	Кількість поверхонь	Розрахунок
0,63	2	0,63x2=1,26
3,2	13	3,2x13=41,6
20	23	20x23=460
Сума:	38	502,86

$$III_{сер.} = \frac{\sum III_i n_i}{\sum n_i} = \frac{502,86}{38} = 13,23$$

$$K_{III} = \frac{1}{III_{сер.}} = \frac{1}{13,23} = 0,075$$

Деталь вважається технологічною, якщо коефіцієнт шорсткості менший за 0,32.

Висновок: підсумовуючи результати якісного аналізу технологічності деталі та кількісні показники робимо остаточний висновок про те, що деталь цілком технологічна і можна приступати до розробки технологічного процесу механічної обробки.

4 ВИБІР СПОСОБУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ

4.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки та визначення її розмірів [11]

Орієнтуючись на робоче креслення деталі, матеріал, масу та серійність виготовлення приходимо до висновку, що найбільш сприятливими способами виготовлення заготовки деталі є використання сталюого полосового прокату та квадратного гарячекатаного прутка, що для цих умов є економічно вигідним, тому що отримана заготовка за розмірами буде максимально наближена і до форми і до розмірів деталі.

1. Прокат сортовий сталюий гарячекатаний квадратний за ДСТУ 4746:2007

Прокат виготовляється в прутках: для якісної вуглецевої сталі марки «Сталь 45» довжина прутка складає 2÷6 м. Номенклатура прутків по стороні квадрата «а» (мм): 3,2; 6,0; 7,0... 100, 105, 110, 115... 200.

В нашому випадку орієнтуємося на максимальні розміри деталі, які створюватимуть квадрат. Такими розмірами є 96 мм та 90 мм, тобто переріз має бути з розмірами не менше ніж 100x100 мм, а згідно рекомендації для квадратного перерізу заготовки 80-150 мм при необхідності розрізання заготовки і на наступну обробку торців потрібно залишити припуск $6,5 \div 7,0$ мм під різку дисковою пилою Ø510 і припуск на обробку торців (чистові розміри деталі 96x90x50 мм) 8,0 мм для довжини до 1 м. Першою заготовкою повинен слугувати квадратний пруток з розмірами 100x100 мм, а для подальшої механічної обробки в основному відділенні потрібно мати штучну заготовку, яка отримується шляхом відрізання від основної заготовки забезпечивши розмір $50 + 5 \times 2 + 7 = 67$ мм - 5 мм – припуск, який знімається з поверхонь при механічній обробці для досягнення заданого розміру 50 мм, забезпечуючи параметр $Ra=3,2$ мм; 7 мм – ширина зрізу пилою при формуванні штучної заготовки.

Щодо вибору довжини прутка, з якого у заготівельному відділенні будуть пилою нарізатися штучні заготовки для основного виробництва, розглянемо наприклад три варіанти довжини прутка: 1500 мм, 3500 мм, 6000 мм.

Таким чином:

$$\frac{1500}{67} \approx 22,39 \text{ шт.}; \quad \frac{3500}{67} \approx 52,24 \text{ шт.}; \quad \frac{6000}{67} \approx 89,55 \text{ [шт.]}$$

Орієнтуємось на мінімальний залишок прутка при формуванні кратної кількості заготовок – це 6000 мм.

Остаточно вибираємо прутки з розмірами: $a=100$ мм, $L=6000$ мм.

Інші характеристики заготовки:

- лімітоване відхилення на довжину прокату: до 6 м – «+4» мм;
- притуплення кутів прокату із стороною квадрату $a=100$ мм не повинно перевищувати значення – не більше 0,35 сторони квадрата;
- кривизна прокату не повинна перевищувати для сторони 80-200 мм – від 0,2% до 0,5% довжини прутка;
- припустиме відхилення від прямого кута для розмірів 100-200 мм – 3 мм;
- припуск на різку та обробку торців – 7 мм для довжини до 1 м.

Позначення прутка:

$$\text{Квадрат} \frac{a100 \text{ГОСТ} 2591-2006}{\text{Сталь} 45 \text{ГОСТ} 4543-71}$$

Заготовка (розміру) – 100x100x67 мм.

Шорсткість поверхонь – $R_a=12,5$ мкм.

2. Прокат сортовий сталевий горячекатаний штабовий за ДСТУ 4747:2007

Обираємо розміри поперечного перерізу: ширина 90 мм, товщина 56 мм. Прокат звичайної точності виготовляється довжиною $L=2 \div 6$ м. Відхилення по товщині: $\begin{smallmatrix} +0,3 \\ -2,4 \end{smallmatrix}$ мм; відхилення від площинності на 1 метр довжини – при товщині 38÷80 мм – 10 мм (для нормальної площинності); відхилення від прямого кута при товщині 40÷80 мм – 1,5 мм; відхилення по ширині при товщині 40÷60 мм - $\begin{smallmatrix} +0,5 \\ -1,0 \end{smallmatrix}$ мм (для звичайної точності).

Для визначення довжини стрічки аналогічний розрахунок попередньому:

$$\frac{1500}{113} \approx 13,27 \text{ шт.}; \quad \frac{3500}{113} \approx 30,97 \text{ шт.}; \quad \frac{6000}{113} \approx 53,1 [\text{шт.}]$$

Остаточно обираємо довжину стрічки $L=3500$ мм. В цьому випадку отримуємо майже безвідходне виробництво, тільки для останньої заготовки потрібно скорегувати припуски, які знімаються при механічній обробці.

Таким чином, приймаємо остаточно розміри штучної заготовки – $96 \times 113 \times 56$ мм; шорсткість поверхонь – $Ra=12,5$ мкм.

4.2 Оформлення ескізів обох варіантів заготовки

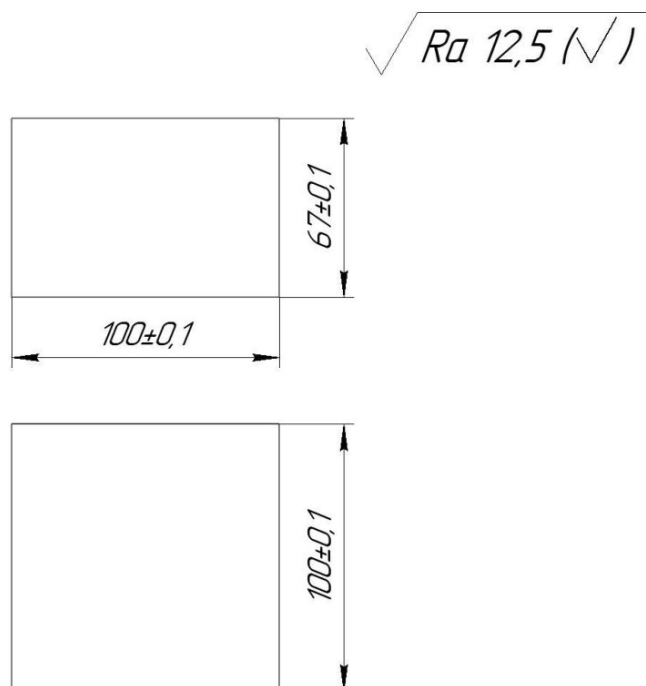


Рисунок 4.1 - Ескіз заготовки, отриманої з сортового гарячекатаного прокату

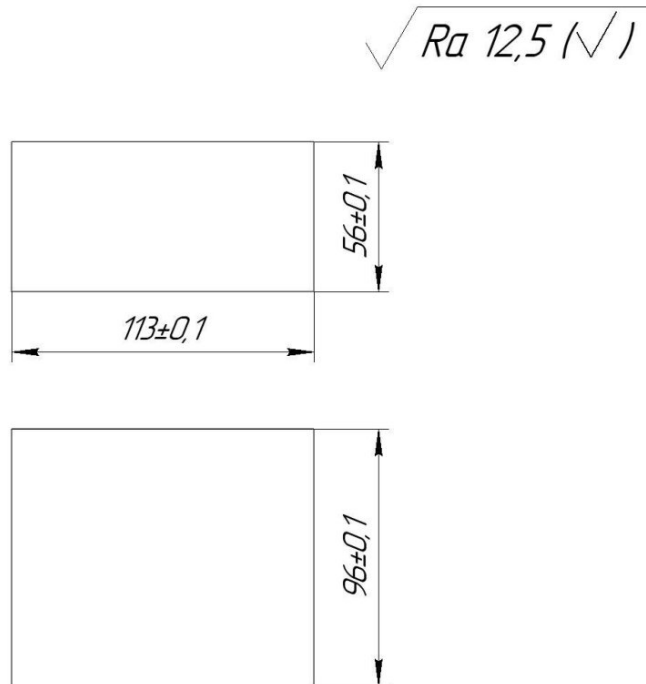


Рисунок 4.2 - Ескіз заготовки,
отриманої з стрічкового гарячекатаного прокату

4.3 Розрахунок маси і коефіцієнтів використання матеріалу для обох варіантів заготовки [12]

Розрахунок маси заготовки:

- Квадратний гарячекатаний пруток:

$$V_{\text{заг.стпр.}} = 100 \cdot 100 \cdot 67 = 670000 \text{ мм}^3 = 670 \text{ [см}^3\text{]}$$

$$m_{\text{заг.стпр.}} = 670 \cdot 7,85 \cong 5,26 \text{ [кг]}$$

- Гарячекатаний сталевий листовий прокат:

$$V_{\text{заг.лист.}} = 96 \cdot 113 \cdot 56 = 607488 \text{ мм}^3 = 607,49 \text{ [см}^3\text{]}$$

$$m_{\text{заг.лист.}} = 607,49 \cdot 7,85 \cong 4,77 \text{ [кг]}$$

Розрахунок коефіцієнтів використання матеріалу:

Маса деталі - $m_{\partial} = 3,484$ [кг]

Коефіцієнт використання матеріалу для квадратного гарячекатаного прутка:

$$K_{\text{в.м.кв.}} = \frac{m_{\partial}}{m_{\text{заг.кв.}}} = \frac{3,484}{5,26} = 0,66$$

Коефіцієнт використання матеріалу для гарячекатаного сталюого полосового прокату:

$$K_{\text{в.м.стр.}} = \frac{m_{\partial}}{m_{\text{заг.стр.}}} = \frac{3,484}{4,77} = 0,73$$

4.4. Техніко-економічне порівняння обох варіантів отримання заготовок та вибір найраціональнішого

Вартість заготовки – це економічний показник, який впливає на собівартість виготовлення деталі. Якщо деталь виготовляється з прокату, то витрати на заготовку визначаються по вазі прокату, який потрібний на виготовлення деталі та вазі стружки, яка здається. При цьому приймається до уваги стандартна довжина заготовки:

$$M = m_3 \cdot S - (m_3 - m_{\partial \text{ет.}}) \cdot \frac{S_{\text{відх.}}}{1000}, \text{ [грн]} \quad (4.1)$$

де, m_3 - маса заготовки, кг;

S - ціна 1 кг. матеріалу заготовки, грн;

$m_{\partial \text{ет.}}$ - маса готової деталі, кг;

$S_{\text{відх.}}$ - ціна 1 тони відходів, грн.

Перед тим, як використовувати заготовку для механічної обробки в основному виробництві її потрібно відрізати від прутка або від полоси пилюю в заготівельному відділенні. Отже, додатково потрібно визначити вартість відрізної операції.

Для заготівельного виробництва основний машинний час на розрізання сортового прокату дисковою пилюю можна визначити за такою формулою:

$$T_o = \frac{l}{S_{xв.}} + \frac{l}{S_{з.х.}}, \quad (4.2)$$

де, l - довжина розрізання;

$S_{xв.}, S_{з.х.}$ - найімовірніші значення режимів різання;

$S_{xв.} = 90 \text{ мм/хв.}; S_{з.х.} = 5000 \text{ мм/хв.}$

З наведеної формули та режимів обробки отримана наближена формула основного машинного часу:

$$T_o = 0,011 \cdot l, \quad (4.3)$$

Для розрізання (один розріз) квадратного гарячекатаного прутка:

$$T_{o.кв.} = 0,011 \cdot 100 = 1,1 \text{ [хв]}$$

Для розрізання (один розріз) гарячекатаного полосового прокату:

$$T_{o.пол.} = 0,011 \cdot 56 = 0,616 \text{ [хв]}$$

Вартість операції розрізання в 2024 році – 33,88 грн/год. Цю вартість додаємо до вартості обох варіантів заготовок.

Вартість операції розрізання складає:

$$S_{розр.кв.} = \frac{1,1}{60} \cdot 1,1 \cdot 33,88 = 0,68 \text{ [грн]}$$

$$S_{розр.пол.} = \frac{0,616}{60} \cdot 0,616 \cdot 33,88 = 0,21 \text{ [грн]}$$

Для того, щоб зробити розрізання загальної довжини заготовки на штучні заготовки потрібно розмітити цю довжину. Розмітка однієї риски по лінійці керном на довжині до 3500 мм нормується величиною 0,09 хв.

Для квадратного гарячекатаного прутка довжина розмітки складає 100 мм і її тривалість складає:

$$T_{розм.кв.1} = \frac{100 \cdot 0,09}{3500} = 0,0025 [\text{хв}]$$

Для розмітки прутка довжиною $L=3500$ мм потрібно нанести 35 рисок і загальний час розмітки одного прутка складає величину:

$$T_{розм.кв.L} = 0,0025 \cdot 35 = 0,0875 [\text{хв}]$$

Для загальної програми виготовлення деталі $N=1600$ шт./рік необхідно $1600:35=54$ шт. прутки довжиною 3500 мм кожний.

Для сталюї полоси довжина розмітки складає 113 мм і її тривалість схожа квадратному прутку:

$$T_{розм.пол.1} = 0,0029 [\text{хв}]$$

Для розмітки полоси довжиною $L=3500$ мм потрібно нанести 31 риску і загальний час розмітки однієї полоси складає:

$$T_{розм.кв.L} = 0,0029 \cdot 31 = 0,0899 [\text{хв}]$$

Для загальної програми виготовлення деталі $N=1600$ шт./рік необхідно $1600:31=52$ шт. полоси довжиною 3500 мм кожна.

Вартість операції розмітки однієї заготовки роботи слюсаря-розмітника під лінійку складає 0,48 грн/хв.

$$S_{розр.пол.} = 0,48 \cdot 0,0029 = 0,0014 [\text{грн}]$$

Повна вартість заготовок:

$$M_{кв.} = 5,26 \cdot \frac{33000 \cdot 3,47}{1000} - (5,26 - 3,484) \cdot 4 + 0,68 + 0,0014 = 594,54 [\text{грн}]$$

$$M_{пол.} = 4,77 \cdot \frac{45000 \cdot 3,47}{1000} - (4,77 - 3,484) \cdot 4 + 0,21 + 0,0014 = 739,48 [\text{грн}]$$

Висновок: порівнюючи отримані результати вартості заготовок приходимо до висновку, що з економічної точки зору доцільніше прийняти заготовку, отриману із прокату сортового сталюого гарячекатаного квадратного перерізу, оскільки її вартість складає 594,54 грн. проти 739,48 грн.

5 РОЗРОБКА МАРШРУТУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

5.1 Аналітичний огляд відомих маршрутів механічної обробки подібних деталей в умовах даного типу виробництва [15]

Задана деталь умовно відноситься до корпусних деталей, які являються базовими елементами виробів. В них встановлюють різноманітні механізми, складальні одиниці та деталі. Повинна бути забезпечена точність взаємного розташування в процесі роботи машини.

Корпусні деталі частіше виготовляють з сірого чавуну, але також використовуються такі матеріали, як легована сталь, ковкий чавун, сплави із кольорових металів, вуглецева сталь.

Вибір технологічних баз та послідовність обробки є важливим етапом обробки корпусних деталей.

Основні етапи маршруту обробки корпусної деталі:

- поверхні, які використовуються, як технологічні бази;
- взаємозв'язані плоскі поверхні;
- основні отвори;
- кріпильні отвори;
- фінішна обробка плоских поверхонь та основних отворів (за необхідності).

Кожен етап може мати декілька операцій або навпаки – операція може мати різні етапи обробки.

Методами обробки зовнішніх поверхонь є протягування, шліфування, фрезерування, точіння, стругання. Фрезерування є найбільш розповсюдженим методом. В умовах дрібносерійного виробництва можна здійснювати на універсально-фрезерних верстатах з різним розташуванням шпинделя, а також на багатоцільових верстатах з ЧПК.

Обробка основних отворів виконується на свердлильних та розточувальних верстатах з ЧПК.

Кріпильні та другорозрядні отвори (під манометри, пробки, для подачі змащувальної рідини тощо) обробляються на горизонтально-розточувальних, вертикально- та радіально-свердильних верстатах.

Фінішна обробка основних отворів забезпечується розвертанням, хонінгування, тонким розточуванням тощо. Розвертання та розточування є більш розповсюдженими в умовах серійного виробництва.

Висновок: скористуємося наведеними типовими рекомендаціями при проектуванні технологічного процесу механічної обробки заданої деталі.

5.2 Вибір способів механічної обробки поверхонь із підвищеними вимогами точності. Визначення кількості ступенів механічної обробки

Для одержання заданих характеристик точності можна отримати необхідну кількість переходів механічної обробки декількома способами:

- згідно таблиці економічної доцільності;
- за допомогою формул загального уточнення.

В даній деталі є дві групи поверхонь, які потребують декількох переходів обробки: 6 зовнішніх граней заготовки, $Ra=3,2$ мкм; 2 отвори $\varnothing 14H7$, $Ra=0,63$ мкм.

В першому розділі, користуючись таблицями економічної доцільності, була визначена кількість переходів і способи механічної обробки для вказаних переходів: для шести зовнішніх граней – фрезерування; для отв. $\varnothing 14H7$ – 4 переходи: свердління, зенкерування, двократне розгортання (обробка здійснюється в суцільному металі).

Перевіримо доцільність попереднього призначення для кількості переходів обробки отворів $\varnothing 14H7$ користуючись формулами загального уточнення.

$$\xi_{\Sigma} = \frac{T_{заг.}}{T_{дет.}}, \quad (5.1)$$

де, $T_{заг.}$, $T_{дет.}$ - відповідно, допуски на розмір заготовки та остаточно обробленої поверхні деталі; $T_{заг.} = 150$ мкм, $T_{дет.} = 18$ мкм.

$$\xi_{\Sigma} = \frac{150}{18} = 8,33$$

Зробимо припущення, що дане уточнення може досягатись за три переходи механічної обробки. Тому приймаємо:

$$\xi_1 = 3; \xi_2 = 2; \xi_3 = 1,5$$

Знайдемо уточнення, яке може досягатись на останньому переході:

$$\xi'_3 = \frac{\xi_{\Sigma}}{\xi_1 \cdot \xi_2} = 1,39$$

Знайдемо розрахункові величини допусків технологічних розмірів:

$$T_1 = \frac{T_{заг.}}{\xi_1} = \frac{150}{3} = 50 [\text{мкм}],$$

$$T_2 = \frac{T_1}{\xi_2} = 25 [\text{мкм}],$$

$$T_3 = T_{дет.} = \frac{T_2}{\xi'_3} = \frac{25}{1,39} = 17,98 [\text{мкм}] \text{ (IT7)}$$

Отримані розрахункові значення допусків технологічних розмірів, що мають забезпечуватися на першому та другому переходах, знімаємо до найближчих нормативних значень. Таким чином, приймаємо остаточно:

$$T_1 = 70 \text{ мкм (H10)}, T_2 = 27 \text{ мкм (H8)}$$

Обираємо способи механічної обробки отворів. Вони лишаються такими, які були попередньо вибрані в першому розділі:

- зенкерування;

- розгортання попереднє;
- розгортання чистове.

Вибрані способи після попереднього засвердлювання отвору в суцільному металі здатні отримати задані параметри точності та шорсткості поверхні 2-х отв. Ø14H7, Ra=0,63 мкм.

Крім того, в даній деталі потребують обробки ще 6 зовнішніх граней (площин) з параметром якості Ra=3,2 мкм і T=12 квалітет точності кожної. Від них не залежить службове призначення деталі і тільки одна з них може бути використана в якості установної бази при умові обробки внутрішніх порожнин на багатоінструментальному верстаті з ЧПК з поворотним столом. Приймаємо такі вихідні параметри:

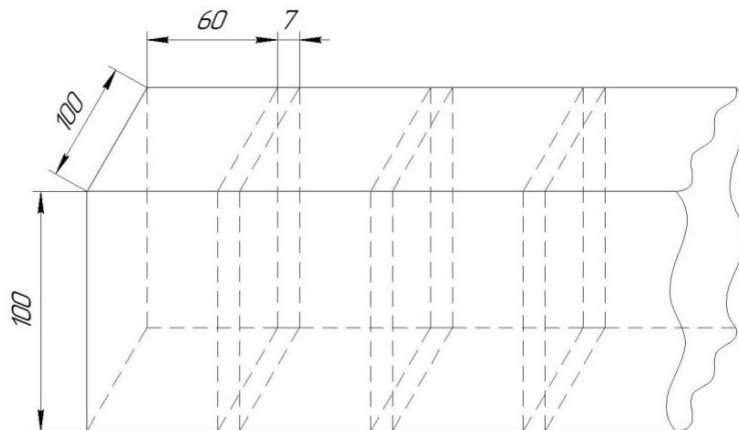


Рисунок 5.1 – Спосіб отримання штучних заготовок з квадратного гарячекатаного прутка

Із загальної довжини стандартного квадратного перетину 100x100 мм дисковою пилою нарізаються штучні заготовки товщиною 60 мм (7 мм – ширина розрізу), тобто обробці підлягають 2 площини 100x100 мм і вони відносяться до площин розрізу і 4 площини 100x60 мм.

Призначаємо припуски, які потрібно зняти при обробці:

$$\frac{(100 - 96)}{2} = 2 \text{ [мм]}$$

$$\frac{(100-90)}{2} = 5 \text{ [мм]}$$

$$\frac{(60-50)}{2} = 5 \text{ [мм]}$$

На бік квадрата 100x100 мм при виготовленні задається допуск «-1,7 мм». Визначаємо загальні уточнення:

$$\xi_{\Sigma_1} = \frac{T_{\text{заз.}_1}}{T_{\text{дет.}_1}} = \frac{1700}{350} = 4,857; \quad \xi_{\Sigma_2} = \frac{T_{\text{заз.}_2}}{T_{\text{дет.}_2}} = \frac{1000}{300} = 3,33$$

де, $T_{\text{дет.}_1} = 350 \text{ мкм}$ (по 12-му квалітету точності для розміру 100 мм);

$T_{\text{дет.}_2} = 300 \text{ мкм}$ (по 12-му квалітету точності для розміру 60 мм).

Припустимо, що такі уточнення можуть мати місце при 2-х перехідній обробці. Приймаємо: $\xi_1 = 3$; $\xi_2 = 2$. Знайдемо уточнення, яке може бути досягнуто на другому (останньому) переході:

$$\xi' = \frac{\xi_{\Sigma_1}}{\xi_1} = \frac{4,857}{3} = 1,619; \quad \xi'' = \frac{\xi_{\Sigma_2}}{\xi_1} = \frac{3,33}{3} = 1,11$$

Визначимо розрахункові значення допусків технологічних розмірів:

$$T_1' = \frac{T_{\text{заз.}_1}}{\xi_1} = \frac{1700}{3} = 567 \text{ мкм}; \quad T_1'' = \frac{T_{\text{заз.}_2}}{\xi_1} = \frac{1000}{3} = 333,3 \text{ [мкм]};$$

$$T_2' = T_{\text{дет.}_1} = \frac{T_1'}{\xi'} = \frac{567}{1,619} = 350,19 \cong 350 \text{ [мкм]};$$

$$T_2'' = T_{\text{дет.}_1} = \frac{T_1''}{\xi''} = \frac{333,3}{1,11} = 300,27 \cong 300 \text{ [мкм]}$$

Розрахунки показали, що за прийняті два переходи обробки фрезеруванням ми можемо досягти бажану точність груп площин, вони показали практично повну відповідність нормативним значенням:

$$T'_{1\text{ ост.}} = 540\text{мкм (h13)}; T''_{1\text{ ост.}} = 460\text{мкм (h13)} \text{ або } T''_{1\text{ ост.}} = 300\text{мкм (js12-}^{+150}_{-150}\text{)};$$

$$T'_{2\text{ ост.}} = 350\text{мкм (js12-}^{+175}_{-175}\text{)}; T''_{2\text{ ост.}} = 300\text{мкм (js12-}^{+150}_{-150}\text{)}$$

Враховуючи все вище викладене, технологічний маршрут обробки площин на операції 005 буде таким:

- фрезерування попереднє;
- фрезерування остаточне.

5.3 Вибір чистових технологічних баз

Мінімізація похибки базування є основною задачею при виборі чистових технологічних баз.

Як було сказано в розділі 2, деталь має форму паралелепіпеда - 2 грані розміром 50х96 мм, 2 грані розміром 50х90 мм і 2 грані – 96х90 мм. Всі ці грані планується начисто обробити на перші операції, тобто всі вони здатні виконувати роль базових поверхонь. Друга операція, яка є останньою в технологічному процесі, пов'язана з обробкою всіх внутрішніх порожнин (отворів) та кріпильних отворів. Цю операцію заплановано виконувати на багатоінструментальному верстаті з ЧПК, який має поворотний стіл. Обробка всіх отворів буде здійснюватися на 3-х гранях деталі, які розташовані під кутом 90° одна до одної.

В якості чистової технологічної бази в цьому випадку найбільш зручно використовувати вільні від обробки грані деталі розміром 96х90 мм.

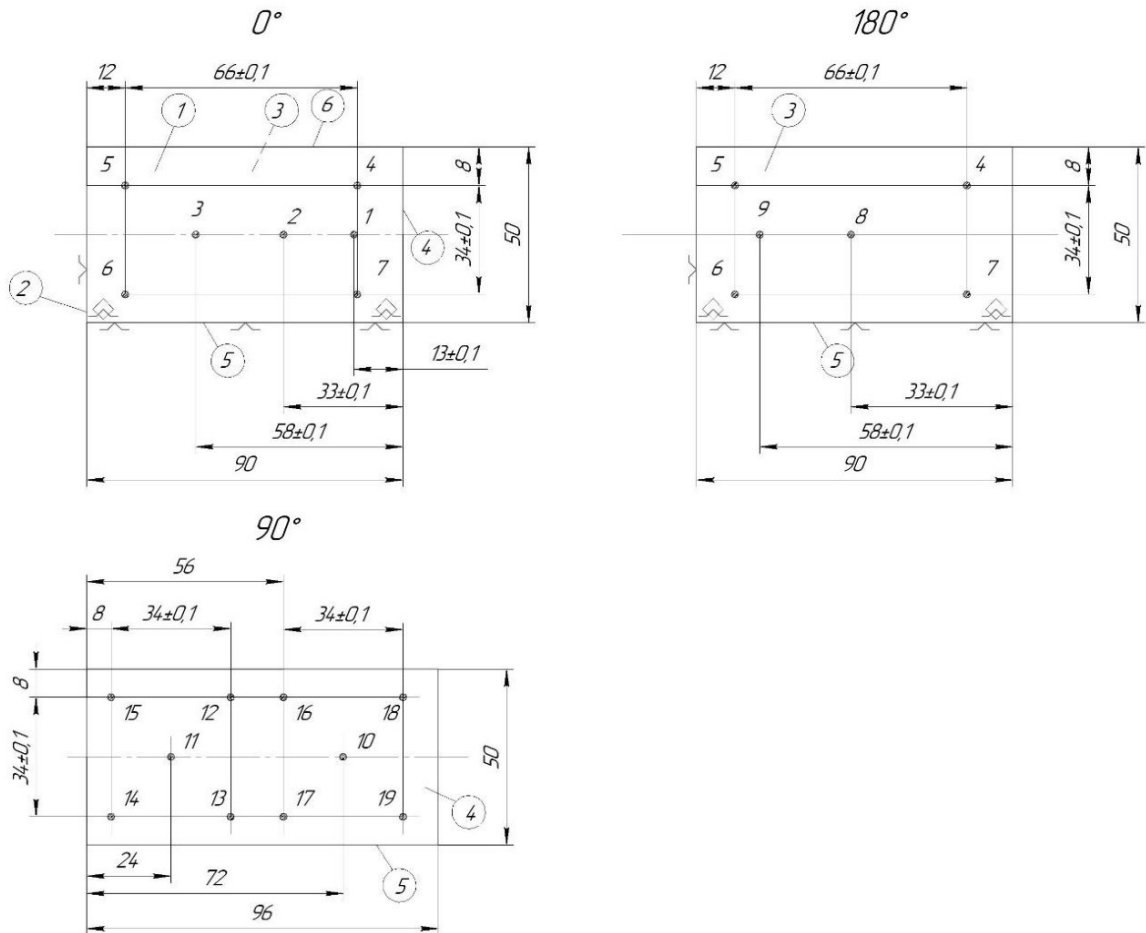


Рисунок 5.2 - Схема базування деталі на операції 010

На основі аналізу схеми базування на операції 010 на предмет виконання поставлених умов на робочому кресленні деталі бачимо наступне: (·)1÷19 – центри, з яких здійснюється обробка комплексу поверхонь.

- положення поворотного столу верстата в положенні 0°. Обробка отворів з центрів (·) 1÷7. На розміри 13±0,1, 33±0,1, 58±0,1, 12 похибка базування відсутня – принцип суміщення баз (упорна та вимірювальна);

- положення поворотного столу 90°. Обробка отворів з центрів (·) 10÷19. Розміри розташування основних отворів ((·) 10 та 11) 24 та 72 похибка базування відсутня – принцип суміщення баз (установочної та вимірювальної);

- міжцентрові відстані для кріпильних отворів (центри (·) 12÷19) 8, 34±0,1 – 3 розміри, дотримуються за рахунок суміщення (8), інші за рахунок програми керування верстатом з ЧПК;

- положення поворотного столу 180°. Обробка отвору з центрами (·) 8 та 9. Розміри 38±0,1, 58±0,1 дотримуються суміщенням упорної та вимірювальної баз;

- вимогу до паралельності і перпендикулярності окремих поверхонь, які задані робочим кресленням, дотримуються – обробка здійснюється з одного установу.

Прийнята схема базування на чистові бази цілком сприйнятлива для отримання бажаної точності обробки деталі.

5.4 Вибір чорнових технологічних баз

На операції 005 обробці начисто підлягають всі 6 зовнішніх граней деталі. Обробку планується здійснювати на універсальному фрезерному верстаті, який обладнано горизонтальним шпинделем за декілька установ в поворотному пристосуванні. Таким чином, в кожному установі обробляється дві протилежні площини. Підхід інструмента до всіх 4-х площин буде неможливим по причині розміщення затискних елементів. Чорнові бази будуть змінюватися тричі в процесі перевстановлень. При такій обробці досягаються лінійні розміри та забезпечується вимога паралельності відносно пар протилежних поверхонь.

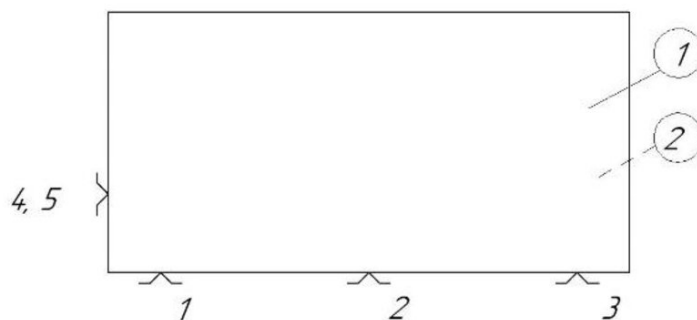


Рисунок 5.3 - Схема встановлення деталі на чорнові бази

5.5 Орієнтовний вибір інструменту та вибір обладнання

Для того, щоб розробити технологічний процес потрібно зорієнтуватися на типі та моделі обладнання - в основу вибору покладено технологічні можливості останнього. В попередніх розділах вже згадувалась послідовність обробки поверхонь та тип обладнання.

Для операції 005 – горизонтально-фрезерувальної - плануємо задіяти універсальний верстат. Попередньо обираємо верстат моделі ADF0808 з довжиною столу 630 мм, шириною 160 мм, найбільшим повздовжнім переміщення столу 400 мм і потужністю приводу головного руху 1,5 кВт. Обробку плануємо здійснювати кількістю заготовок 4 штуки (найбільший габарити заготовки 100 мм). На столі верстата бути закріплюватися поворотне пристосування, затиск всіх заготовок буде здійснюватися за допомогою планки. В одному установі за рахунок поворотного пристосування будуть оброблятися по дві протилежні грані, потім установи змінюються ще два рази. Обробка буде здійснюватися торцевою фразою.

Для операції 010 потрібно використовувати інструменти для обробки отворів. Обираємо наступні:

- для обробки комплекту поверхонь з центрами (·) 10, 11,; свердло для центрування (1 шт.); свердло для попереднього засвердлювання отворів (1 шт.); свердло для засвердлювання або зенкерування отворів (1 шт.); зенківка циліндрична (для отворів під ущільнення) (1 шт.); зенківка для обробки фаски (зенківка конічна) (1 шт.); розгортки чорнова і чистова (2 шт.);

- для обробки комплекту поверхонь з центрами в (·) 1, 2, 3, 8, 9: свердло центрувальне (1 шт.); свердло для глибокого свердління 3-х отв. з довжинами $82^{+0,5}$ Ø8,5 та 2-х отворів Ø8,5 та довжиною свердління $34^{+0,5}$ мм (1 шт.); зенківка циліндрична для 5-х отв. під ущільнення (1 шт.); мітчик машинний для 5-х отв. M10x1,5 (1 шт.);

- для обробки кріпильних отворів 2 комплекти з центрами в (·) 12÷15 та 16÷19: свердло для центрування (1 шт.); свердло (1 шт.);

- для обробки кріпильних 4-х отворів Ø6 на довжині 96 мм (наскрізна обробка) з центрами в (·) 4, 5, 6, 7: свердло глибокого свердління (1 шт.); свердло для центрування (1 шт.); свердло для обробки фасок з 2-х боків кожного отвору.

Всього потрібно використати 15 найменувань різального інструмента, якими працюють верстати.

До складу технологічного процесу необхідно ввести ще одну операцію – 015 – слюсарну. В 8-ми отв. М4х0,7 потрібно застосувати мітчик, який не входить до складу машинних. Крім того, в технічних вимогах закладена необхідність притупити всі гострі кромки – це буде стосуватися зовнішніх граней деталі.

Для виконання операції 010 плануємо використати багатоінструментальний верстат з ЧПК відповідно оснащеним магазином інструментів, пристроїв їх автоматичної заміни та поворотним столом. Попередньо обираємо багатоцільовий верстат з горизонтальним столом та поворотним столом моделі 2204ВМФ2, який має такі характеристики: робоча поверхня столу – 400х500 мм.; поворотна частина столу – 630 мм.; переміщення столу повздовжнє – 500 мм.; відстань від творця шпинделя до середини столу – min 200 мм, max 700 мм; відстань від осі шпинделя до площини столу – min 80 мм, max 580 мм; потужність приводу - 6,3 кВт; ємність магазину інструментів - 30 шт.; позиційний тип системи ЧПК (Ф2); технологічні можливості верстата: фрезерна, свердлильна та розточувальна обробка.

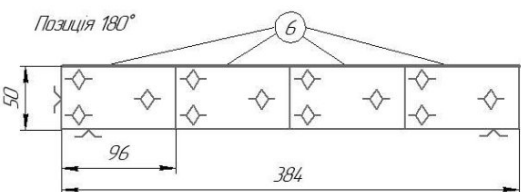
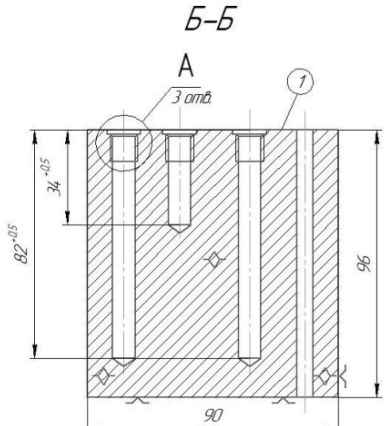
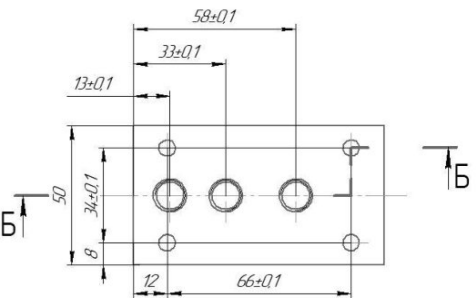
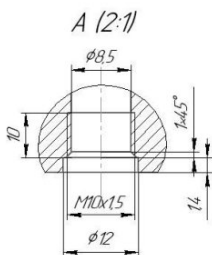
Обробку на верстаті плануємо вести на 4-х заготовках розташованих діаметрально на поворотному столі. Для організації процесу обробки отворів на 3-х гранях знадобиться два установи деталей.

5.6 Проектування маршруту механічної обробки

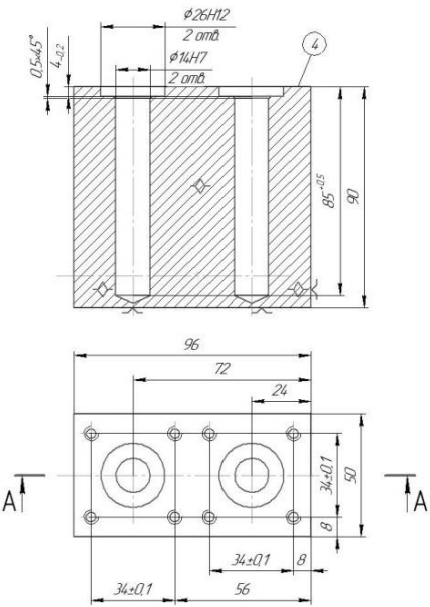
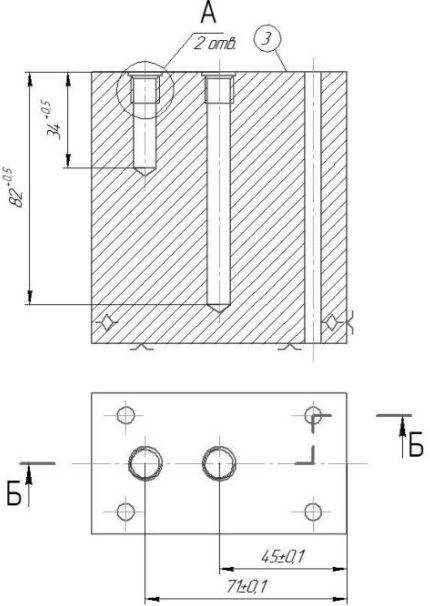
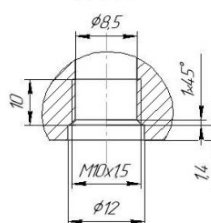
Таблиця 5.1 – Маршрут механічної обробки

Номер, назва і зміст операції	Ескіз обробки зі схемою базування	Тип і модель верстата
1	2	3
<p>005 Горизонтально-фрезерна</p> <p><u>Установ А, позиція 0°</u></p> <p>1.Фрезерувати попередньо пов. 1 заготовок</p> <p>2.Фрезерувати попередньо пов. 1 заготовок</p> <p>3.Фрезерувати остаточно пов. 1 заготовок</p> <p>4.Повернути пристосування на 180°</p> <p><u>Установ А, позиція 180°</u></p> <p>5.Фрезерувати попередньо пов. 3 заготовок</p> <p>6.Фрезерувати попередньо пов. 3 заготовок</p> <p>7.Фрезерувати остаточно пов. 3 заготовок</p> <p>8. Перевстановити заготовки</p> <p><u>Установ Б, позиція 0°</u></p> <p>1.Фрезерувати попередньо пов. 4 заготовок</p> <p>2.Фрезерувати попередньо пов. 4 заготовок</p> <p>3.Фрезерувати остаточно пов. 4 заготовок</p> <p>4.Повернути пристосування на 180°</p> <p><u>Установ Б, позиція 180°</u></p> <p>5.Фрезерувати попередньо пов. 2 заготовок</p> <p>6.Фрезерувати попередньо пов. 2 заготовок</p> <p>7.Фрезерувати остаточно пов. 2 заготовок</p> <p>8. Перевстановити заготовки</p> <p><u>Установ В, позиція 0°</u></p> <p>1.Фрезерувати попередньо пов. 5 заготовок</p> <p>2.Фрезерувати попередньо пов. 5 заготовок</p> <p>3.Фрезерувати остаточно пов. 5 заготовок</p>	<p>Позиція 0° Установ А (вид зверху) $\sqrt{Ra\ 3.2}$</p> <p>Позиція 180°</p> <p>Позиція 0° Установ Б $\sqrt{Ra\ 3.2}$</p> <p>Позиція 180°</p> <p>Позиція 0° Установ В $\sqrt{Ra\ 3.2}$</p>	<p>Горизонтально-фрезерний мод. ADF0808</p>

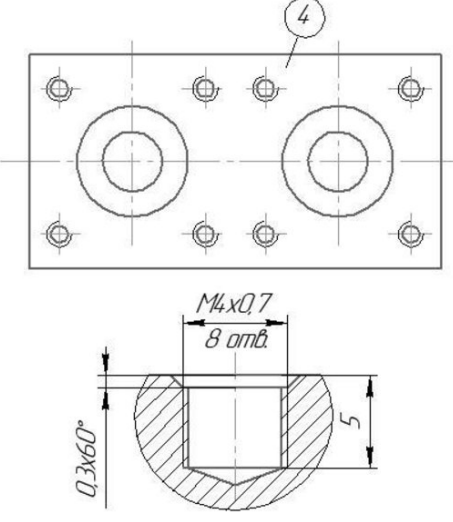
Продовження таблиці 5.1

1	2	3
<p>Установ В, позиція 180°</p> <p>4.Фрезерувати попередньо пов. 6 заготовок</p> <p>5.Фрезерувати попередньо пов. 6 заготовок</p> <p>6.Фрезерувати остаточно пов. 6 заготовок</p> <p>010 Багатоцільова з ЧПК</p> <p>Позиції 0°, 90°, 180°, 270°</p> <p>Площина 1</p> <p>1. Центрувати отв. 1, 2, 3 з дотриманням розмірів по осі симетрії розміру $13\pm0,1$, $33\pm0,1$, $58\pm0,1$</p> <p>2. Свердлити отв. 1 з дотриманням розмірів $\varnothing 8,5$, $13\pm0,1$, $82^{+0,5}$ в режимі глибокого свердління</p> <p>3. Свердлити отв. 2 з дотриманням розмірів $\varnothing 8,5$, $33\pm0,1$, $34^{+0,5}$</p> <p>4. Свердлити отв. 3 з дотриманням розмірів $\varnothing 8,5$, $58\pm0,1$, $82^{+0,5}$ в режимі глибокого свердління</p> <p>5. Зенкувати отв. 1, 2, 3 $\varnothing 12$ на глибину 1,4 мм</p> <p>6. Зенкувати 3 фаски в отв. 1, 2, 3 з дотриманням розміру $1\times 45^\circ$</p> <p>7. Нарізати різь в отв. 1, 2, 3 з дотриманням розмірів M10x1,5 , 10 мм</p> <p>8. Центрувати 4 отв. 4, 5, 6, 7 з дотриманням розмірів 12, 8, $66\pm0,1$ та $34\pm0,1$</p> <p>9. Свердлити 4 отв. 4, 5, 6, 7 наскрізно в режимі глибокого свердління</p> <p>10. Зенкувати 4 фаски отв. 4, 5, 6, 7 з дотриманням розміру $0,5\times 45^\circ$</p> <p>11. Перевстановити деталі на поворотному столі</p> <p>Позиції 0°, 90°, 180°, 270°</p> <p>Площина 4</p> <p>1. Центрувати отв. 10 та 11 з дотриманням розмірів 24 та 72 мм по осі симетрії розміру 50 мм</p> <p>2. Свердлити отв. 10 та 11 з дотриманням розмірів $85^{+0,5}$ мм та $\varnothing 13,5$ в режимі глибокого свердління</p> <p>3. Зенкувати отв. 10 та 11 з дотриманням розміру $\varnothing 13,85$ на повну глибину</p>	<p>Позиція 180°</p>  <p>Б-Б</p>   <p>А (2:1)</p> 	<p>Багатоцільовий верстат з ЧПК мод. 2204ВМФ2</p>

Продовження таблиці 5.1

1	2	3
<p>4. Розгорнути отв. 10 та 11 попередньо з дотриманням розміру $\varnothing 13,95$ на повну глибину</p> <p>5. Розгорнути отв. 10 та 11 попередньо з дотриманням розміру $\varnothing 14H7$ на повну глибину</p> <p>6. Зенкувати 2 отв. $\varnothing 26H12$ з дотриманням розміру $4_{-0,2}$</p> <p>7. Зенкувати фаски в отв. 10 та 11 з дотриманням розміру $0,5 \times 45^\circ$</p> <p>8. Центрувати отв. 12÷15, 16÷19 з дотриманням розмірів $34 \pm 0,1$ (3 розміри), 8 мм (2 розміри)</p> <p>9. Свердлити отв. 12÷15, 16÷19 з дотриманням розмірів $\varnothing 3,3$ на глибину 5 мм</p> <p>10. Перевстановити деталі на поворотному столі</p> <p>Позиції 0°, 90°, 180°, 270°</p> <p>Плющина 3</p> <p>1. Центрувати отв. 8, 9 з дотриманням розмірів $45 \pm 0,1$, $71 \pm 0,1$ мм осі симетрії розміру 50 мм</p> <p>2. Свердлити отв. 8, 9 з дотриманням розмірів $\varnothing 8,5$, $34^{+0,5}$ та $82^{+0,5}$</p> <p>3. Зенкувати фаску у отв. 8, 9 з дотриманням розміру $1 \times 45^\circ$</p> <p>4. Нарізати різь в отв. 8, 9 з дотриманням розмірів $M10 \times 1,5$ та 10 мм</p> <p>5. Зенкувати фаску в 4, 5, 6, 7 з дотриманням розміру $0,5 \times 45^\circ$</p> <p>6. Зняти заготовки з поворотного столу</p>	<p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;"><i>A-A</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Б-Б</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>A (2:1)</i></p> 	

Продовження таблиці 5.1

1	2	3
<p>015 Слюсарна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розсвердлити фаски $0,3 \times 60^\circ$ у 8 отв. $\varnothing 3,3$ 2. Нарізати різі $M4 \times 0,7$ у 8 отв. $\varnothing 3,3$ 3. Притупити гострі кромки зовнішніх поверхонь фаскою $1 \times 45^\circ$ 		<p>Слюсарний стіл</p>

5.7 Розмірний аналіз технологічного процесу

5.7.1 Вибір розташування технологічних розмірів

Технологічні розміри розташовуються так, щоб забезпечити зв'язок між оброблюваними та необроблюваними поверхнями, а також точне взаємне розташування оброблених поверхонь. Якщо конструкторські й технологічні бази збігаються, похибка базування відсутня, і додаткові розрахунки для визначення розмірів не потрібні. Процес обробки включає три основні операції: 005, 010 і 015.

На операції 005 виконується формування зовнішніх розмірів деталі. Протилежні грані пов'язані розмірами з точністю $\pm IT12/2$, що дозволяє обробляти їх в один прохід. Для досягнення необхідної чистоти поверхні $Ra=3,2$ мкм проводяться як попередня, так і остаточна обробка. Заготовка передбачає наявність припусків, а процес виконується на універсальному фрезерному верстаті. Необхідна точність досягається ручним вимірюванням і налаштуванням інструменту. Аналіз розмірів використовується для визначення параметрів заготовки.

На операції 010 обробляються внутрішні порожнини, включаючи глухі отвори. Вісі отворів мають прив'язки до зовнішніх площин із допусками 0,1 або 0,5 мм. Операція виконується на багатоцільовому верстаті з ЧПК, який забезпечує високу

точність позиціонування – 0,01 мм. Всі лінійні розміри відповідають або перевищують вимоги креслення. Рух столу із заготовками виконується з точністю до 0,01 мм, тому додатковий розмірний аналіз не потрібен.

Операція 015 не розглядається, оскільки вона є слюсарною і виконується вручну. На першому етапі проводиться обробка різьбових отворів, а на другому - зняття фасок із зовнішнього контуру деталі за допомогою напильника.

5.7.2 Попереднє призначення допусків технологічних розмірів. Розмірна схема технологічного процесу

Зупинимося на операції 005, зокрема на етапах, що забезпечують отримання розміру 90h12. Для цього потрібно скласти розмірну схему технологічного процесу для зазначених етапів.

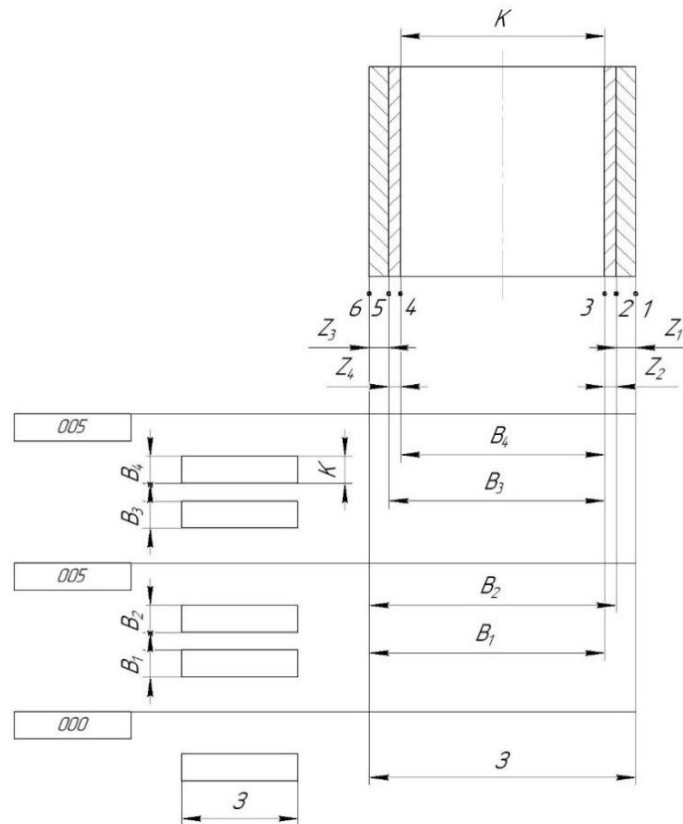


Рисунок 5.5 – Розмірна схема ТП на операції 005

Попередньо визначаємо допуски:

$T(B_4)=T(K)=0,35$ мм; $h12$ (допуск на чистовий розмір після зняття чистового припуску Z_4);

$T(B_1)=1,2$ мм; $h15$ (розмір, отриманий після зняття першого чорнового припуску Z_1);

$T(B_2)=0,74$ мм; $h14$ (розмір, отриманий після зняття першого чистового припуску Z_2);

$T(B_3)=0,46$ мм; $h15$ (розмір, отриманий після зняття другого чорнового припуску Z_3);

$T(3)=1,75$ мм за ДСТУ 4746:2007 для прийнятої заготовки зі стороною 10 мм: $\pm 1,75$ мм.

5.7.3 Похідний, вихідний графи-дерева, суміщений граф

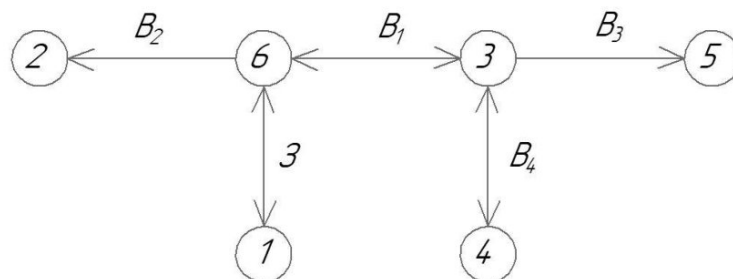


Рисунок 5.6 – Похідний граф-дерево

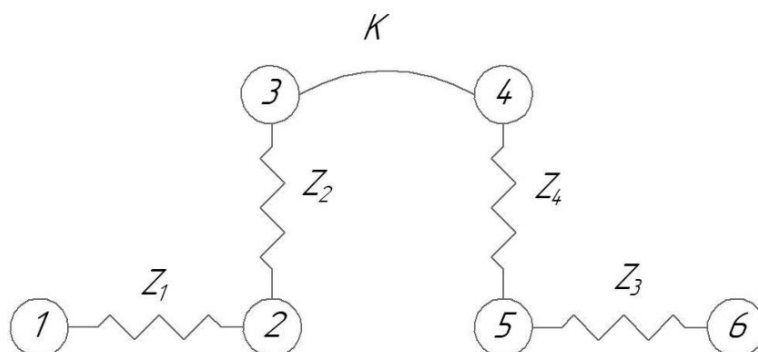


Рисунок 5.7 – Вихідний граф-дерево

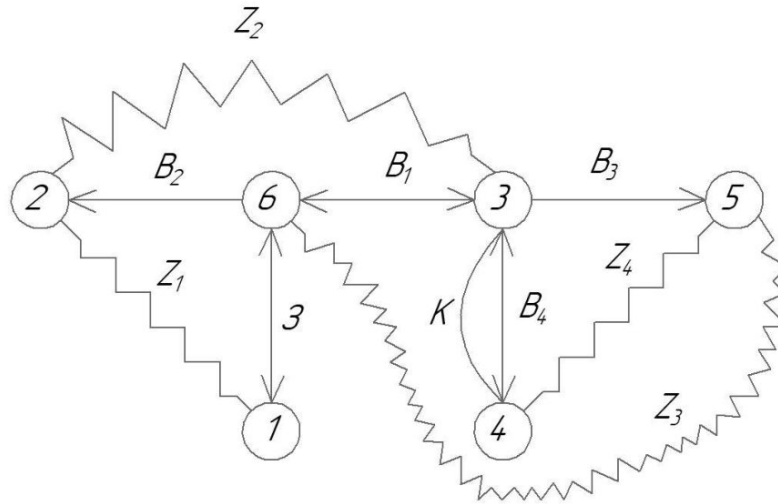


Рисунок 5.8 – Суміщений граф

5.7.4 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Таблиця 5.2 – Рівняння технологічних розмірних ланцюгів

Розрахункове рівняння	Вихідні рівняння	Розмір, що визначається
1. $B_4 - K = 0$	$K = B_4$	B_4
2. $B_3 - B_4 - Z_4 = 0$	$Z_4 = B_3 - B_4$	B_3
3. $B_2 - B_3 - Z_3 = 0$	$Z_3 = B_2 - B_3$	B_2
4. $B_1 - B_2 - Z_2 = 0$	$Z_2 = B_1 - B_2$	B_1
5. $3 - B_1 - Z_1 = 0$	$Z_1 = 3 - B_1$	3

5.7.5 Визначення проміжних мінімальних пропусків на механічну обробку

плоских поверхонь

Визначаємо за формулою:

$$Z_{\min} = R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \xi_i \quad (5.2)$$

З гарячекатаного сталюого квадратного прокату відрізаються штучні заготовки:

- попередня обробка: $R_z = 50$ мкм, $T = 50$ мкм.
- чистове торцеве фрезерування: $R_z = 10$ мкм, $T = 15$ мкм.

Сумарне значення просторових відхилень при обробці торцевих поверхонь:

$$\rho = 0,08 \text{ (мкм/1м довжини)}$$

Похибка встановлення:

$$\xi_{\text{вст}} = \sqrt{\xi_{\delta}^2 + \xi_z^2 + \xi_{np}^2} \quad (5.3)$$

- похибка базування $\xi_{\delta} = 0$ - при суміщенні вимірювальної та установчої баз;
- похибка закріплення $\xi_z = 0$ - використаний пневматичний затискний пристрій;
- похибка положення заготовки в пристосуванні - $\xi_{np} = 0,05$ мм.

$$Z_{\min_1} = 50 + 50 + 0,08 + 50 = 150,08 \text{ мкм}$$

$$Z_{\min_2} = 10 + 15 + 0,08 + 50 = 75,08 \text{ мкм}$$

На попередню обробку приймаємо $Z_{\min} = 0,15$ мм, а на остаточну обробку - $Z_{\min} = 0,07$ мм.

В результаті отримаємо, що $Z_{1\min} = Z_{3\min} = 0,16$ мм, $Z_{2\min} = Z_{4\min} = 0,08$ мм.

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

$$1. \quad K = B_4 = 90_{-0,35} = B_{4ном}$$

$$B_{4\min} = 90_{-0,35} = 89,65 \text{ мм}$$

$$B_{4\max} = 90,00 \text{ мм}$$

$$2. \quad Z_4 = B_3 - B_4$$

$$Z_{4\min} = B_{3\min} - B_{4\max}$$

$$B_{3\min} = B_{4\max} + Z_{4\min} = 90,00 + 0,08 = 90,08 \text{ мм}$$

$$B_{3\max} = B_{3\min} + \delta = 90,08 + 1,4 = 91,48 \text{ мм}$$

$$Z_{4\max} = B_{3\max} - B_{4\min} = 91,48 - 89,65 = 1,83 \text{ мм}$$

$$B_{3ном} = 91,48_{-1,4} \text{ мм}$$

$$3. \quad B_2 - B_3 - Z_3 = 0$$

$$Z_3 = B_2 - B_3$$

$$Z_{3\min} = B_{2\min} - B_{3\max}$$

$$B_{2\min} = B_{3\max} + Z_{3\min} = 91,48 + 0,16 = 91,64 \text{ мм}$$

$$B_{2\max} = B_{2\min} + \delta = 91,64 + 1,4 = 93,04 \text{ мм}$$

$$Z_{3\max} = B_{2\min} - B_{3\min} = 93,04 - 90,08 = 2,96 \text{ мм}$$

$$B_{2\text{nom}} = 93,04_{-1,4}$$

$$4. \quad B_1 - B_2 - Z_2 = 0$$

$$Z_2 = B_1 - B_2$$

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

$$B_{1\min} = B_{2\max} + Z_{2\min} = 91,64 + 0,08 = 91,72 \text{ мм}$$

$$B_{1\max} = B_{1\min} + \delta = 91,72 + 1,4 = 93,12 \text{ мм}$$

$$Z_{2\max} = B_{1\max} - B_{2\min} = 93,12 - 91,64 = 1,48 \text{ мм}$$

$$B_{2\text{nom}} = 93,12_{-1,4}$$

$$5. \quad 3 - B_1 - Z_1 = 0$$

$$Z_1 = 3 - B_1$$

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

$$3_{\min} = B_{1\max} + Z_{1\min} = 93,12 + 0,16 = 93,28 \text{ мм}$$

$$3_{\max} = 3_{\min} + \delta = 93,28 + 3,5 = 96,78 \text{ мм}$$

$$Z_{1\max} = 3_{\max} - B_{1\min} = 96,78 - 91,72 = 5,06 \text{ мм}$$

$$3_{\text{nom}} = 96,78 \pm 1,75$$

Результати розрахунків зводимо у таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Результати розрахунку розмірних ланцюгів

Технологічні розміри	З	В1	В2	В3	В4
Попередні значення допусків розмірів, мм	3,5	1,4	1,4	1,4	0,35
Квалітет точності допусків розмірів, мм	-	h15	h15	h15	h12
Прийняті значення допусків розмірів, мм	3,5	1,4	1,4	1,4	0,74
Номинальні розміри, мм	96,78±1,75	93,12 _{-1,4}	93,04 _{-1,4}	91,48 _{-1,4}	90 _{-0,35}

Таблиця 5.4 – Результати розрахунку граничних значень припусків

Припуски, мм		Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
Граничні розміри	Z _{min}	0,16	0,08	0,16	0,08
	Z _{max}	5,06	1,48	2,96	1,83

Висновок: Розрахункові рівняння відповідають дво- або триланковим ланцюгам і дають змогу точно визначити максимальні припуски та технологічні розміри вихідної заготовки. Проте розбіжності між припусками, закладеними під час проектування заготовки, та результатами розрахунків у цьому розділі свідчать про те, що змінювати маршрут механічної обробки не потрібно, але необхідно внести корективи в допуски розмірів.

5.8 Визначення припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні

Виконаємо розрахунок для поверхні з найбільшим показником точності - отвору Ø14H7.

Заготовка виготовляється шляхом відрізання від гарячекатаного квадратного прутка, після чого всі її площини обробляються фрезеруванням начисто.

Технологічний процес включає такі операції: свердління, зенкування, попереднє розгортання та остаточне розгортання. Усі поверхні обробляються за один

установ деталі, базуючись на площині розміром 90x50 мм з упором на поверхню 96x50 мм.

Результати розрахунків припусків на обробку отвору Ø14H7 наведені в таблиці 5.5, де послідовно описаний технологічний маршрут і всі етапи формування припуску:

Таблиця 5.5 – Розрахунок припусків та граничних розмірів на обробку отв. Ø14Н7

[illegible]

Значення R_z та T показують якість поверхонь:

- попередньо свердлимо отвір $\varnothing 11,8H12$. Отримаємо поверхні отвору з такими параметри: $R_z = 20$ мкм, $T = 30$ мкм (глибоке свердління $\varnothing 11,8$ на глибину 61 мм, тобто $61/11,8 = 5,17$);

- зенкерування чистове - $R_z = 15$ мкм, $T = 25$ мкм;
- розгортання попереднє - $R_z = 10$ мкм, $T = 20$ мкм;
- розгортання остаточне - $R_z = 3$ мкм.

Проведемо розрахунок сумарного значення просторових відхилень в момент обробки отвору при нерухомій деталі:

$$\rho = \sqrt{C_o^2 + (\Delta_k \cdot l)^2}, \quad (5.4)$$

де, C_o - зміщення осі отвору при глибокому свердлінні, $C_o = 15$ мкм;

Δ_k - питома уведення осі отвору, $\Delta_k = 1,3$ мкм/мм.

$$\rho_{св.} = \sqrt{15^2 + (1,3 \cdot 60)^2} = \sqrt{225 + 6084} \approx 79,4 \text{ (мкм)}$$

Залишкові відхилення по іншим видам обробки цього ж отвору розраховуємо за емпіричною формулою:

$$\rho_{залиш.} = \kappa_y \cdot \rho_{заг.}, \quad (5.5)$$

де, κ_y - коефіцієнт уточнення форми;

$$\rho_{заг.} = \rho_{св.} \quad (5.6)$$

Зенкерування отвору:

$$\rho_{залиш.зєнк.} = 0,005 \cdot 79,4 = 0,397 \approx 0,4 \text{ (мкм)}$$

Розгортання попереднє:

$$\rho_{залиш.розв.} = 0,002 \cdot 79,4 = 0,1588 \approx 0,16 \text{ (мкм)}$$

Остаточне розгортання не враховується, так як $\rho_{залиш.}$ практично дорівнює нулю. Похибка встановлення $\xi_{вст}$ на етапі обробки проявляється у вигляді зміщення оброблюваної поверхні, яке необхідно компенсувати додатковою частиною проміжного припуску.

$$\xi_{вст.} = \sqrt{\xi_{\delta}^2 + \xi_z^2 + \xi_{пр.}^2}, \quad (5.7)$$

де, ξ_{δ} - похибка базування;

ξ_z - похибка закріплення;

$\xi_{пр.}$ - похибка положення заготовки.

Планується обробка всіх поверхонь заготовки, розташованих на її різних площинах. Для цього заготовка закріплюється у затискних пневматичних або гідравлічних лещатах. Усі торці деталі вже мають чистову обробку. Кожна деталь встановлюється на поворотний стіл багатоінструментального верстата з ЧПК. Перед початком роботи необхідно налаштувати "нульову" площину, яка буде відправною точкою обробки. Завдяки використанню затискного приводу з постійним зусиллям похибки базування та закріплення виключаються.

Мінімальні значення міжопераційних припусків:

$$2Z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \xi_i^2}), \quad (5.8)$$

Мінімальний припуск на зекерування:

$$2Z_{\min_{зек.}} = 2(20 + 30 + \sqrt{79,4^2 + 0} = 2 \cdot 129,4 \text{ (мкм)})$$

Мінімальний припуск на попереднє розгортання:

$$2Z_{\min_{розв.п.}} = 2(15 + 25 + 0,4) = 2 \cdot 40,4 \text{ (мкм)}$$

Мінімальний припуск на остаточне розгортання:

$$2Z_{\min_{розв.о.}} = 2(10 + 20 + 0,16) = 2 \cdot 30,16 \text{ (мкм)}$$

Розгортання остаточне:

$$d_{p_2} = 14,018 - 0,0603 = 13,958 \text{ (мм)}$$

Розгортання попереднє:

$$d_{p_1} = 13,958 - 0,0808 = 13,877 \text{ (мм)}$$

Зенкерування:

$$d_{p0} = 13,877 - 0,2588 = 13,618 \text{ (мм)}$$

Обираємо значення допусків δ_i приймаємо відповідно до таблиць по квалітету точності та виду обробки.

Остаточного розгортання:

$$2Z_{cp.min_1} = 14,018 - 13,958 = 0,06 \text{ (мм)}$$

$$2Z_{cp.max_1} = 14,0 - 14,931 = 0,069 \text{ (мм)}$$

Попереднє розгортання:

$$2Z_{cp.min_2} = 13,958 - 13,817 = 0,141 \text{ (мм)}$$

$$2Z_{cp.max_2} = 13,931 - 13,747 = 0,184 \text{ (мм)}$$

Зенкерування:

$$2Z_{cp.min_3} = 13,817 - 13,618 = 0,199 \text{ (мм)}$$

$$2Z_{cp.max_3} = 13,747 - 13,468 = 0,279 \text{ (мм)}$$

Беремо за основу отримані дані розрахунків та складаємо схему графічного розташування припусків та допусків обробки отвору $\varnothing 14H7$ (рисунок 5.8).

Загальні припуски Z_{Omin} та Z_{Omax} отримуються методом складання проміжних припусків. Результати розрахунків записуємо у графі таблиці:

$$2Z_{O_{\min}} = 60 + 141 + 199 = 400 \text{ (мкм)}$$

$$2Z_{O_{\max}} = 69 + 184 + 279 = 532 \text{ (мкм)}$$

Загальний мінімальний припуск:

$$Z_{O_{\text{ном}}} = Z_{O_{\min}} + B_2 - B_1 = 400 + 150 - 18 = 432 \text{ (мкм)}$$

$$D_{O_{\text{ном}}} = d_{3_{\min}} - Z_{O_{\text{ном}}} = 14 - 0,432 = 13,568 \text{ (мм)}$$

Перевірка розрахунків:

$$2Z_{O_{\max}} - 2Z_{O_{\min}} = T_3 - T_{\delta}$$

$$532 - 400 = 132 \text{ (мкм)}$$

$$150 - 18 = 132 \text{ (мкм)}$$

На рисунку 5.8 наведена схема графічного розташування припусків і допусків на обробку отвору $\varnothing 14\text{H7}$:

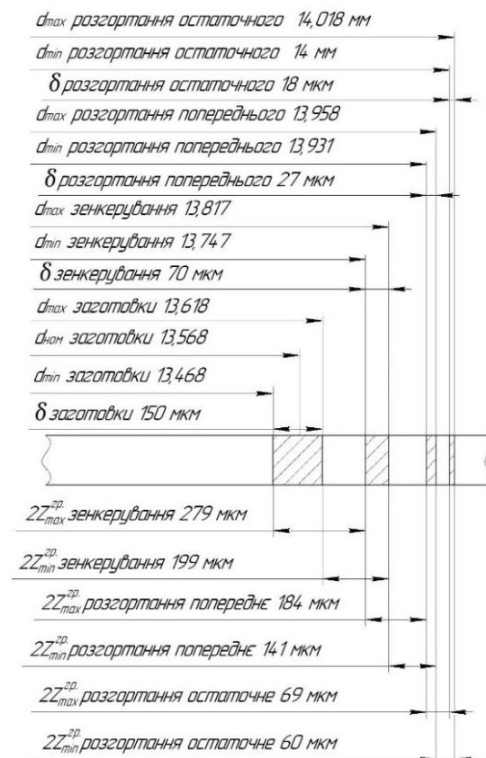


Рисунок 5.8 – Схема графічного розташування припусків та допусків на обробку отвору $\varnothing 14\text{H7}$

Висновок: розрахунки припусків та міжопераційних розмірів проведено вірно.

5.9 Визначення режимів різання при різних методах обробки

Режими обробки деталі є критичним фактором у технологічному процесі. Вибір режимів різання має бути орієнтований на досягнення необхідної продуктивності з мінімальними витратами за операцію. Це забезпечується шляхом використання інструмента з оптимальною конструкцією та можливостей відповідного верстата, що не обмежують різальні характеристики інструмента. Режими встановлюються з урахуванням властивостей деталі, інструмента та верстата. Спочатку визначається глибина різання, потім подача, а останнім параметром є швидкість різання.

Тепер розглянемо режими різання для свердління отвору Ø8,5H12 на глибину 73 мм (отримання різі M10x1,5).

Обробку виконуємо у суцільному матеріалі - Сталь 45. Різальний інструмент: свердло спіральне з конічним хвостовиком 035–2301–1040 $d = 8,5$ мм, $L = 155$ мм, $l_0 = 75$ мм, $l = 93$ мм, к.м.№1, ОСТ 2И20–2–80.

Подача ($HB217$, $P6M5$):

$$S_{рек.} = 0,20 - 0,25 \text{ (мм/об)}$$

Для отворів глибиною $<10D$ (в нашому випадку $82/8,5 = 9,64$) застосуємо поправний коефіцієнт $K_{l_s} = 0,75$.

$$S_{np.} = 0,25 \cdot 0,75 = 0,19 \text{ (мм/об)}$$

Розрахуємо швидкість різання. Стійкість інструмента $T = 35$ хв., коефіцієнт $C_v = 7,0$, показники степені: $q = 0,4$; $y = 0,7$; $m = 0,2$. При обробці застосовується охолодження.

Загальний поправний коефіцієнт:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Uv} \cdot K_{lv}, \quad (5.9)$$

де, K_{Mv} - к. на оброблений матеріал,

$$K_{Mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_6}\right)^{n_v} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{1000}\right)^{0,9} = 0,75^{0,9} = 0,772$$

K_{Uv} - к. на інструментальний матеріал, $K_{Uv} = 1,0$

K_{lv} - к. глибини свердління, $K_{lv} = 0,6$

$$K_v = 0,772 \cdot 1,0 \cdot 0,6 = 0,56$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} K_v = \frac{7 \cdot 8,5^{0,4}}{35^{0,2} \cdot 0,19^{0,7}} 0,46 = 11,9 \text{ (м/хв)}$$

Крутний момент:

$$M_{кр.} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p = 10 \cdot 0,0345 \cdot 8,5^2 \cdot 0,19^{0,8} \cdot 1,24 = 8,19 \text{ (Н·м)}$$

Осьова сила:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p = 10 \cdot 68 \cdot 8,5^{1,0} \cdot 0,19^{0,7} \cdot 1,24 = 2243 \text{ (Н)}$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 11,9}{3,14 \cdot 8,5} = 450 \text{ (об/хв)}$$

Значення n необхідно привести до найближчого більшого значення верстата.

Приймаємо $n_{np} = 500$ об/хв.

Уточнюємо швидкість різання:

$$V_{yt} = \frac{\pi D \cdot n_{кр.}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 8,5 \cdot 500}{1000} = 13,35 \text{ (м/хв)}$$

Потужність різання:

$$N_e = \frac{M_{кр.} \cdot n}{9750} = \frac{8,19 \cdot 500}{9750} = 0,42 \text{ (кВт)}$$

За паспортом верстата моделі 2204ВМ1Ф4 потужність приводу шпинделя складає $N_e = 6,3$ кВт. Тому обробка поверхні можлива.

Фрезерування попереднє площини заготовки розміром 90х96 мм:

Обираємо різальний інструмент - торцева насадна фреза із швидкоріжучої сталі за ГОСТ 9304 – 69: $D = 80$ мм; $B = 45$ мм; $d = 32$ мм; $Z = 16$.

Обираємо подачу для середньої жорсткості системи та потужності верстата $N_e = 3,0$ кВт:

$$S_{Z_{рек.}} = 0,06 - 0,1 \text{ (мм/зуб)}$$

Приймаємо: $S_{Z_{пр.}} = 0,08$ мм/зуб

Швидкість різання:

$$V = \frac{c_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} K_v, \quad (5.10)$$

де, $c_v = 64,7$; $D = 80$; $q = 0,25$; $y = 0,2$; $t = 2$ мм; $m = 0,2$; $T = 180$ хв; $x = 0,1$;

$S_z = 0,08$ мм/зуб; $B = 45$ мм; $u = 0,15$; $Z = 16$; $p = 0$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} = 0,772$$

$$V = \frac{64,7 \cdot 80^{0,25}}{180^{0,2} \cdot 2^{0,1} \cdot 0,08^{0,2} \cdot 45^{0,15} \cdot 16^0} 0,772 = 46,2 \text{ (м/хв)}$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 46,2}{3,14 \cdot 80} = 184 \text{ (об/хв)}$$

Приймаємо $n_e = 200$ об/хв.

Уточнюємо швидкість різання:

$$V_{ym} = \frac{\pi D \cdot n_{кр}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 200}{1000} = 50,24 \text{ (м/хв)}$$

Сила різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot n^w} K_{MP} \quad (5.11)$$

де, $C_p = 82,5$; $q=1,1$; $y=0,8$; $t=2$ мм; $x=0,95$; $S_z = 0,08$ мм/зуб; $B = 45$ мм; $u=1,1$; $Z=16$; $w=0$.

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^n = 1,09$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 82,5 \cdot 2^{0,95} \cdot 0,08^{0,8} \cdot 45^{1,1} \cdot 16}{80^{1,1} \cdot 1} 1,09 = 1954 \text{ (Н)}$$

Крутний момент:

$$M_{кр.} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{1954 \cdot 80}{200} = 782 \text{ (Н·м)}$$

Потужність різання:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V_{кор}}{1020 \cdot 60} = \frac{1954 \cdot 50,24}{1020 \cdot 60} = 1,6 \text{ (кВт)}$$

За паспортом верстата моделі ADF0808 потужність приводу шпинделя складає $N_e = 3,0$ кВт. Тому обробка поверхні можлива.

5.10 Визначення технічних норм часу для всіх операцій

Для операцій 005, 010 та 015 норми часу визначаються за спрощеною методикою, яка була використана в розділі 2. Однак після завершення розробки технологічного процесу вона потребує деяких коригувань.

Норми основного часу обчислюються за числовим коефіцієнтом з урахуванням відповідних параметрів обробки, таких як довжина, діаметр тощо. Отримані дані заносимо в таблицю 5.7.

Таблиця 5.7 – Розрахунок норм витрат основного часу T_O

Операція і найменування переходу обробки	Формула для розрахунку $T_O \cdot 10^{-3}$	Результат розрахунку, хв
1	2	3
Операція 005 – Горизонтально-фрезерна		
1. Фрезерування попереднє (чорнове) торцевою фрезою за прохід	$6 \cdot l$	$6 \cdot 90 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 1,08$
2. Фрезерування попереднє (напівчистове) торцевою фрезою за прохід	$6 \cdot l$	$6 \cdot 90 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 1,08$
3. Фрезерування остаточне (чистове)	$4 \cdot l$	$4 \cdot 90 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 0,72$
4. Фрезерування попереднє (чорнове) торцевою фрезою за прохід	$6 \cdot l$	$6 \cdot 90 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 1,08$
5. Фрезерування попереднє (напівчистове) торцевою фрезою за прохід	$6 \cdot l$	$6 \cdot 90 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 1,08$
6. Фрезерування остаточне (чистове)	$4 \cdot l$	$4 \cdot 90 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 0,72$
7. Фрезерування попереднє (чорнове) торцевою фрезою за прохід	$6 \cdot l$	$6 \cdot 96 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 1,18$
8. Фрезерування остаточне (чистове)		
*обробляються по дві протилежні площини	$4 \cdot l$	$4 \cdot 96 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 0,73$
Сумарні витрати T_O на операції 005		$\Sigma T_O = 7,67$ хв.

Продовження таблиці 5.7

1	2	3
Операція 010 – Багатоцільова з ЧПК		
Площина 1		
1. Центрування 3-х отв. Ø8,5	$0,52 \cdot D \cdot l$	$0,52 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 0,0166$
2. Свердління отв. Ø8,5 на довжину 82 мм	$0,52 \cdot D \cdot l$	$0,52 \cdot 8,5 \cdot 82 \cdot 10^{-3} = 0,323$
3. Свердління отв. Ø8,5 на довжину 34 мм	$0,52 \cdot D \cdot l$	$0,52 \cdot 8,5 \cdot 34 \cdot 10^{-3} = 0,261$
4. Свердління отв. Ø8,5 на довжину 82 мм	$0,52 \cdot D \cdot l$	$0,52 \cdot 8,5 \cdot 82 \cdot 10^{-3} = 0,261$
4. Зенкування 2-х отв. Ø12 на довжину 1,4 мм	$0,21 \cdot D \cdot l$	$0,21 \cdot 12 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} = 0,0076$
5. Зенкування 2-х фасок $1 \times 45^\circ$ в 2-х отв. Ø8,5	$0,21 \cdot D \cdot l$	$0,21 \cdot 8,5 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,004$
6. Нарізання різі M10x1,5 в 3-х отв. Ø8,5 на довжину 10 мм	$0,4 \cdot D \cdot l$	$0,4 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 0,008$
7. Центрування 4 отв. Ø6	$0,52 \cdot D \cdot l$	$0,52 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,0166$
8. Свердління 4 отв. Ø6 наскрізно (l=96 мм)	$0,52 \cdot D \cdot l$	$0,52 \cdot 6 \cdot 96 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,911$
9. Зенкування фасок $0,5 \times 45^\circ$ у 8-ми отв. Ø6	$0,21 \cdot D \cdot l$	$0,21 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0,0576$
10. Центрування 2-х отв. Ø14H7	$0,52 \cdot D \cdot l$	$0,52 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,0083$
11. Свердління отв. Ø11,8 на довжину $85^{+0,5}$	$0,52 \cdot D \cdot l$	$0,52 \cdot 11,8 \cdot 85 \cdot 10^{-3} = 0,0084$
12. Зенкування 2-х отв. Ø26H12 на глибину $4_{-0,2}$	$0,21 \cdot D \cdot l$	$0,21 \cdot 26 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,0504$
13. Зенкування отв. Ø13,8 на довжину $85^{+0,5}$	$0,21 \cdot D \cdot l$	$0,21 \cdot 13,8 \cdot 61 \cdot 10^{-3} = 0,177$
14. Розгортання отв. Ø13,96 попередньо на глибину $85^{+0,5}$	$0,43 \cdot D \cdot l$	$0,43 \cdot 13,96 \cdot 61 \cdot 10^{-3} = 0,366$
15. Розгортання отв. Ø14H7 остаточно на глибину $85^{+0,5}$	$0,86 \cdot D \cdot l$	$0,86 \cdot 14 \cdot 61 \cdot 10^{-3} = 0,734$
16. Зенкування 2-х фасок $0,5 \times 45^\circ$ у отв. Ø14H7	$0,21 \cdot D \cdot l$	$0,21 \cdot 14 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,0032$
17. Центрування 8-ми отв. M4x0,7	$0,52 \cdot D \cdot l$	$0,52 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0,009$
18. Свердління 8-ми отв. Ø3,3 під різь M4x0,7 на глибину 5 мм.	$0,52 \cdot D \cdot l$	$0,52 \cdot 3,3 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0,00686$
19. Свердління отв. Ø11,8 на довжину $85^{+0,5}$	$0,52 \cdot D \cdot l$	$0,52 \cdot 11,8 \cdot 85 \cdot 10^{-3} = 0,509$
20. Зенкування отв. Ø13,8 на довжину $85^{+0,5}$	$0,21 \cdot D \cdot l$	$0,21 \cdot 13,8 \cdot 85 \cdot 10^{-3} = 0,241$
21. Розгортання отв. Ø13,96 попередньо на глибину $85^{+0,5}$	$0,43 \cdot D \cdot l$	$0,43 \cdot 13,96 \cdot 85 \cdot 10^{-3} = 0,498$
22. Розгортання отв. Ø14H7 остаточно на глибину $85^{+0,5}$	$0,86 \cdot D \cdot l$	$0,86 \cdot 14 \cdot 85 \cdot 10^{-3} = 0,999$
23. Центрування 2-х отв. Ø8,5	$0,52 \cdot D \cdot l$	$0,52 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,0083$
24. Свердління 2-х отв. Ø8,5 відповідно на довжину $34^{+0,5}$ та $85^{+0,5}$	$0,52 \cdot D \cdot l$	$0,52 \cdot 8,5 \cdot 34 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,141$ $0,52 \cdot 8,5 \cdot 85 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,352$
25. Зенкування 2-х отв. Ø12 на глибину 1,4	$0,21 \cdot D \cdot l$	$0,21 \cdot 12 \cdot 1,4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,0071$
26. Зенкування 2-х фасок $1 \times 45^\circ$ в отворах Ø8,5	$0,21 \cdot D \cdot l$	$0,21 \cdot 8,5 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,0018$
27. Нарізання різі M10x1,5 в 2-х отв. Ø8,5 на довжину 10	$0,4 \cdot D \cdot l$	$0,4 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,08$
Сумарні витрати T_O на операції 010		$\Sigma T_O = 6,276$ хв.

Визначимо сумарний основний час ΣT_O на обробку однієї деталі:

$$\Sigma T_O = \Sigma T_{O005} + \Sigma T_{O010} = 7,67 + 6,276 = 13,946 \text{ (хв)}$$

На операції 005 повний цикл обробки однієї деталі забезпечується за три установка, здійснюється обробка чотирьох деталей одночасно в кожному установі. На операції 010 здійснюється обробка аналогічно операції 005 – чотири деталі за три установка. Тобто:

$$\Sigma T_{O_{\text{вст.}}} = \Sigma T_O \cdot 4 = 13,946 \cdot 4 = 55,784 \text{ (хв)}$$

6 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

6.1 Розрахунок приведеної програми

Коефіцієнт завантаження верстатів розраховується, як відношення кількості верстатів c_p , зайнятих на даній операції процесу, до фактичної прийнятої кількості верстатів c_{np} :

$$\eta_z = \frac{c_p}{c_{np}} \quad (6.1)$$

$$c_p = \frac{T_{um.}}{t_g} \quad (6.2)$$

де, t_g - такт виготовлення.

$$t_g = \frac{60 \cdot \Phi_o}{1600} = \frac{60 \cdot 4055}{1600} = 152,0 (\text{хв})$$

Штучно-калькуляційний час, що витрачається на операціях:

$$T_{um-\kappa 005} = T_{O005} \cdot 4 \cdot \varphi = 7,67 \cdot 4 \cdot 1,65 = 51,44 (\text{хв})$$

$$T_{um-\kappa 010} = T_{O010} \cdot 4 \cdot \varphi = 6,276 \cdot 4 \cdot 1,65 = 40,174 (\text{хв})$$

де, 4 - кількість деталей, яка одночасно обробляється в робочій зоні верстата;

φ - коефіцієнт, характерний для кожного типу виробництва.

$$c_{P005} = \frac{51,44}{152,0} = 0,338, \quad c_{np005} = 1 \text{ верстат}$$

$$c_{P010} = \frac{40,174}{152,0} = 0,264, \quad c_{np010} = 1 \text{ верстат}$$

Коефіцієнти завантаження обладнання:

$$\eta_{z005} = \frac{0,338}{1} = 0,338 (33,8\%)$$

$$\eta_{z010} = \frac{0,264}{1} = 0,264 (26,4\%)$$

$$\eta_{z.cер} = \frac{0,338 + 0,264}{1 + 1} = 0,301 (30,1\%)$$

Для подальшого оптимального використання верстатів у середньосерійній виробничій ситуації потрібно забезпечити їх завантаження деталями з асортименту виробництва.

Щоб усунути проблему недовантаження обладнання, необхідно скласти програму, яка включатиме групу інших деталей, що мають схожість з основною за геометричними формами, розмірами, а також за технологічними методами обробки.

Спочатку потрібно визначити коефіцієнти закріплення операцій, що виконуються на кожному робочому місці:

$$O_{005} = \frac{\eta_{z.n.}}{c_{p005}} = \frac{0,8}{0,338} = 2,36 \approx 3$$

$$O_{010} = \frac{\eta_{z.n.}}{c_{p010}} = \frac{0,8}{0,264} = 3,03 \approx 3$$

Середній коефіцієнт закріплення операцій:

$$\eta_{z.o.cер} = \frac{O_{005} + O_{010}}{2} = \frac{3 + 3}{2} = 3$$

Це відповідає вимогам великосерійного виробництва, проте в майбутньому можливе розширення асортименту оброблюваних деталей, тому остаточно обираємо умови середньосерійного виробництва.

Для спрощення розрахунків з навчальною метою при складанні приведеної програми, обмежимося розглядом лише операції 005. Отже:

$$N_{прис005} = \frac{c_{p005} \cdot 60 \cdot F_d \cdot \eta_{z.n.}}{T_{шт-к005}} = \frac{0,8 \cdot 60 \cdot 4055 \cdot 0,8}{51,44} = 300 \text{ [дет]}$$

Орієнтуючись на цю величину підберемо групу деталей та дані занесемо в таблицю 6.1

Таблиця 6.1 – Характеристика деталей групи приведення

Найменування деталі	m, кг	N, шт
1. Корпус 1 (задана деталь, вона ж буде деталлю-представником групи)	3,484	1600
2. Корпус 2	3,0	700
3. Корпус 3	2,95	700

Приведення деталей до деталі-представника проводиться з використанням коефіцієнтів за масою, серійністю та складністю. Для спрощення розрахунків можна пропустити коефіцієнт складності і зосередитись на коефіцієнтах маси та серійності.

Отже:

$$K_m = \sqrt[3]{\left(\frac{m_i}{m_{np}}\right)^2}, \quad (6.3)$$

$$K_N = \left(\frac{N_{np}}{N_i}\right)^{0,2}, \quad (6.4)$$

де, m_i , N_i – маса і серійність отриманої деталі;

m_{np} , N_{np} – маса і серійність деталі-представника.

$$K_{прив.} = K_{m_i} \cdot K_{N_i}, \quad (6.5)$$

Розраховані коефіцієнти зведено до таблиці:

Таблиця 6.2 – Характеристика деталей групи приведення

Найменування деталі	K_m	K_N	$K_{прив.}$
1. Корпус 1 (деталь-представник)	1	1	1
2. Корпус 2	0,99	1,16	1,148
3. Корпус 3	0,979	1,16	1,136

6.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження обладнання

Приведена програма:

$$N_{прив.005} = N_{пр.} + K_{прив.1} \cdot N_{пр.1} + K_{прив.2} \cdot N_{пр.2} = 1600 + 804 + 795 = 3199 \text{ [дет]}$$

Визначаємо кількість верстатів, що працює з приведеною програмою:

$$c_{P005_{прив}} = \frac{51,44 \cdot 3199}{60 \cdot 4055 \cdot 0,8} = 0,817$$

Приймаємо $c_{P005_{прив}} = 1$ верстат. По завантаженню ще лишається запас на випадок розширення номенклатури.

Коефіцієнт завантаження цього верстата:

$$\eta_{з.005} = \frac{c_{P005}}{c_{пр005}} = \frac{0,817}{1} = 0,817 \text{ (81,7\%)}$$

Ті ж самі розрахунки проведемо для операції 010. Приведена програма:

$$N_{прив.010} = \frac{c_{P010} \cdot 60 \cdot F_{\partial} \cdot \eta_{з.н.}}{T_{шт-к010}} = \frac{0,8 \cdot 60 \cdot 4055 \cdot 0,8}{40,174} = 3885 \text{ [дет]}$$

Дані таблиць 6.1 та 6.2 залишаються тими ж самими, як і на операції 005. Теж саме стосується і величини приведеної програми.

Визначаємо кількість верстатів, що працює з приведеною програмою:

$$c_{P010_{прив}} = \frac{40,174 \cdot 3199}{60 \cdot 3935 \cdot 0,8} = 0,66$$

Приймаємо $c_{P010_{прив}} = 1$ верстат. По завантаженню ще лишається запас на випадок розширення номенклатури.

Коефіцієнт завантаження цього верстата:

$$\eta_{з.010} = \frac{c_{P010}}{c_{np010}} = \frac{0,66}{1} = 0,66 \text{ (66\%)}$$

Середній коефіцієнт завантаження верстатів:

$$\eta_{з.сер} = \frac{0,817 + 0,66}{1 + 1} = 0,739 \text{ (73,9\%)}$$

6.3 Розрахунок кількості працюючих

Склад працюючих на ділянці наступний:

- основні та допоміжні робітники;
- інженерно-технічні робітники (ІТР);
- службовці (СКП);
- молодший обслуговуючий персонал (МОП).

Розрахуємо кількість основних робітників:

$$P_{верст.005} = \frac{T_{ум-к_{005}} \cdot N}{\Phi_p \cdot K_M} = \frac{51,44 \cdot 3199}{1860 \cdot 60} = 1,47$$

Для операції 005 приймаємо 2 робітники у дві робочі зміни.

$$P_{верст.010} = \frac{T_{ум-к_{010}} \cdot N}{\Phi_p \cdot K_M} = \frac{40,174 \cdot 3199}{1860 \cdot 60} = 1,15$$

Для операції 010 приймаємо 2 робітники у дві робочі зміни.

Кількість допоміжних робітників – це 20-25% від загальної кількості основних робітників виходячи з умов середньосерійного виробництва:

$$P_{доп.} = 0,2 \sum P_{верст.} = 0,2 \cdot 4 = 0,8$$

Потрібен один робітник в одну зміну.

Кількість ІТР - це 18-24% від кількості основних робітників виходячи з умов середньосерійного виробництва:

$$P_{\text{ІТР}} = 0,2 \sum P_{\text{верст.}} = 0,2 \cdot 4 = 0,8$$

Потрібен один робітник у одну робочу зміну.

Кількість СКП – це 1,2-2,2% від кількості основних робітників виходячи з умов середньосерійного виробництва:

$$P_{\text{СКП}} = 0,02 \cdot 4 = 0,08$$

Потрібен один робітник у одну робочу зміну.

Кількість МОП – це 1-2% загальної кількості працюючих виходячи з умов середньосерійного виробництва:

$$P_{\text{МОП}} = 0,02 \cdot (4 + 1 + 1 + 1) = 0,14$$

Потрібен один робітник у одну робочу зміну.

Всі отримані результати зводимо до таблиці 6.3:

Таблиця 6.3 – Відомість штатного складу працюючих

Найменування категорії працюючих	Всього	Робочі зміни	
		1 зміна	2 зміна
1. Основні робітники-верстатники	4	2	2
2. Допоміжні робітники (транспортник)	1	1	-
3. ІТР (майстер)	1	1	-
4. СКП (нормувальник)	1	1	-
5. МОП (прибиральник)	1	-	1
Загальна кількість	8 робітників		

7 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РОБІТ ПО РОЗРОБЛЕННЮ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ НАСОСА ЗМІННОГО РОБОЧОГО ОБ'ЄМУ

7.1. Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи [16]

Виконаємо аналіз рівня новизни науково-дослідної роботи на основі даних, представлених у таблиці 7.1.

На сьогодні в Україні не виробляються гідроагрегати для створення електрогідравлічних систем із пропорційним керуванням для мобільних робочих машин, які б відповідали сучасним стандартам. У зв'язку з цим створення української мобільної робочої техніки без використання комплектуючих іноземного виробництва є неможливим. Крім того, вартість таких іноземних компонентів залишається досить високою. Завдяки проведеній роботі можливо організувати виробництво широкого асортименту мобільних робочих машин різного призначення, таких як навантажувачі, екскаватори, бурильні машини, сільськогосподарські трактори та комбайни тощо. Рівень новизни даної роботи є відносно високим, а значення показника ступеня новизни становить $K_{\text{нов}} = 30$.

Оцінимо показник рівня теоретичного опрацювання цієї науково-дослідної роботи. У межах роботи виконано аналіз впливу конструктивних параметрів створеного регулятора для насоса зі змінним робочим об'ємом на функціонування гідросистеми загалом, а також сформульовано практичні рекомендації. Показник рівня теоретичного опрацювання становить $K_{\text{теор}} = 20$.

Показник, який відображає ступінь новизни:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot K_{\text{нов}} + 0,4 \cdot K_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 30 + 0,4 \cdot 20 = 18 + 8 = 26$$

Ступінь новизни науково-дослідної роботи при $E_{\text{нау}} = 26$ вважається достатнім.

7.2. Оцінка комерційного потенціалу науково-технічної розробки

Проаналізуємо науково-технічний рівень розробки та комерційний потенціал даного регулятора насоса, спираючись на результати опитування експертів, які охоплюють різні аспекти діяльності підприємства з виробництва та збуту продукції. Основою оцінки слугує перелік критеріїв, зазначений у таблиці 5.1. Подальші розрахунки ефективності впровадження результатів науково-дослідної роботи проведено згідно з методикою.

Таблиця 7.1 – Критерії оцінювання експертами комерційного потенціалу розроблення гідросистеми

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
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
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
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

Продовження таблиці 7.1

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
Практична здійсненність					
Ринкові перспективи:					
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військовопромисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більше за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менший 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років.	Термін реалізації ідеї менший 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	Необхідна 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

В якості експертів були залучені головний технолог, головний конструктор і керівник відділу збуду підприємства «Гідросила» з міста Кропивницький. Результати оцінки комерційного потенціалу розробки, проведеної експертами, наведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Результати оцінки комерційного потенціалу розробки гідросистеми

Критерії	Посада експерта		
	1. Головний технолог	2. Головний конструктор	3. Керівник відділу збуду
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	2	2
2	1	2	3
3	2	3	1
4	3	4	3
5	4	3	3
6	4	2	3
7	2	4	3
8	4	3	4
9	2	2	3
10	2	3	3
11	4	4	3
12	3	2	2
Сума балів	32	34	33
Середньоарифметична сума балів СБ	$СБ = \frac{32 + 34 + 33}{3} = 33$		

Рівень комерційного потенціалу оцінюється за даними, наведеними в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Комерційний потенціал розробки

Середньо арифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 48	Високий

Комерційний потенціал розробки електрогідравлічного регулятора для насоса при значенні СБ = 33 оцінюється як вище середнього.

Рівень розробки та комерційний потенціал зумовлені перевагами, які отримає техніка, оснащена такими гідросистемами. Серед цих переваг:

- значне зменшення витрат пального при виконанні аналогічних видів та обсягів робіт;
- зниження рівня навантаження на робочі органи машини та подовження ресурсу експлуатації;
- підвищення показника якості виконання робіт завдяки можливості регулювання швидкості руху робочих органів техніки в широких діапазонах;
- поліпшення умов роботи оператора техніки завдяки використанню пропорційного керування насосом з розробленим електрогідравлічним регулятором.

7.3. Визначення витрат на науково-дослідну роботу

Загальна сума витрат на проведення даної науково-дослідної роботи визначається як сума всіх витрат за різними статтями. Розглянемо детальніше величину витрат окремо по кожній статті.

7.3.1 Заробітна плата персоналу

Заробітна плата учасників проекту складається з двох частин: основної та додаткової. Основна частина заробітної плати розраховується за такою формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (7.1)$$

де M – місячний посадовий оклад виконавця, грн;

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

t – число робочих днів роботи виконавця.

Рівень заробітної плати учасників дослідження встановлений з урахуванням мінімальної заробітної плати в Україні, яка становить 8000 грн з 1 квітня 2024 року.

Визначення основної заробітної оплати виконавців проекту наведено в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Визначення основної заробітної оплати виконавців проекту

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн.	Примітка
1. Молодший науковий співробітник	14000	636,4	40	25455,5	Роботи з програмними продуктами
2. Старший науковий співробітник	18000	818,2	40	32727,3	Керівник проекту
3. Інженер	12000	545,5	40	21818,2	Роботи на випробувальному стенді
Всього				80001,0	

Додаткова заробітна плата обраховується за формулою:

$$Z_o = (0,1 \dots 0,12) \cdot Z_o = 0,11 \cdot 80001 = 8800,11 \text{ грн.}$$

Виплати на заробітну плату виконавців проекту обчислюються за допомогою такої формули:

$$H_{zn} = (Z_o + Z_o) \cdot \frac{\beta}{100} = (80001 + 8800,11) \cdot \frac{22}{100} = 19536,2 \text{ [грн]},$$

де Z_o – основна заробітна плата робітників, грн.;

Z_o – додаткова заробітна плата всіх робітників, грн.;

β – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, %.

7.3.2 Витрати на матеріали для проведення науково-дослідної роботи

Витрати визначаються за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot \Pi_i \cdot K_i, \quad (7.2)$$

де H_i – витрати матеріалу i -го найменування, кг;

Π_i – вартість матеріалу i -го найменування, грн/кг;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,1$.

В процесі роботи був використаний канцелярський папір формату А4 та канцелярські товари. Потреба в канцелярському папері склала 2 пачки по 500 листів. Вартість канцелярських товарів оцінюється як 50 % від вартості канцелярського паперу. Тоді:

$$M = 2 \cdot 200 \cdot 1,1 + 0,5 \cdot 2 \cdot 200 \cdot 1,1 = 440 + 220 = 660 \text{ [грн]}$$

7.3.3 Спеціальне устаткування та програмне забезпечення для виконання науково-дослідної роботи.

В процесі виконання роботи були використані:

- стенд для дослідження та випробування гідроапаратури;
- пропорційний електромагніт вартістю 9000 грн.;
- персональний комп'ютер ARTLINE Business B29v57 вартістю 15396 грн.;
- аналого-цифровий перетворювач L-Card вартістю 10890 грн.;
- контролер Arduino Mega 2560 вартістю 2292 грн.;
- багатофункціональний пристрій Canon i-SENSYS MF3010 вартістю 9999 грн.

Витрати на обладнання визначаються за такою формулою:

$$K = \sum_1^n H_i \cdot \Pi_i \cdot K_i \text{ грн.}, \quad (7.3)$$

де H_i – кількість обладнання i -го виду, шт.;

Π_i – вартість обладнання i -го виду, грн./кг;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i=1,1$;

n – кількість видів обладнання.

$$K = (9000 + 15396 + 10890 + 2292 + 9999) \cdot 1 \cdot 1,1 = 47577 \cdot 1 \cdot 1,1 = 52334,7 \text{ [грн]}$$

В процесі виконання роботи використовувалось наступне програмне забезпечення:

- операційна система Windows 7 вартістю 1700 грн (C_1);
- програмний пакет Office 2021 Professional Plus вартістю 1900 грн (C_2);
- програмне забезпечення LGraph. Вартість не враховується, оскільки входить в комплект АЦП.
- програмне забезпечення Arduino IDE. Вартість не враховується, оскільки входить в комплект контролера.

Балансову вартість програмного забезпечення розрахуємо за формулою:

$$B_{np} = \sum_1^k C_i + C_i + K_i, \quad (7.4)$$

де C_i – ціна придбання одиниці програмного забезпечення;

C_i – кількість одиниць програмного забезпечення;

$K_i = 1,1$ – коефіцієнт, що враховує інсталяцію та налагодження програмного забезпечення.

$$B_{np} = (1700 + 1900) \cdot 1 \cdot 1,1 = 3960 \text{ [грн]}$$

Загальна балансова вартість устаткування та програмного забезпечення дорівнює $C = 52334,7 + 3960 = 56294,7$ грн.

Амортизація комп'ютерної техніки і програмного забезпечення може бути розрахована за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12}, \quad (7.5)$$

де $Ц$ – балансова вартість техніки та програмного забезпечення, що використовувалась при виконанні науково-дослідної роботи, грн.;

H_a – річна норма амортизаційних відрахувань на техніку та програмне забезпечення. Приймаємо $H_a = 25\%$;

T – термін використання обладнання. Приймаємо $T = 2$ місяці.

$$A = \frac{56294,7 \cdot 25}{100} \cdot \frac{2}{12} = 2345,6 \text{ [грн]}$$

7.3.4 Розрахунок електроенергії для науково-дослідної роботи

Розрахуємо поточне значення тарифу на електроенергію для непобутових споживачів Вінницяобленерго (промислових підприємств) за формулою:

$$Ц_e = (Ц_{opt} + Ц_{розп} + Ц_{пост}) \cdot \left(1 + \frac{ПДВ}{100\%}\right), \quad (7.6)$$

де $Ц_{opt} = 6,49$ грн/кВт·год – середня оптова ціна на електроенергію станом 10.12.2024 р.;

$Ц_{розп} = 0,344$ грн/кВт·год – вартість розподілу електроенергії від Вінницяобленерго на 2024 рік;

$Ц_{пост} = 0,528$ грн/кВт·год – вартість розподілу електроенергії;

ПДВ = 20 % - податок на додану вартість.

$$Ц_e = (6,49 + 0,344 + 0,528) \cdot \left(1 + \frac{20}{100}\right) = 8,83 \text{ [грн/кВт·год]}$$

Значення $Ц_{opt}, Ц_{розп}, Ц_{пост}$ визначені за даними Національної комісії з регулювання енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП).

Витрати на електроенергію визначимо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_e}{\eta_i} = \frac{0,4 \cdot 400 \cdot 8,83 \cdot 0,9}{0,9} + \frac{0,1 \cdot 25 \cdot 8,83 \cdot 0,9}{0,9} + \frac{0,1 \cdot 200 \cdot 8,83 \cdot 0,9}{0,9} +$$

$$+ \frac{0,2 \cdot 200 \cdot 8,83 \cdot 0,9}{0,9} + \frac{0,1 \cdot 200 \cdot 8,83 \cdot 0,9}{0,9} + \frac{3,5 \cdot 200 \cdot 8,83 \cdot 0,9}{0,9} = 8322,3 \text{ [грн]}$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на певному етапі розробки;

t_i – тривалість роботи обладнання на певному етапі розробки;

C_e – вартість 1 кВт·години електроенергії в грн за даними енергопостачальної компанії;

$K_e = 0,9$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності;

$\eta_i = 0,9$ – коефіцієнт корисної дії для обладнання.

Витрати на електроенергію представлені в таблиці 7.5.

Таблиця 7.5 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність	Тривалість роботи, годин	Сума, грн
Персональний комп'ютер	0,4 кВт	400	1412,8
Багатофункціональний пристрій	0,1 кВт	25	22,1
Контролер	0,1 кВт	200	176,6
Електромагніт	0,2 кВт	200	353,2
АЦП	0,1 кВт	200	176,6
Стенд для проведення досліджень	3,5 кВт	200	6181,0
Всього			8322,3

7.3.5 Витрати на відрядження та на роботу сторонніх організацій.

Витрати на відрядження персоналу, а саме керівника, молодшого наукового співробітника та інженера:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%} = (80001 + 8800,11) \cdot \frac{5}{100} = 4440,1 \text{ [грн]}$$

Витрати на оплату послуг сторонніх організацій:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%} = (80001 + 8800,11) \cdot \frac{10}{100} = 8880,2 \text{ [грн]}$$

Витрати, що не враховані в попередніх статтях витрат:

$$I_{\epsilon} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%} = (80001 + 8800,11) \cdot \frac{15}{100} = 13320,3 \text{ [грн]}$$

Накладні загальноновиробничі витрати:

$$B_{nzb} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{H_{nzb}}{100\%} = (80001 + 8800,11) \cdot \frac{100}{100} = 88801,1 \text{ грн.}$$

7.3.6 Витрати на проведення науково-дослідної роботи

Витрати на проведення науково-дослідної роботи визначаються як сума всіх попередніх статей:

$$\begin{aligned} B_{zas} &= Z_o + Z_d + H_{zn} + M + K + B_{nrc} + A + B_e + B_{cv} + B_{cn} + I_{\epsilon} + B_{nzb} = \\ &= 80001 + 8800,11 + 19536,2 + 660 + 52334,7 + 3960 + 2345,6 + 8322,3 + \\ &\quad + 4400,1 + 8800,2 + 13320,3 + 88801,1 = 291281,61 \text{ [грн]} \end{aligned}$$

Загальні роботи на завершення науково-дослідної роботи:

$$ЗВ = \frac{B_{zas}}{\eta}, \quad (7.7)$$

де $\eta = 0,2$, оскільки розробка знаходиться на стадії технічного проектування.

$$ЗВ = \frac{291281,61}{0,2} = 1456408,05$$

За результатами виконання даної роботи створено комплект конструкторської документації на електрогідравлічний регулятор для гідросистем робочих машин. Запропонований електрогідравлічний регулятор має кращі технічні характеристики в порівнянні з аналогами, що застосовуються сьогодні. Електрогідравлічний регулятор дозволяє створювати гідросистеми чутливі до навантаження на базі гідросистем мобільних робочих машин. Це дає змогу регулювати швидкість руху робочих органів в більш широких діапазонах. Це суттєво підвищує якість виконання робіт. Також застосування електрогідравлічного регулятора сприяє зменшенню непродуктивних втрат потужності при виконанні робіт. В результаті все вищезгадане гарантує значну економію пального.

7.4. Розрахунок економічної ефективності науково-дослідної роботи

Оцінимо потенційне зростання чистого прибутку інвестора протягом трьох років від впровадження мобільних машин, оснащених удосконаленими гідросистемами. Розрахунок для 2025 року ведеться за формулою:

$$\Delta\Pi_1 = (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N) \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\theta}{100}\right), \quad (7.8)$$

де $\Delta\Pi_o$ – тис грн – зміна ціни реалізації насоса, приймаємо $\Delta\Pi_o = 7,1$ тис. грн;

N – величина попиту на насос, приймаємо $N = 3000$ шт.;

ΔN – зростання попиту на нові насоса, приймаємо $\Delta N = 300$ шт.;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість, приймаємо $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту, приймаємо $\rho = 0,4$;

θ – ставка податку на прибуток 2020 року, приймаємо $\theta = 18\%$.

$$\Delta\Pi_1 = (7,1 \cdot 3000 + 28,3 \cdot 300) \cdot 0,8333 \cdot 0,4 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 8142,2 \text{ [тис. грн]}$$

Результати розрахунку орієнтовного чистого прибутку інвестора за 2025 – 2027 роки представлено в таблиці 7.7. При розрахунку ціни реалізації насосів, а також виготовлення на підприємстві «Гідросила» місто Кропивницький, використано інформацію з сайтів на яких презентована аналогічна продукція з цінами станом на 1.12.24 р.

Таблиця 7.7 – Чистий прибуток інвестора на 2025 – 2027 роки

Показник	Назва, одиниці виміру	2025	2026	2027
$\Delta\Pi_0$	Зміна ціни реалізації машини, тис грн	7,1	8,1	9,3
N	Величина попиту на машини, шт	3000	3300	3600
Π_0	Ціна реалізації нової машини, тис грн	28,3	32,5	37,4
ΔN	Зростання попиту на нові машини, шт	300	350	400
$\Delta\Pi$	Збільшення чистого прибутку у інвестора, тис грн	8132,7	10415,0	13239,7

Визначимо приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків, що їх може отримати інвестор за формулою:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^2}, \quad (7.9)$$

де T – період часу, протягом якого прогнозується отримання результатів від впровадження, приймаємо $T = 3$ роки;

τ – ставка дисконтування, щорічний прогнозований рівень інфляції, приймаємо $\tau = 0,1$;

t – період часу від початку виконання до моменту отримання чистого прибутку, приймаємо $t = 3$ роки.

$$III = \frac{8132,7 + 10415 + 13239,7}{(1 + 0,1)^3} = 23882,3 \text{ [тис. грн]}$$

Величина первісних інвестицій для реалізації і комерціалізації розробки:

$$PV = K_{инв} \cdot 3B, \quad (7.10)$$

де $K_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує затрати інвестора на реалізацію розробки та її комерціалізацію, приймаємо $K_{инв} = 2$.

$$PV = 2 \cdot 1456 = 2912 \text{ [тис. грн]}$$

Абсолютний економічний ефект для інвестора від впровадження і комерціалізації розробки складає:

$$E_{абс} = III - PV = 23882,3 - 2912 = 20970,3 \text{ [тис. грн]}$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій:

$$E_{\epsilon} = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (7.11)$$

де T – життєвий цикл наукової розробки до закінчення отримання позитивних результатів, приймаємо $T = 3$ роки.

$$E_{\epsilon} = \sqrt[3]{1 + \frac{20970,3}{2912}} - 1 = 2,017 - 1 = 1,017$$

Розрахована величина E_{ϵ} порівнюється з мінімальною ставкою дисконтування τ_{\min} , яка визначає мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладати не доцільно. Загалом, мінімальна ставка дисконтування τ_{\min} визначається за формулою:

$$\tau_{\min} = d + f, \quad (7.12)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках, в Україні (0,14...0,2);

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень, зазвичай, величина $f = (0,05...0,1)$, але може бути і значно більше.

$$\tau_{\min} = 0,15 + 0,1 = 0,25$$

Оскільки:

$$E_{\epsilon} = 1,017 \succ \tau_{\min} = 0,25$$

Інвестор може впроваджувати розробку та виводити її на ринок. Розрахуємо період окупності інвестицій за формулою:

$$T_o = \frac{1}{E_{\epsilon}} = \frac{1}{1,017} = 0,98 \approx 1 \text{ рік}$$

Оскільки $T_o = 1 \prec 3$ років це свідчить про привабливість науково-технічної розробки.

Висновки:

1. В результаті виконання науково-дослідної роботи розроблено електрогідравлічний регулятор для регульованого насоса. Такий насос сприяє зменшенню енергетичних втрат, дозволяє регулювати швидкість руху робочих органів машини, підвищує якість виконуваних робіт, а також знижує динамічні навантаження на робочі органи, що продовжує термін служби машини.

2. Оціночна вартість науково-дослідної роботи, яка пов'язана з розробкою електрогідравлічного регулятора насоса, складає 1456,4 тис. грн.

3. Витрати на виконання робіт, що пов'язані з впровадженням розробки на виробництво складає 2912 тис. грн.

4. Інвестор зможе отримати економічну вигоду від реалізації проекту в обсязі 20970,3 тис. грн протягом 2025–2027 років, вклавши інвестиції у розмірі 2912,0 тис. грн.

5. Період окупності затрат складає $T_o = 1$ рік, що підкреслює вигідність і перспективність цієї розробки для інвестора.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі були проведені експериментальні дослідження роботи гідросистеми з насосом змінного робочого об'єму та електрогідравлічним регулятором, а також проведено розрахунки відносно проектування та виготовлення експериментального зразка електрогідравлічного регулятора насоса.

Під час дослідження було підтверджено, що гідросистема на базі насоса змінного робочого об'єму з електрогідравлічним регулятором забезпечує пропорційне керування подачею насоса. Отримані результати є наступними:

- похибка стабілізації величини подачі насоса A не перевищує 9%;
- відхилення від лінійної залежності частоти обертання гідромотора від напруги керування $U_{кер}$ становить $\delta \leq 15\%$;
- різниця тисків p_n та p_l без навантаження насоса складає 1,5 МПа;
- при роботі гідросистеми різниця тисків p_n та p_l насоса не перевищує 1,5 МПа;
- час перехідного процесу по тиску p_l при збільшенні навантаження на гідросистему не перевищує $t_p = 0,7$ с;
- час перехідного процесу по тиску p_l при зменшенні навантаження на гідросистему не перевищує $t_p = 0,5$ с;
- величина перерегулювання σ не перевищує $\sigma \leq 62\%$;
- втрата потужності в системі керування P_y не перевищує $P_y \leq 1,488$ кВт.

У процесі проектування дослідного зразка електрогідравлічного регулятора було обрано середньосерійне виробництво, що дозволило провести аналіз технологічності та отримати необхідні показники для підтвердження можливості виготовлення деталі. Після оцінки кількох варіантів виготовлення заготовки, найефективнішим було обрано варіант, при якому заготовка виготовляється з квадратного гарячекатаного прутка, що забезпечує оптимальні витрати матеріалів та точність.

Проектування технологічного процесу механічної обробки включало аналіз існуючих методів обробки подібних деталей. Було розроблено маршрут механічної

обробки для деталі «Корпус електрогідравлічного регулятора», визначено операції обробки і схеми базування.

Виконано розмірний аналіз, що включав створення схем технологічного процесу, розрахунок мінімальних припусків і використання рівнянь для визначення точності виготовлення. Також були визначені режими різання і норми витрат часу на операції обробки, а також обрано необхідне обладнання та інструменти для виконання робіт.

Було проведено розрахунки для визначення виробничих параметрів механічної обробки, зокрема кількість обладнання, коефіцієнт його завантаження, а також кількість працівників, необхідних для роботи на дільниці.

В економічній частині проведено аудит науково-дослідної роботи, оцінку науково-технічного рівня розробки електрогідравлічного регулятора та його комерційного потенціалу. Також були визначені витрати на проведення науково-дослідних робіт і розрахована економічна ефективність застосування розробок у промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ding, R. Energy efficiency improvement of heavy-load mobile hydraulic manipulator with electronically tunable operating modes / Ding, R.; Zhang, J.; Xu, B.; Cheng, M.; Pan, M. // *Energy Conversion and Management*, 188, pp. 447-461, (2019), doi:10.1016/j.enconman.2019.03.023.
2. Kumar Hati, S. Energy-saving design of variable-displacement bi-directional pump-controlled electrohydraulic system / Kumar Hati, S.; Pada Mandal, N.; Sanyal, D. // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 235(7), pp.1218-1236, (2021), doi:10.1177/0959651820973898.
3. Leonid G. Kozlov. Determining of the optimal parameters for a mechatronic hydraulic drive / Leonid G. Kozlov; Volodymyr V. Bogachuk; Victor V. Bilichenko; Artem O. Tovkach; Konrad Gromaszek; Samat Sundetov // *Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018*, 1080861 (1 October 2018), 10 pages; doi: 10.1117/12.25015280861.
4. Kozlov, L. Parametric Synthesis of Electrohydraulic Control System for Variable Displacement Pump / Kozlov, L.; Bilichenko, V.; Kashkanov, A.; Tovkach, A.; Kovalchuk, V. // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2023, pp. 48–57.
5. Mondal, N. A single stage spool valve for the pressure compensator of a variable displacement pump: design, dynamic simulation and comparative study with a real pump / Mondal, N.; Saha, R.; Sanyal, D. // *Sādhanā*, 47(4), p. 279, (2022), doi:10.1007/s12046-022-02038-3.
6. Дусанюк Ж. П., Дусанюк С.В. Методичні вказівки до виконання контрольних робіт з дисципліни “Проектування механоскладальних дільниць та цехів” для студентів заочної форми навчання спеціальностей "Технологія машинобудування" та "Менеджмент організацій машинобудування": методичні вказівки. Вінниця : ВДТУ, 2002 – 58 с.
7. Дерібо О.В., Дусанюк Ж.П., Пурдик В.П. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013.-123с.

8. Дерібо О.В. Основи технології машинобудування. Частина 1: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2015.-112 с.
9. Дерібо О.В., Дусанюк Ж.П., Сухоруков С.І. Основи технології машинобудування. Частина 2: практикум. Вінниця: ВНТУ, 2015.-116 с.
10. Дусанюк Ж.П. Посібник до практичних занять з дисципліни «Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні»: посібник. Вінниця: ВНТУ, 2011.-143 с.
11. Руденко П. А., Харламов Ю. А., Плєскач В. М. Проектування та виготовлення заготовок в машинобудуванні: посібник. Київ: Вища школа, 1999 – 247 с.
12. Рудь В.Д. Курсове проектування з технології машинобудування: навчальний посібник: посібник. Київ: ІСДО, 1996. – 300 с.
13. ДСТУ 4746:2007. Прокат сортовий сталевий гарячекатаний квадратний.
14. ДСТУ 4747:2007. Прокат сортовий сталевий гарячекатаний штабовий.
15. Іванов М. І. Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування : навчальний посібник. Вінниця: Глобус-Прес, 2011. – 200 с.
16. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В.О. Козловський. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.
17. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лєсько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

Додаток А

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Керівник роботи _____ Леонід КОЗЛОВ
(підпис) (прізвище, ініціали)

Додаток Б

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

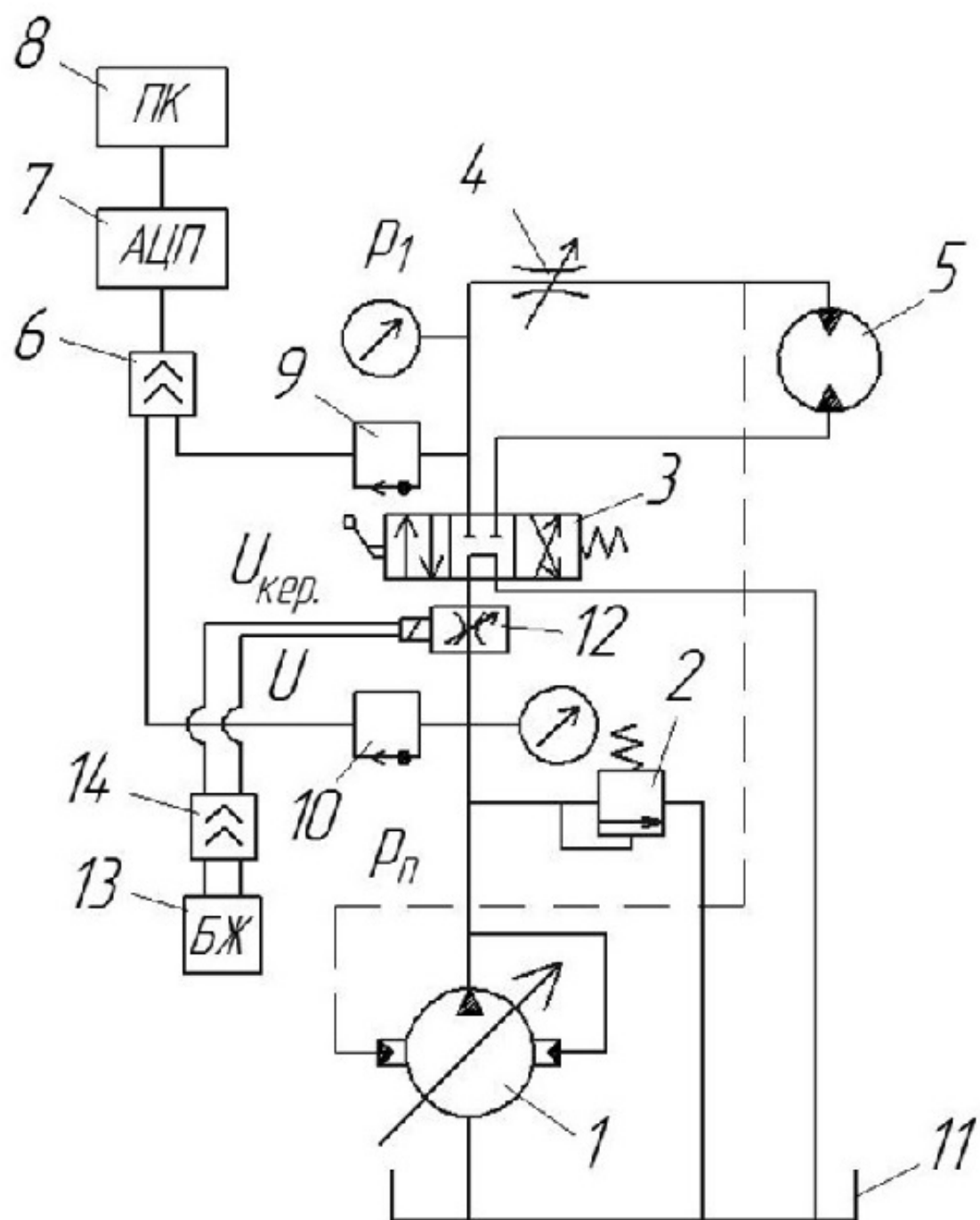
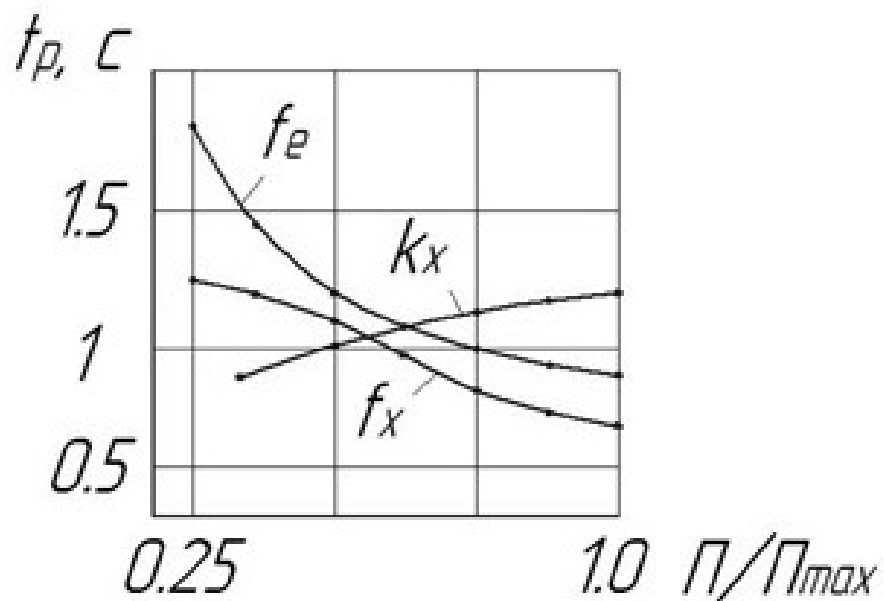
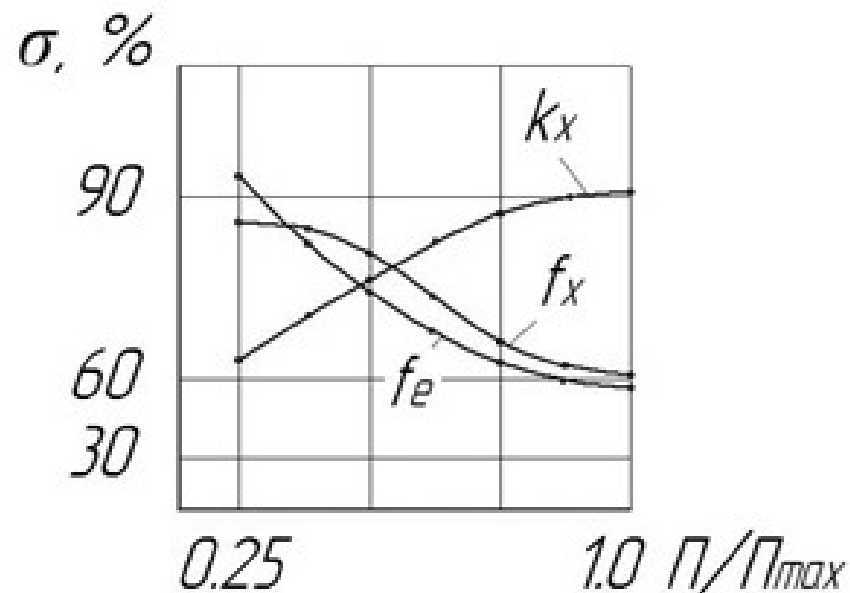


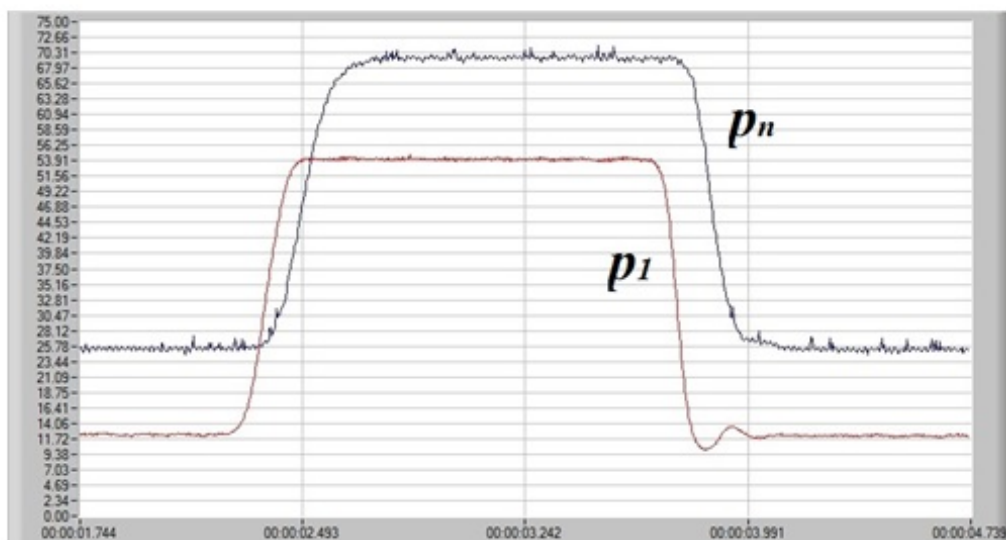
Схема экспериментального стенда



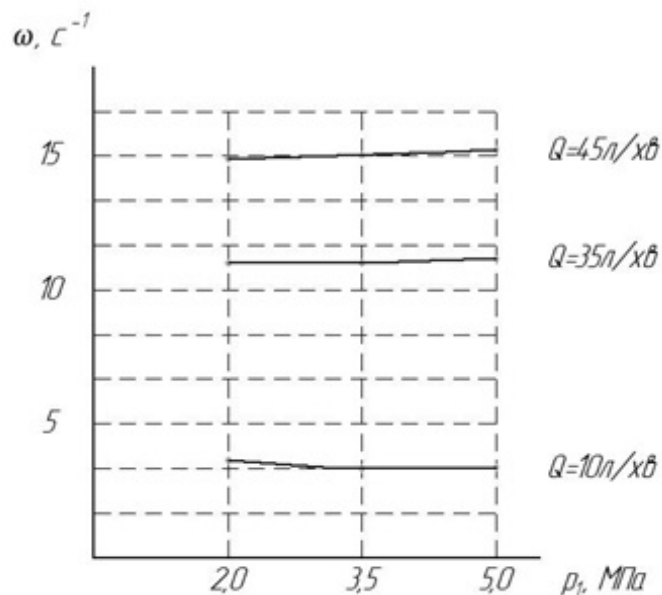
Вплив конструктивних параметрів
на час регулювання t_p



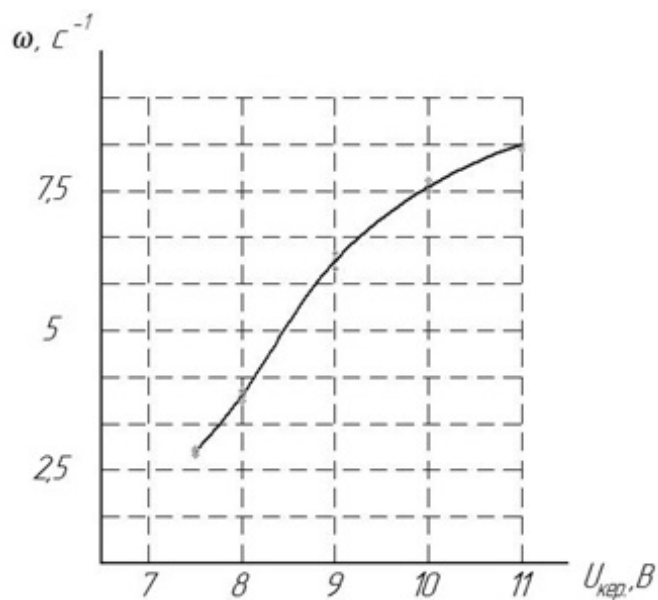
Вплив конструктивних параметрів
на величину перерегулювання σ



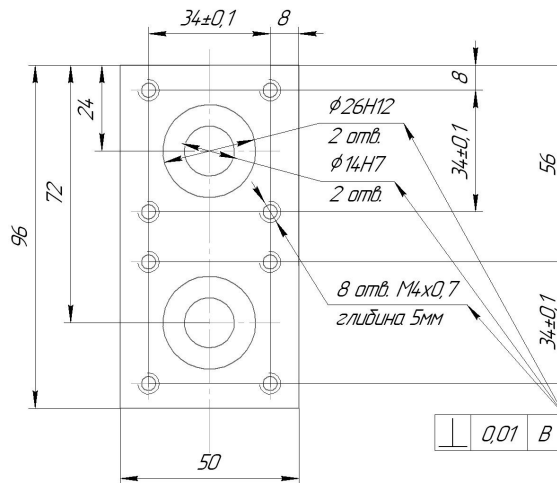
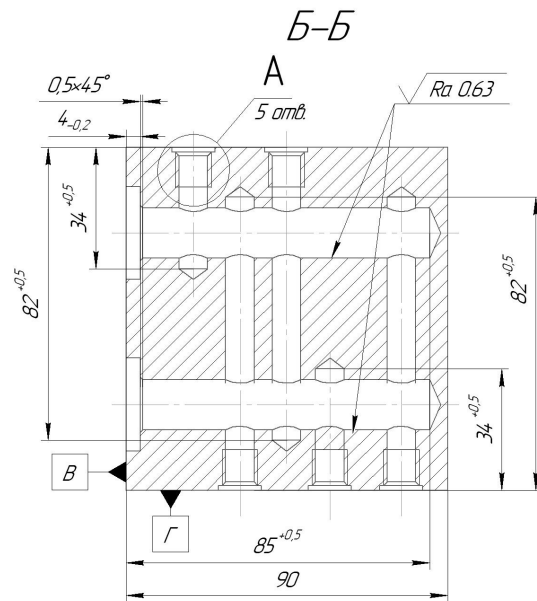
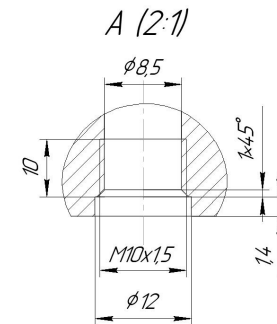
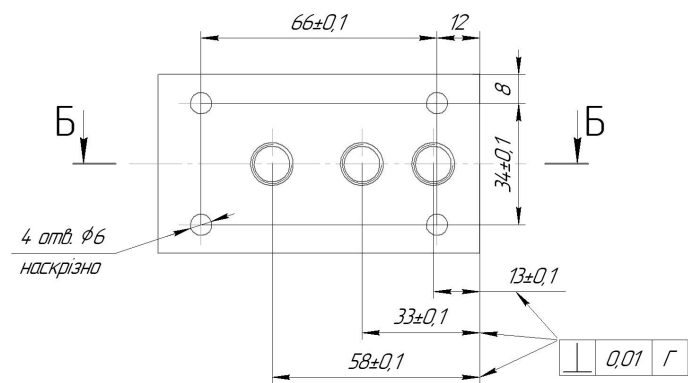
Осцилограма робочого процесу в гідросистемі



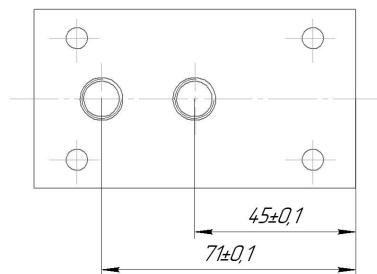
Залежність частоти обертання
гідромотора від тиску в лінії p_1



Частота обертання гідромотора від
напруги керування $U_{кер}$



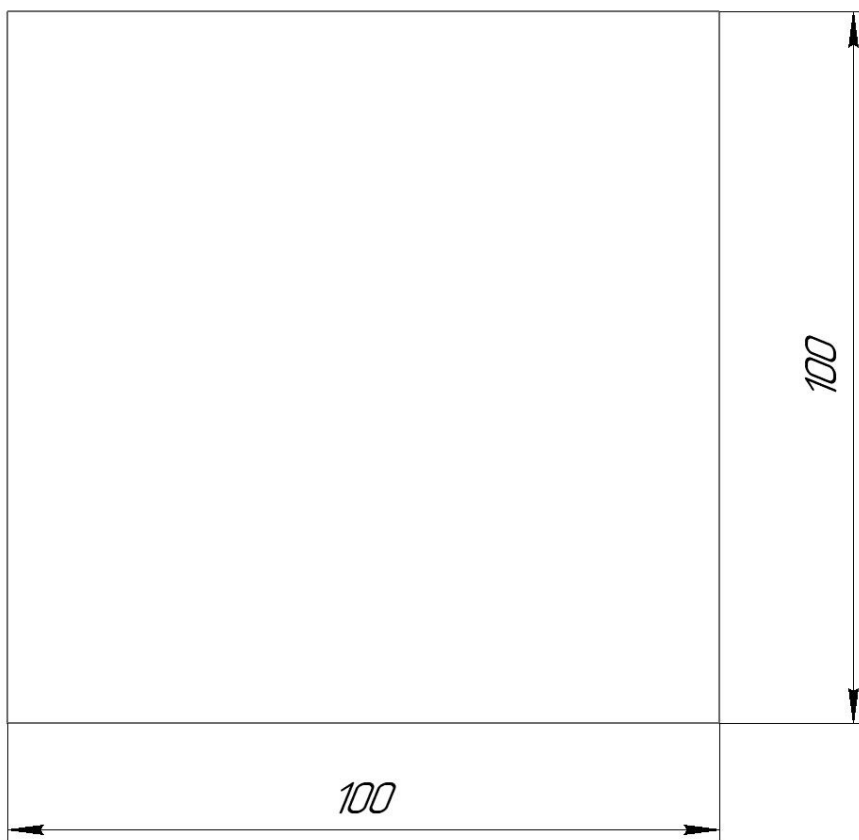
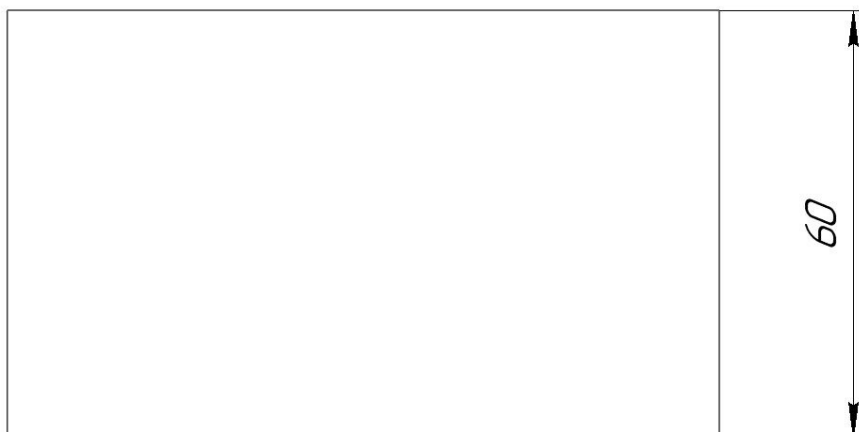
1. Неперпендикулярність осей 2 отв. $\phi 26H12$, 2 отв. $\phi 14H7$, 8 отв. $M4 \times 0,7$ площині "В" в межах 0,01 мм.
2. Кромки 4-х отв. $\phi 6$ з двох боків притупити фаскою $0,5 \times 45^\circ$.
3. Неперпендикулярність осей 2 отв. $\phi 8,5$, 4 отв. $\phi 6$ площині "Г" в межах 0,01 мм.
4. Всі зовнішні грані деталі повинні мати шорсткість $Ra=3,2$ мкм.
5. Забезпечити паралельність протилежних граней між собою в межах 0,05 мм.
6. Невказані граничні відхилення розмірів валів $h14$, отворів $H14$ та інші $\pm \frac{IT_{14}}{2}$.
7. Гострі кромки притупити.



				МКР.08-64.017.00.001		
				Корпус		
				електрогідролічного регулятора		
				а100 ГОСТ 2591-2006		
				Сталь 45 ГОСТ 4543-71		
Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Разраб.	Кузьков Б. О.		19.12.		3,484	1:1
Перев.	Козлов А. Г.		19.12.			
Т.контр.				Лист		
Н.контр.	Сердюк О. В.		20.12.	ВНТУ		
Затв.	Козлов А. Г.		20.12.	ст. зр. 1ПМ-23М		
				Формат А2		

МКР.08-64.017.00.002

✓ Ra 12,5 (✓)



МКР.08-64.017.00.002

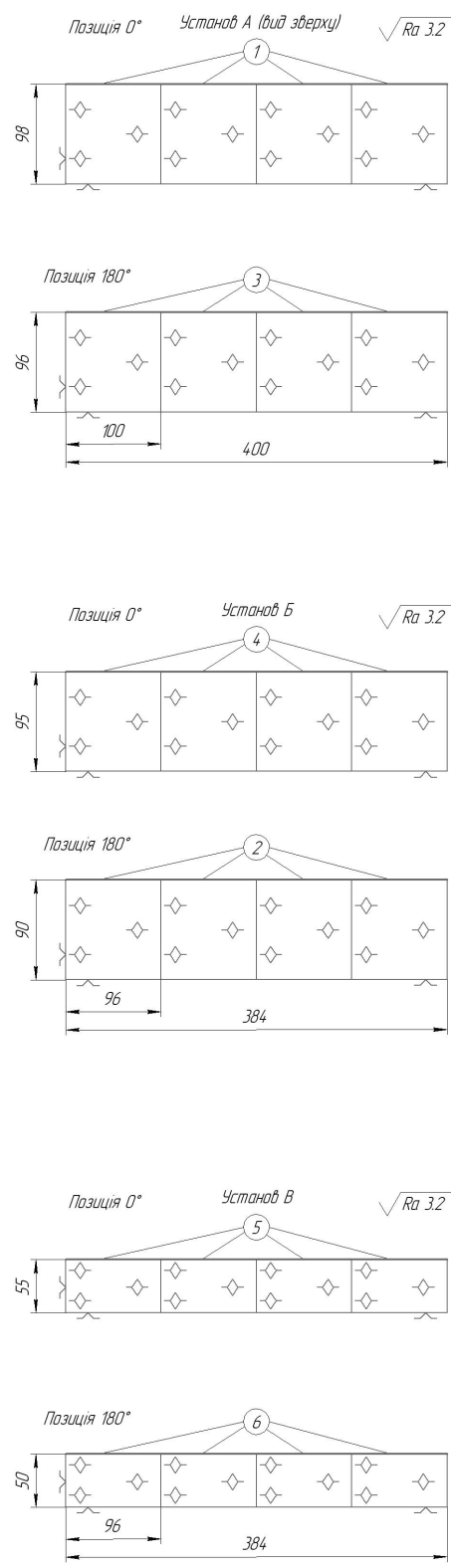
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
	Разраб.	Юзьков Б.О.		19.12.
	Перев.	Козлов Л. Г.		19.12.
	Т.контр.			
	Н.контр.	Сердюк О. В.		20.12.
	Затв.	Козлов Л. Г.		20.12.

Корпус электрогидравлического регулятора
(заготовка)

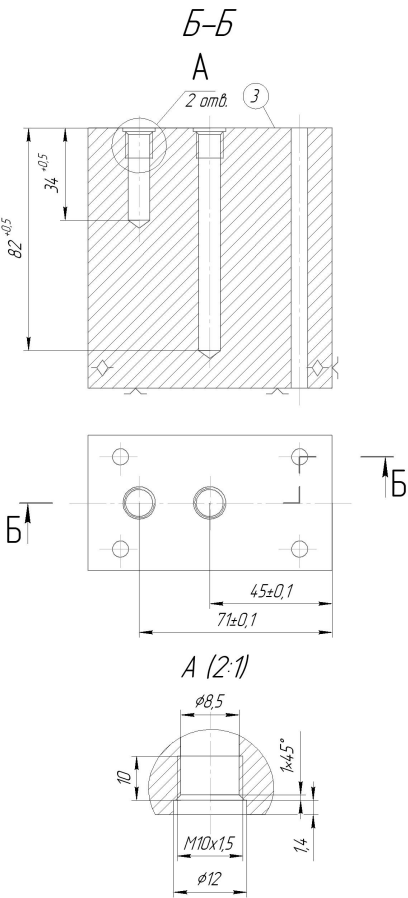
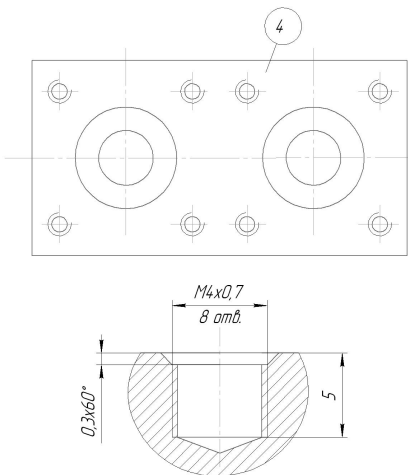
а100 ГОСТ2591-2006
Сталь 45 ГОСТ 4543-71

Лит.	Масса	Масштаб
	3,912	1:1
Лист		
ВНТУ, ст. гр. 1ПМ-23м		

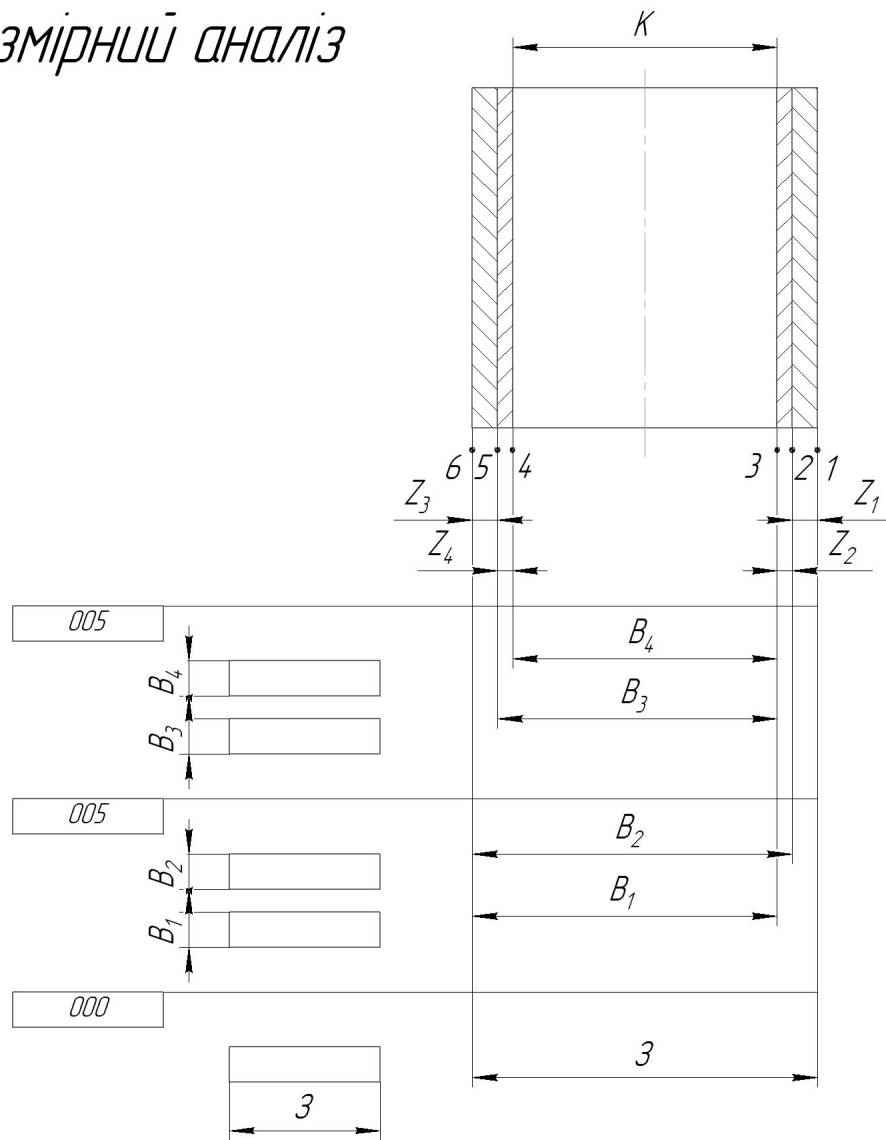
Формат А4

№	Номер, назва і зміст операції	Схема установки і обробки	Обладнання
005	<p>Фрезерна</p> <p><u>Установ А, позиція 0°</u></p> <p>1. Фрезерувати попередньо пов. 1 заготовок</p> <p>2. Фрезерувати попередньо пов. 1 заготовок</p> <p>3. Фрезерувати остаточно пов. 1 заготовок</p> <p>4. Повернути пристосування на 180°</p> <p><u>Установ А, позиція 180°</u></p> <p>5. Фрезерувати попередньо пов. 3 заготовок</p> <p>6. Фрезерувати попередньо пов. 3 заготовок</p> <p>7. Фрезерувати остаточно пов. 3 заготовок</p> <p>8. Перевстановити заготовки</p> <p><u>Установ Б, позиція 0°</u></p> <p>1. Фрезерувати попередньо пов. 4 заготовок</p> <p>2. Фрезерувати попередньо пов. 4 заготовок</p> <p>3. Фрезерувати остаточно пов. 4 заготовок</p> <p>4. Повернути пристосування на 180°</p> <p><u>Установ Б, позиція 180°</u></p> <p>5. Фрезерувати попередньо пов. 2 заготовок</p> <p>6. Фрезерувати попередньо пов. 2 заготовок</p> <p>7. Фрезерувати остаточно пов. 2 заготовок</p> <p>8. Перевстановити заготовки</p> <p><u>Установ В, позиція 0°</u></p> <p>1. Фрезерувати попередньо пов. 5 заготовок</p> <p>2. Фрезерувати попередньо пов. 5 заготовок</p> <p>3. Фрезерувати остаточно пов. 5 заготовок</p> <p>4. Повернути пристосування на 180°</p> <p><u>Установ В, позиція 180°</u></p> <p>5. Фрезерувати попередньо пов. 6 заготовок</p> <p>6. Фрезерувати попередньо пов. 6 заготовок</p> <p>7. Фрезерувати остаточно пов. 6 заготовок</p> <p>8. Зняти заготовки</p>	 <p>The technical drawings illustrate three different CNC setups (A, B, and V) for a milling operation. Each setup is shown from two perspectives: Position 0° (top view) and Position 180° (bottom view). Setup A has a top view with a height of 98 and a bottom view with a height of 96 and a width of 400. Setup B has a top view with a height of 95 and a bottom view with a height of 90 and a width of 384. Setup V has a top view with a height of 55 and a bottom view with a height of 50 and a width of 384. All drawings show a grid of holes and a surface finish requirement of $\sqrt{Ra\ 3.2}$.</p>	<p>Фрезерний верстат з ЧПК Dominant CNC моделі ADF0808</p>

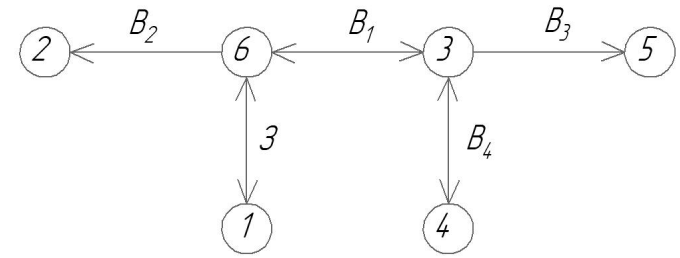
№	Номер, назва і зміст операції	Схема установи і обробки	Обладнання
010	<p>Багатоцільова з ЧПК</p> <p>Позиції 0°, 90°, 180°, 270° Площина 1</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Центрувати отв. 1, 2, 3 з дотриманням розмірів по осі симетрії розміру 13±0,1, 33±0,1, 58±0,1 2. Свердлити отв. 1 з дотриманням розмірів Ш8,5, 13±0,1, 82±0,5 в режимі глибокого свердління 3. Свердлити отв. 2 з дотриманням розмірів Ш8,5, 33±0,1, 34±0,5 4. Свердлити отв. 3 з дотриманням розмірів Ш8,5, 58±0,1, 82±0,5 в режимі глибокого свердління 5. Зенкувати отв. 1, 2, 3 Ш12 на глибину 1,4 мм 6. Зенкувати 3 фаски в отв. 1, 2, 3 з дотриманням розміру 1x45° 7. Нарізати різь в отв. 1, 2, 3 з дотриманням розмірів М10х1,5, 10 мм 8. Центрувати 4 отв. 4, 5, 6, 7 з дотриманням розмірів 12, 8, 66±0,1 та 34±0,1 9. Свердлити 4 отв. 4, 5, 6, 7 наскрізно в режимі глибокого свердління 10. Зенкувати 4 фаски отв. 4, 5, 6, 7 з дотриманням розміру 0,5x45° 11. Перевстановити деталі на поворотному столі <p>Позиції 0°, 90°, 180°, 270° Площина 4</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Центрувати отв. 10 та 11 з дотриманням розмірів 24 та 72 мм по осі симетрії розміру 50 мм 2. Свердлити отв. 10 та 11 з дотриманням розмірів 85±0,5 мм та Ш13,5 в режимі глибокого свердління Зенкувати отв. 10 та 11 з дотриманням розміру Ш13,85 на повну глибину 3. Розгорнути отв. 10 та 11 попередньо з дотриманням розміру Ш13,95 на повну глибину 4. Розгорнути отв. 10 та 11 попередньо з дотриманням розміру Ш14Н7 на повну глибину 5. Зенкувати 2 отв. Ш26Н12 з дотриманням розміру 4-0,2 6. Зенкувати фаски в отв. 10 та 11 з дотриманням розміру 0,5x45° 7. Центрувати отв. 12-15, 16-19 з дотриманням розмірів 34±0,1 (3 розміри), 8 мм (2 розміри) 8. Свердлити отв. 12-15, 16-19 з дотриманням розмірів Ш3,3 на глибину 5 мм <p>Перевстановити деталі на поворотному столі</p>		<p>Багатоцільовий верстат з ЧПК мод. 2204ВМФ2</p>

№	Номер, назва і зміст операції	Схема установки і обробки	Обладнання
010	<p>Позиції 0°, 90°, 180°, 270°</p> <p>Площина 3</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Центрувати отв. 8, 9 з дотриманням розмірів $45 \pm 0,1$, $71 \pm 0,1$ мм осі симетрії розміру 50 мм 2. Свердлити отв. 8, 9 з дотриманням розмірів $\varnothing 8,5$, $34 \pm 0,5$ та $82 \pm 0,5$ 3. Зенкувати фаску у отв. 8, 9 з дотриманням розміру $1 \times 45^\circ$ 4. Нарізати різь в отв. 8, 9 з дотриманням розмірів M10x1,5 та 10 мм 5. Зенкувати фаску в 4, 5, 6, 7 з дотриманням розміру $0,5 \times 45^\circ$ <p>Зняти заготовки з поворотного столу</p>		Багатоцилиндровий верстат з ЧПК мод. 2204ВМФ2
015	<p>Слюсарна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розсвердлити фаски $0,3 \times 60^\circ$ у 8 отв. Ш3,3 2. Нарізати різі M4x0,7 у 8 отв. Ш3,3 <p>Притупити гострі кромки зовнішніх поверхонь фаскою $1 \times 45^\circ$</p>		Слюсарний стіл

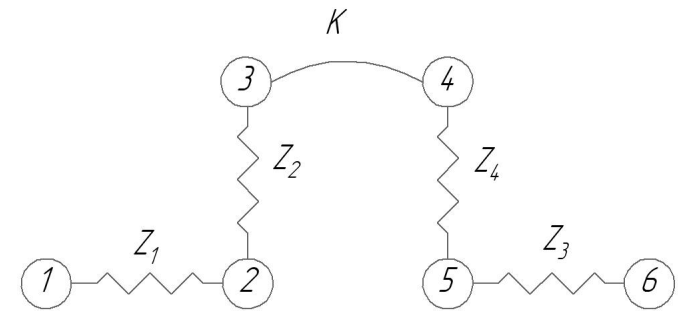
Розмірний аналіз



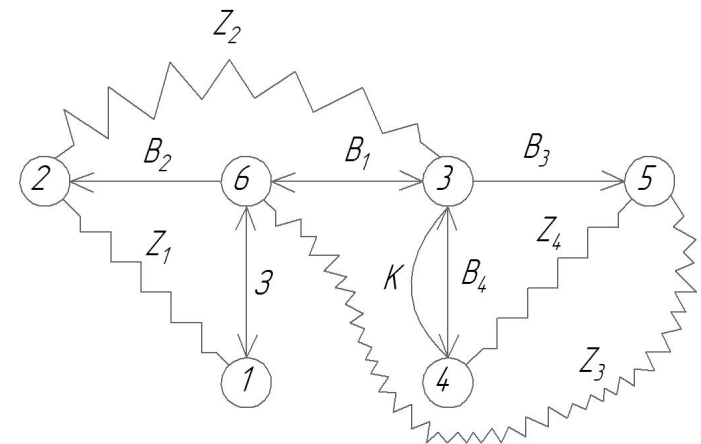
Розмірна схема ТП на операції 005



Похідний граф-дерево

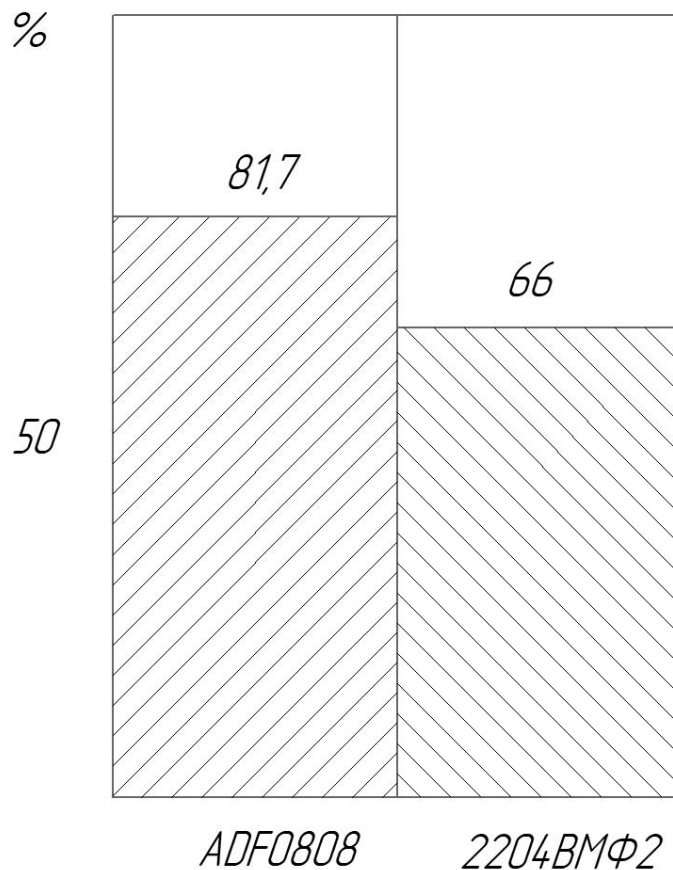


Вихідний граф-дерево



Суміщений граф

Графік завантаження обладнання



Кількість працюючих на ділянці

Кількість основних робітників: 4 чол.

Кількість допоміжних робітників: 1 чол.

Кількість інженерно-технічних робітників: 1 чол.

Кількість службовців: 1 чол.

Кількість молодшого обслуговуючого персоналу 1 чол.