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:

«ДОСЛІДЖЕННЯ НАСОСА ЗМІННОГО РОБОЧОГО ОБ'ЄМУ З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ПОДАЧІ»

МКР.08-64.014.00.000.ПЗ

Виконав: студент групи 1ПМ-24м
спеціальності 131 – Прикладана механіка
_____ Олексій ПАПУШОЙ

Керівник: д.т.н., професор каф. ТАМ
_____ Леонід КОЗЛОВ
« 4 » грудня 2025 р.

Опонент: д.т.н., проф., директор ІДА
_____ Андрій КАШКАНОВ
« 16 » грудня 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТАМ
_____ д.т.н., проф. Леонід КОЗЛОВ
« 16 » грудня 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання видав	Підпис, дата виконання прийняв
Спеціальна частина	д.т.н., проф. Леонід КОЗЛОВ	01.10.2025	04.12.2025
Економічна частина	к.т.н., проф. Олександр ЛЕСЬКО	05.11.2025	25.11.2025

7. Дата видачі завдання: 10 жовтня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	25.10.25 р.
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	30.10.2025р.
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	20.11.2025р
4	Виконання розділу «Економічна частина»	25.11.2025р
5	Перевірка на антиплагіат	04.12.2025р
6	Попередній захист МКР	04.12.2025р
7	Нормоконтроль МКР	16.12.2025р
8	Рецензування МКР	16.12.2025р
9	Захист БДР	22.12.2025

Студент _____ Олексій ПАПУШОЙ
(підпис)

Керівник роботи _____ Леонід КОЗЛОВ
(підпис)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ
Леонід КОЗЛОВ
16 жовтня 2025 року

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

Папушою Олексію Вячеславовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи:
«Дослідження насоса змінного робочого об'єму з електрогідравлічним регулятором подачі»
керівник роботи: д.т.н., професор Козлов Л. Г.
затверджені наказом ВНТУ від 24 вересня 2025 року № 313
2. Строк подання студентом роботи 2 грудня 2025 року
3. Вихідні дані до роботи: Креслення деталі: Корпус електрогідравлічного регулятора, матеріал: Сталь 45 ГОСТ 4543-71, програма випуску: 1000 шт.
4. Зміст текстової частини: дослідження насоса змінного робочого об'єму з електрогідравлічним регулятором подачі, 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 дослідженню насоса змінного робочого об'єму з електрогідравлічним регулятором подачі
5. Перелік ілюстративного матеріалу
креслення деталі «Корпус електрогідравлічного регулятора», креслення заготовки деталі, схему експериментального стенда, результати дослідження насоса змінного робочого об'єму з електрогідравлічним регулятором подачі у графіках, маршрут механічної обробки деталі «Корпус електрогідравлічного регулятора», розмірний аналіз технологічного процесу, розрахунок елементів дільниці механічної обробки

АНОТАЦІЯ

УДК 621.9

Папушой О.В. Дослідження насоса змінного робочого об’єму з електрогідравлічним регулятором подачі. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – Прикладна механіка, освітня програма – Технології машинобудування. Вінниця: ВНТУ, 2025. 107 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 18 назв; рис.: 19; табл. 19.

У магістерській кваліфікаційній роботі виконано експериментальні дослідження насоса змінного робочого об’єму з електрогідравлічним регулятором подачі, який розроблено та виготовлено із застосуванням сучасних технологій обробки й високопродуктивного обладнання. Дослідження проведено в межах науково-дослідних проєктів кафедри технологій і автоматизації машинобудування.

У технологічній частині роботи наведено технологічний процес виготовлення деталі «Корпус електрогідравлічного регулятора». Виконано аналіз конструкції та технологічності деталі, обґрунтовано вибір способу отримання заготовки, розроблено маршрут механічної обробки, визначено режими різання, а також надано рекомендації щодо вибору інструменту та обладнання. Додатково визначено основні виробничі параметри дільниці механічної обробки, розраховано економічну ефективність та обґрунтовано доцільність впровадження науково-технічних розробок.

Графічна частина складається з 10 плакатів.

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

ABSTRACT

Papushoi O.V. Research on a variable displacement pump with an electrohydraulic flow regulator. Master's qualification thesis on specialty 131 - Applied mechanics, educational program - Mechanical engineering technologies. Vinnytsia: VNTU, 2025. 107 p.

In Ukrainian speech. Bibliography: 18 titles; Fig.: 19; table 19.

The master's thesis presents experimental studies of a variable displacement pump with an electrohydraulic flow regulator, which was developed and manufactured using modern processing technologies and high-performance equipment. The research was conducted within the framework of research projects of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Automation.

The technological part of the work describes the technological process of manufacturing the “Electrohydraulic regulator housing” part. The design and manufacturability of the part were analyzed, the choice of the method for obtaining the blank was justified, the machining route was developed, the cutting modes were determined, and recommendations for the selection of tools and equipment were provided. In addition, the main production parameters of the machining section were determined, the economic efficiency was calculated, and the feasibility of implementing scientific and technical developments was justified.

The graphic part consists of 10 posters.

Keywords: electrohydraulic regulator, hydraulic system, pump, workpiece, technological process, CNC machine tool.

ЗМІСТ

ВСТУП…….....9
1. ДОСЛІДЖЕННЯ НАСОСА ЗМІННОГО РОБОЧОГО ОБ'ЄМУ З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ПОДАЧІ …….……..12
2. ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА І ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ…….25
2.1 Визначення маси деталі……..…….....25
2.2 Визначення типу виробництва……..…….....26
2.3 Визначення організації форми виробництва……..……...….31
3. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ДЕТАЛІ…….....…...33
3.1 Аналіз конструкції деталі…….……...33
3.2 Аналіз технологічності деталі…….…34
4. ВИБІР СПОСОБУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ...…….……...39
4.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки та визначення їх розмірів……....……39
4.2 Оформлення ескізів обох варіантів виготовлення заготовки…….……41
4.3 Розрахунок маси і коефіцієнтів використання матеріалу для обох варіантів заготовки …….....42
4.4 Техніко-економічне порівняння обох варіантів отримання заготовок та вибір найраціональнішого ……..…...43
5. РОЗРОБКА МАРШРУТУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ…..…….……...44
5.1 Аналітичний огляд відомих маршрутів механічної обробки подібних деталей в умовах даного типу виробництва…….....…44
5.2 Вибір способів механічної обробки поверхонь із підвищеними вимогами точності. Визначення кількості ступенів механічної обробки …….……...45
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…….57
5.7.1 Вибір розташування технологічних розмірів…….…57
5.7.2 Попереднє призначення допусків технологічних розмірів. Розмірна схема технологічного процесу……..……58
5.7.3 Похідний, вихідний графи-дерева, суміщений граф……..59
5.7.4 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів……60
5.7.5 Визначення проміжних мінімальних пропусків на механічну обробку плоских поверхонь…….…60
5.7.6 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків, корекція допусків технологічних розмірів……..61
5.8 Визначення припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричних поверхонь……....63
5.9 Визначення режимів різання при різних методах обробки ……..……...68
5.10 Визначення технічних норм часу для всіх операцій…….……..72
6 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ……..74
6.1. Розрахунок приведеної програми ……74
6.2. Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження обладнання ...……76
6.3. Розрахунок кількості працюючих…..…….……..……..……...……..78
7 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РОБІТ ПО ДОСЛІДЖЕННЮ НАСОСА ЗМІННОГО РОБОЧОГО ОБ'ЄМУ З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ПОДАЧІ ……..……...…..80
7.1. Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи……..80
7.2. Оцінка комерційного потенціалу науково-технічної розробки ……81
7.3. Визначення витрат на науково-дослідну роботу……..84
7.4 Розрахунок економічної ефективності науково-дослідної роботи ……..…..89
ВИСНОВКИ.……....92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…..……...…….……...94
Додатки…...……..…….....97

ВСТУП

Актуальність теми: машинобудівна галузь посідає провідне місце в промисловому комплексі України та є основою її технічного й економічного розвитку. Вона забезпечує функціонування більшості секторів господарства, постачаючи сучасне обладнання, прилади й автоматизовані системи керування виробничими процесами. Рівень розвитку машинобудування визначає темпи модернізації промисловості, ефективність упровадження інноваційних технологій, а також конкурентоспроможність вітчизняної продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Машинобудівний комплекс України характеризується широкою галузевою структурою - від важкого, енергетичного та транспортного до приладо- і сільськогосподарського машинобудування. Особливе значення має розвиток техніки для аграрного сектору, адже саме якість, надійність та технологічність машин визначають ефективність сільськогосподарського виробництва, його інтенсивність і рівень механізації. Вдосконалення конструкцій сільськогосподарських машин, підвищення їх довговічності, енергоефективності та технологічної надійності є одним із головних напрямів розвитку сучасного машинобудування.

Попри наявність значного науково-технічного потенціалу, машинобудівна галузь України потребує модернізації виробничих потужностей, оновлення технологічної бази та впровадження сучасних методів проєктування. Особливої актуальності набуває використання комп’ютерного моделювання, систем автоматизованого проєктування (CAD/CAE/CAM) та цифрових технологій, які дають змогу скоротити терміни розроблення нових виробів, підвищити їх якість і зменшити собівартість виробництва.

Тісна взаємодія машинобудівної та сільськогосподарської галузей є необхідною умовою підвищення ефективності аграрного виробництва. Аграрний сектор виступає одним із основних споживачів машинобудівної продукції, а розвиток сільськогосподарського машинобудування сприяє технічному переоснащенню

фермерських і промислових господарств, зростанню продуктивності праці та зниженню собівартості продукції.

Отже, машинобудування є стратегічною складовою економіки України, від розвитку якої залежить рівень технологічного оновлення промисловості, ефективність сільськогосподарського виробництва та загальна інноваційна спроможність країни. Саме тому дослідження питань удосконалення конструкцій машин, підвищення їх надійності, енергоефективності та технологічності має важливе наукове й практичне значення для подальшого розвитку вітчизняного машинобудування.

Мета та завдання дослідження: метою магістерської кваліфікаційної роботи є створення сучасного електрогідравлічного регулятора для насоса змінного робочого об'єму, який характеризується покращеними експлуатаційними та енергетичними показниками. Реалізація поставленої мети спрямована на підвищення ефективності функціонування гідравлічних систем і розширення їх технічних можливостей.

Для досягнення зазначеної мети у роботі передбачається розв'язання таких основних завдань: виконання інженерних розрахунків, необхідних для проєктування та виготовлення електрогідравлічного регулятора насоса; розроблення й виготовлення дослідного зразка регулятора; проведення експериментальних досліджень роботи гідросистеми з метою оцінювання її динамічних та енергетичних характеристик. Сукупність цих етапів забезпечить створення та апробацію електрогідравлічного регулятора, що сприятиме покращенню робочих характеристик гідросистеми та підвищенню її загальної ефективності.

Об'єкт дослідження: регульований насос, оснащений електрогідравлічним регулятором.

Предмет дослідження: робочі процеси, що відбуваються в гідравлічній системі оснащеній регульованим насосом та розробленим електрогідравлічним регулятором.

Наукова новизна та практичне значення одержаних результатів: у ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи встановлено закономірності нелінійного характеру, що визначають взаємозв'язок між конструктивними параметрами електрогідравлічного регулятора насоса та робочими характеристиками

гідравлічної системи. Отримані результати дозволяють глибше зрозуміти особливості функціонування електрогідравлічних регуляторів і створюють наукове підґрунтя для цілеспрямованої оптимізації їх конструкції.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання виявлених залежностей під час проєктування та налаштування електрогідравлічних регуляторів насосів з метою покращення експлуатаційних показників гідросистем і підвищення їх енергоефективності.

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

XXV Міжнародна науково-технічна конференція АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика».

Товкач А.О., Козлов Л.Г., Ковальчук В.А., Папушой О.В. «Стійкість гідропривода на основі насоса змінної продуктивності з електрогідравлічним регулятором» в матеріалах XXV Міжнародної науково-технічної конференції АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика», Київ, Державний університет «Київський авіаційний інститут», 2025. [Електронний ресурс].

Режим доступу: http://ggs.nau.edu.ua/ahps2025/

Дата звернення: грудень 2025.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ НАСОСА ЗМІННОГО РОБОЧОГО ОБ'ЄМУ З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ПОДАЧІ

Гідропривід є однією з найважливіших складових сучасних мобільних робочих машин і тракторів, що забезпечує їхню високу ефективність, точність керування та універсальність у виконанні технологічних операцій. Використання гідравлічних систем у транспортних і сільськогосподарських машинах зумовлено їх здатністю передавати значні потоки енергії на великі відстані при відносно невеликих габаритах і масі елементів.

Основними перевагами гідроприводів є плавність і точність регулювання швидкості руху робочих органів, можливість реалізації великої сили при компактній конструкції, а також високий рівень автоматизації та надійності. Завдяки цим властивостям гідроприводи широко застосовуються в системах керування навісним і причіпним обладнанням тракторів, у підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх та комунальних машинах.

Гідравлічні системи мобільних машин можуть виконувати різні функції — від приводу ходової частини або робочих органів до систем рульового керування, гальмування чи стабілізації. У тракторах гідропривід використовується для керування навісною системою, регулювання положення робочих знарядь, а також у гідросистемах трансмісій та рульових механізмів. Застосування регульованих насосів, пропорційних і сервоклапанів, а також електрогідравлічного керування дає змогу значно підвищити точність і швидкодію систем.

Гідроприводи керування положенням робочих органів і елементів механізмів призначені для встановлення та фіксації цих органів у заданому положенні без виконання безпосередньої корисної роботи. Основним їхнім завданням є забезпечення точності позиціювання, стабільності положення та надійності утримання робочих елементів у процесі функціонування машини. Прикладами таких систем є гідроприводи піднімання і опускання робочих органів, механізми переміщення або повороту окремих вузлів. Принципова схема гідравлічної системи трактора показана на рис. 1.1.

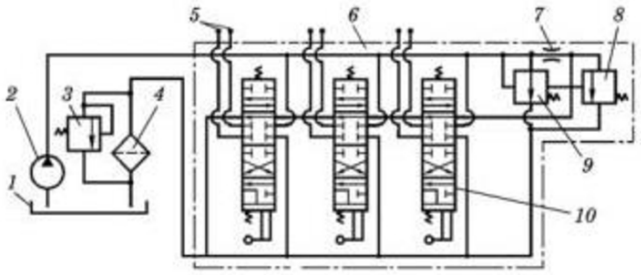


Рис. 1.1 - Принципова схема гідравлічної системи трактора

Гідросистема складається з бака 1, насоса 2, запобіжного клапана 3, фільтра 4, виводів секції розподільника 5, розподільника 6, дроселя 7, запобіжного клапана 8, переливного клапана 9 та робочої секції розподільника 10.

Типовий гідропривід цього класу включає низку основних гідроагрегатів, серед яких: шестеренний насос типу НШ-32У, трипозиційний секційний золотниковий розподільник з переливною секцією та ручним керуванням, а також аналогічні розподільники з електромагнітним або електрогідравлічним керуванням. Для забезпечення безпеки та стабільності тиску в системі застосовується запобіжний клапан непрямої дії, який захищає елементи приводу від перевантажень.

Конструктивні відмінності таких гідроприводів полягають у кількості гідроциліндрів, що забезпечують переміщення окремих елементів механізмів, а також у робочому тиску гідросистеми, який зазвичай становить 6,3–12,5 МПа. Такий діапазон параметрів дозволяє забезпечити достатню силу для позиціювання робочих органів при відносно невеликих габаритах і масі гідроагрегатів.

Гідравлічна система керування положенням робочих органів і елементів механізмів коренезбиральної машини типу МКК-6, принципова схема якої наведена на рис. 1.2, установлюється на тракторі МТЗ-80/80Л. Дана система забезпечує узгоджену роботу виконавчих механізмів машини, що відповідають за позиціювання та стабільність функціонування основних робочих вузлів під час збирання коренеплодів.

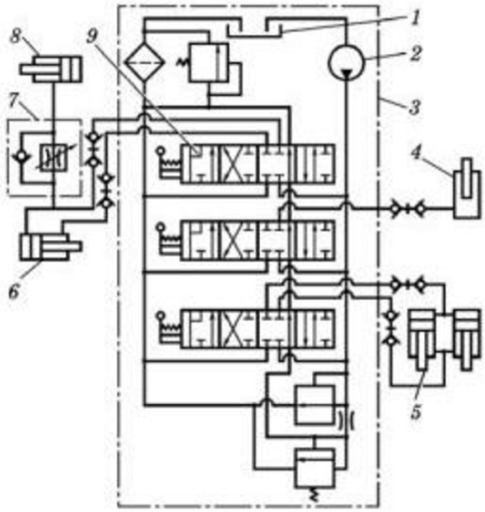


Рис. 1.2 - Принципова схема гідравлічної системи коренезбиральної машини типу МКК-6

Гідросистема машини включає такі основні елементи: гідробак (1), шестеренний насос (2), систему очищення робочої рідини з фільтром та запобіжним клапаном, гідроциліндр планетарного редуктора (4), гідроциліндри завантажувального конвеєра (5), гідроциліндри піднімання та опускання копір-водіїв (6), сповільнювальний клапан (7), гідроциліндр піднімання та опускання копачів (8), а також моноблоковий розподільник типу Р-75 (9).

Кожен із зазначених елементів виконує певну функцію в забезпеченні роботи коренезбиральної машини. Насос створює необхідний тиск у гідросистемі, розподільник керує подачею робочої рідини до окремих гідроциліндрів, а клапани виконують функції захисту та регулювання швидкості руху виконавчих механізмів. Така конструкція забезпечує узгоджену роботу всіх вузлів машини, надійність у різних режимах навантаження та зручність керування під час виконання технологічного процесу збирання коренеплодів.

Завдяки своїй простоті, надійності та відносно низькій вартості, гідроприводи керування положенням широко застосовуються у тракторах, комунальній, будівельній та сільськогосподарській техніці. Вони забезпечують стабільну роботу механізмів у різних режимах експлуатації та створюють основу для реалізації

автоматизованих систем регулювання положення робочих органів у мобільних машинах.

У мобільних робочих машинах і тракторах гідропривід використовується для керування навісною системою, регулювання положення робочих знарядь, а також у гідросистемах трансмісій та рульових механізмів. Застосування регульованих насосів, пропорційних і сервоклапанів, а також електрогідравлічного керування дає змогу значно підвищити точність і швидкодію систем.

Сучасні тенденції розвитку гідроприводів спрямовані на підвищення їх енергоефективності, зменшення втрат потужності та удосконалення систем керування. Значного поширення набувають гідроприводи з електронним регулюванням параметрів тиску та витрати, інтегровані у загальну систему керування машиною. Використання таких технологій дозволяє забезпечити оптимальний розподіл енергії між робочими механізмами, знизити витрати палива та підвищити продуктивність.

Крім того, важливим напрямом розвитку є впровадження інтелектуальних гідравлічних систем, які поєднують можливості традиційної гідромеханіки з сучасними засобами сенсорики та мікропроцесорного керування. Такі системи забезпечують адаптивну роботу приводу залежно від навантаження, умов експлуатації та технологічного процесу, що особливо актуально для сучасних мобільних машин і тракторів, які працюють у змінних режимах.

Метою даної роботи є розробка електрогідравлічного регулятора для насоса змінного робочого об’єму з покращеними експлуатаційними характеристиками, а також проведення експериментальних досліджень роботи гідросистеми з насосом змінного об’єму та створеним електрогідравлічним регулятором.

В рамках дослідження спроектовано та виготовлено електрогідравлічний регулятор насоса (рис. 1.3), на основі якого планується вдосконалення гідросистеми мобільної робочої машини. Під час експлуатаційних випробувань оцінювались ефективність, надійність та стабільність функціонування електрогідравлічного регулятора, що дозволило визначити його технічні можливості та перспективи використання у сучасних мобільних машинах.

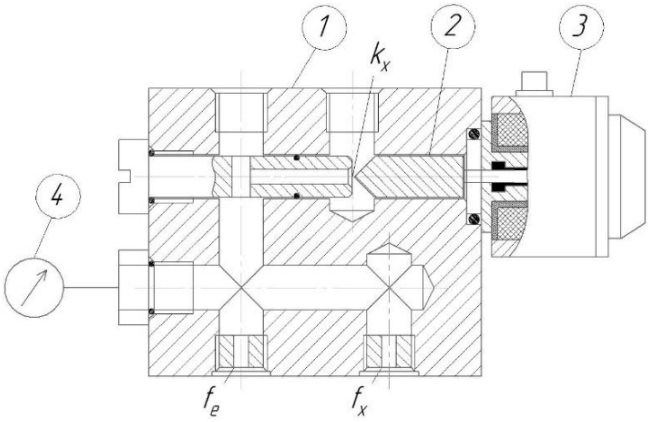


Рисунок 1.3 - Схема розробленого електрогідравлічного регулятора насоса

Електрогідравлічний регулятора насоса складається з корпуса 1, сервозолотник 2, електромагніта 3. В регулятор встановлений демпфер f_e сервоплунжера насоса та дросель f_x регулятора насоса. В конструкції регулятора передбачений канал для встановлення манометра 4 в цілях фіксації величини тиску робочої рідини.

Для проведення досліджень характеристик гідросистем у Вінницькому національному технічному університеті був спроектований та виготовлений експериментальний стенд. На рисунку 1.4 наведено принципову схему випробувального стенду, обладнаного регульованим насосом із електрогідравлічним регулятором. Стенд призначений для комплексної оцінки роботи гідросистеми, визначення ефективності регулювання та динамічних характеристик під час різних режимів навантаження.

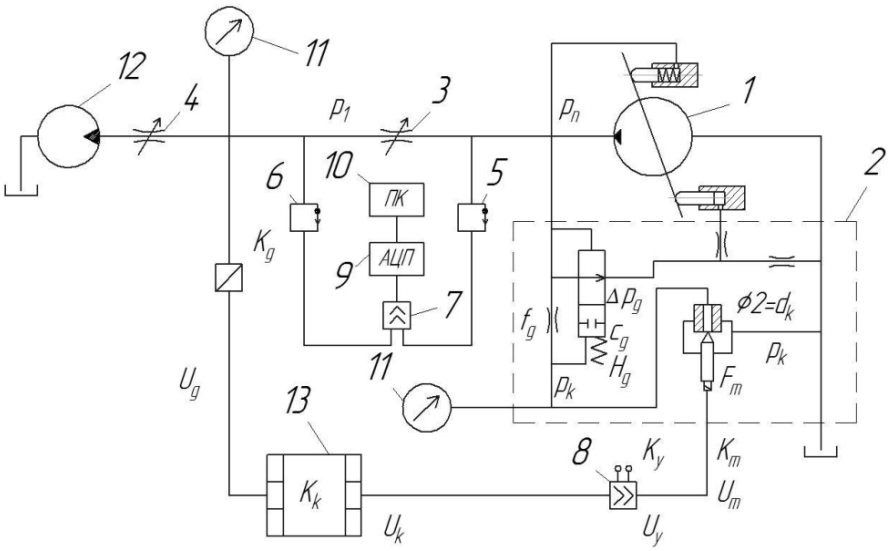


Рисунок 1.4 - Схема експериментального стенда

Конструктивно стенд включає наступні основні елементи: насос (1), регулятор насоса (2), дроселі (3 та 4) для регулювання витрати робочої рідини, датчики тиску (5 та 6) для контролю параметрів гідросистеми, підсилювачі сигналу (7 та 8), аналогово-цифровий перетворювач (9) для передачі даних на комп'ютер, комп'ютер (10) для збору, обробки та аналізу інформації, манометри (11) для візуального контролю тиску, гідромотор (12) як виконавчий механізм та контролер (13) для керування роботою електрогідравлічного регулятора.

Завдяки такій конструкції стенд дозволяє моделювати різні режими роботи гідросистеми, проводити експериментальну оцінку динамічних та статичних характеристик насоса, а також визначати вплив регулюючих елементів на стабільність і надійність роботи електрогідравлічної системи мобільних машин. Стенд забезпечує можливість порівняння теоретичних розрахунків з експериментальними даними та використовується для оптимізації параметрів гідросистеми.

Принцип роботи стенду полягає у наступному: насос (1) подає робочу рідину через дроселі (3 та 4), які забезпечують регулювання витрати та створюють навантаження на систему. Потік рідини керує обертанням та зупинкою гідромотора (12). Імітація навантаження на насос здійснюється за допомогою дроселя 4, що дозволяє моделювати різні режими роботи гідросистеми.

Для контролю параметрів гідросистеми використовуються датчики тиску Nagano ADZ–SML 20.0, встановлені у гідролініях, які фіксують зміни тиску під час роботи. Сигнали від датчиків надходять на підсилювачі (7 та 8), а з них передаються на аналогово-цифровий перетворювач L–Card E14–140–M і далі на комп'ютер для обробки та аналізу даних. Візуалізація процесів здійснюється за допомогою програмного забезпечення LGraph, що дозволяє відслідковувати динаміку тиску та роботи регулюючих елементів у реальному часі.

Живлення пропорційного електромагніта здійснюється через підсилювач 8 від блоку живлення. Напруга на електромагніті підтримується постійною на рівні 13 В, тоді як напруга керування варіюється в межах 0–12 В, що забезпечує точне

регулювання положення золотника електрогідравлічного регулятора та контроль швидкості подачі робочої рідини.

На рис. 1.5 наведена фотографія експериментального стенда.

Рисунок 1.5 - Фотографія експериментального стенда

Можливості та технічні характеристики експериментального стенду.

Експериментальний стенд забезпечує можливість проведення комплексних досліджень гідравлічної системи з одночасною реєстрацією кількох параметрів у статичних і динамічних режимах її роботи. До основних функцій стенду належать: 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 та тахометра; запис осцилограм робочого процесу за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП/ЦАП); вимірювання тиску в гідролініях з використанням датчиків Nagano ADZ−SML 20.0.

Технічні характеристики стенду: номінальна подача насоса становить $1\cdot10^{-3}$ м^3/с ; робочий тиск насоса — 16 МПа; регульований діапазон подачі насоса: $(0{,}05\ldots1{,}0)\cdot10^{-3}$ м^3/с; аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) має роздільну

здатність 14 біт та частоту дискретизації 200 кГц; ступінь очищення робочої рідини становить 15 мкм; похибка вимірювання тиску не перевищує ±2 %; похибка визначення частоти обертання гідромотора в межах ±1,5 %; похибка вимірювання напруги та струму складає ±1 %; точність контролю температури робочої рідини ±1 °С.

Основні вимоги до гідравлічної системи, що досліджується [4, 5] полягають у забезпеченні часу регулювання t_p не більше 1,0 с, обмеженні величини перерегулювання σ до рівня менше 70 % та зниженні втрат потужності в системі керування насосом змінного робочого об'єму до значення не вище 1,5 кВт.

Експериментальний стенд забезпечує високу точність та надійність вимірювань, що дозволяє проводити детальний аналіз ефективності роботи електрогідравлічних регуляторів та оптимізувати параметри гідросистем мобільних робочих машин.

На рис. 1.6 наведено графічну залежність, яка ілюструє зміну частоти обертання гідромотора від тиску p_n в гідролінії за різних значень подачі Q насоса 1.

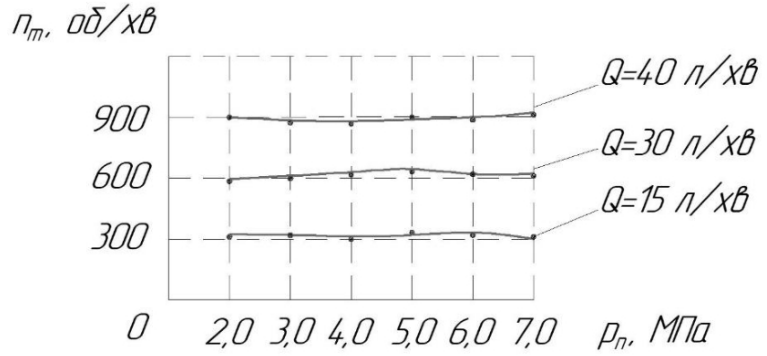


Рисунок 1.6 – Графік залежності частоти обертання вала гідромотора від тиску p_n в гідролінії

Під час проведення досліджень вимірювалась температура робочої рідини, яка складала $t = 25^{\circ}C$. При $n = 300$ об/хв величина похибки стабілізації подачі насоса A_{cm} становила $A_{cm} = 7\%$, при $n = 600$ - $A_{cm} = 6\%$, а при $n = 900$ не перевищувала $A_{cm} = 5\%$.

В процесі дослідження фіксувались значення величини тиску p_n в гідролінії, величини напруги U_g на вході в контролер та величини напруги U_k на виході з

контролера, частоти обертання n гідромотора 12. На рис. 1.7 наведено графік залежності величин напруги U_g та напруги U_k від величини тиску p_n в гідролінії.

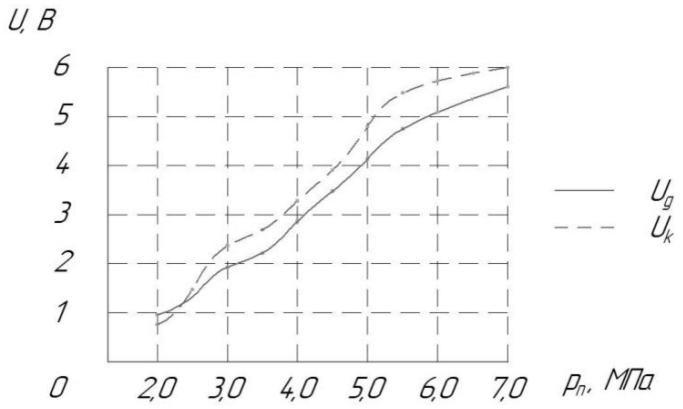


Рисунок 1.7 – Графік залежності величин напруги U_g та напруги U_k від величини тиску p_n в гідролінії

На рис. 1.8 наведено осцилограму робочого процесу в гідросистемі. У ході дослідження створювалось навантаження на насос 1 завдяки зменшенню площі робочого вікна дроселя 4, що супроводжувалось збільшенням величини тиску p_n в гідролінії на виході насоса і збільшенням величини тиску p_1 в гідролінії на виході дроселя 3.

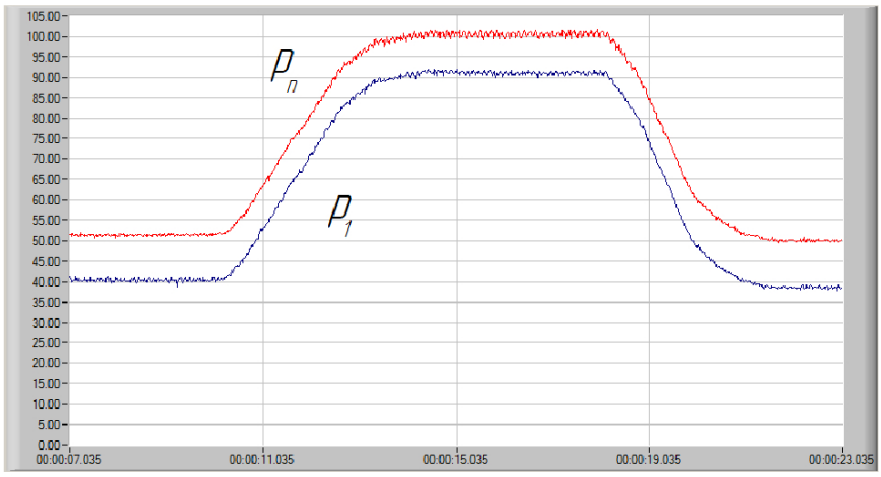


Рисунок 1.8 – Осцилограма робочого процесу гідросистеми

У процесі досліджень встановлено, що ефективність функціонування гідросистеми суттєво залежить від вибору її конструктивних параметрів. Оскільки

правильне визначення цих параметрів є складним інженерним завданням, для досягнення необхідних характеристик було застосовано метод оптимізації. Такий підхід дав змогу визначити три ключові параметри, що мають найбільший вплив на роботу системи, а також встановити їх раціональні діапазони зміни, які забезпечують оптимальні показники регулювання [6, 7].

На рис. 1.9 та 1.10 наведено результати аналізу впливу зазначених конструктивних параметрів на основні показники динамічної якості гідросистеми — час регулювання t_p та величина перерегулювання σ. Для зручності параметри k_x, f_e і f_x подано у безрозмірному вигляді, при цьому максимальні значення цих параметрів становлять: $k_{xmax} = 6 \cdot 10^{-3}$ м; $f_{e\max} = 5 \cdot 10^{-6}$ м²; $f_{xmax} = 3 \cdot 10^{-6}$ м².

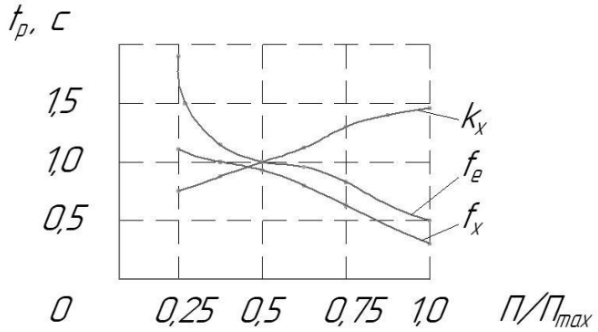


Рисунок 1.9 - Вплив сукупності параметрів на час регулювання t_p

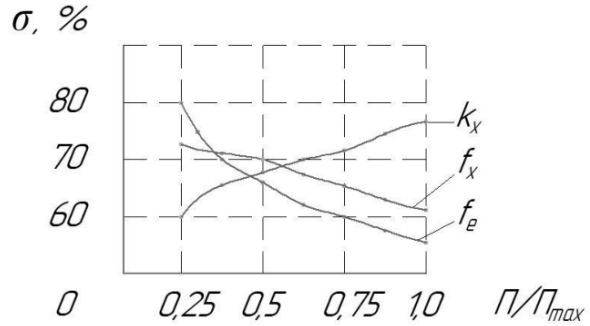


Рисунок 1.10 – Вплив сукупності параметрів на величину перерегулювання σ

У ході дослідження встановлено, що збільшення параметра k_x спричиняє зростання часу регулювання t_p та величини перерегулювання σ. Водночас

підвищення значень параметрів f_e *і* f_x має протилежний ефект — сприяє зменшенню t_p і σ, покращуючи динамічні характеристики системи. Проте вибір оптимальних значень параметрів k_x, f_e *і* f_x є доволі складним завданням, оскільки надмірне збільшення f_e з метою зниження t_p та σ призводить до зростання величини втрат потужності P_y у системі керування.

Для визначення раціональних параметрів було застосовано оптимізаційний підхід. У ході процесу оптимізації три параметри мали діапазон, який був розбитий на три значення, що дозволило проаналізувати їх взаємний вплив і встановити найбільш ефективні поєднання для досягнення стабільної та енергоефективної роботи гідросистеми [5, 6].

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

Під час оптимізації гідросистеми враховувалися основні показники її роботи: t_p , σ, P_y , A_{pn}. Для кожного з цих параметрів було визначено ваговий коефіцієнт, який характеризує його вплив на ефективність функціонування системи. Такий підхід дозволив комплексно оцінити роботу гідросистеми та забезпечити її оптимальні налаштування для досягнення необхідних динамічних і енергетичних показників.

У ході розрахунків перехідних процесів та роботі системи при різних комбінаціях параметрів оптимізації отримано значення критерія оптимізації K для кожного варіанта сполучень [4]. Узагальнені результати розрахунків наведено в таблиці 1.1. У результаті проведеного аналізу визначено оптимальне поєднання конструктивних параметрів гідросистеми, яке забезпечує мінімальне значення критерію K та, відповідно, найвищу ефективність її 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.
6	2	2	1,41	75	1470	2,41	0,50	19
6	2	3,5	1,26	71	1466	2,51	0,46	20
6	2	5	0,79	64	1479	2,52	0,38	21
6	3	2	1,5	82	2153	6,18	0,63	22
6	3	3,5	1,19	72	2171	6,29	0,56	23

У результаті оптимізації визначено поєднання параметрів $k_x = 6 \cdot 10^{-3}$, $f_x = 2 \cdot 10^{-6}$ м^2 та $f_e = 5 \cdot 10^{-6}$ м^2, при якому забезпечуються показники часу регулювання t_p до 0,79 с, величини перерегулювання σ до 64%, втрат потужності в системі керування P_y до 1,479 кВт та статичної похибки регулювання A_{pn} до 2,52%.

Висновки: у результаті проведених досліджень підтверджено, що гідросистема, побудована на базі насоса змінного робочого об’єму з електрогідравлічним регулятором, забезпечує стабільне та пропорційне керування подачею робочої рідини. Отримані експериментальні результати свідчать про відповідність системи встановленим вимогам до точності, швидкодії та енергоефективності.

У результаті виконаних досліджень отримано такі основні результати:

- встановлено, що похибка стабілізації величини подачі насоса $A_{ст}$ не перевищує 7%, що підтверджує достатню точність роботи системи керування;

- виявлено, що відхилення лінійної залежності частоти обертання вала гідромотора від напруги керування $U_{кер}$ становить $\delta \leq 15\,\%$;

- визначено, що різниця тисків p_n та p_1 у гідравлічній системі не перевищує величину 2,0 МПа;

- встановлено, що час перехідного процесу за тиском p_n при зростанні навантаження не перевищує $t_p = 0{,}8$ с, а час перехідного процесу за тиском p_n при зменшенні навантаження не перевищує $t_p = 0{,}6$ с;
- підтверджено, що величина перерегулювання σ не перевищує $\sigma \leq 64\,\%$;
- визначено, що втрати потужності в системі керування P_y не перевищують $P_y \leq 1{,}479$ кВт.

Отже, розроблена гідросистема з електрогідравлічним регулятором демонструє високі показники точності та динамічності, що підтверджує її придатність для застосування у складі мобільних робочих машин.

2 ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА І ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ

2.1. Визначення маси деталі [8, 9]

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 механічні обробці, утворюючи ці порожнини, отримуємо шукану масу деталі.

Визначаємо масу паралелепіпеда розмірами 90х78х50 мм:

- об'єм:

$$V_1 = 90 \cdot 78 \cdot 50 = 351000 \text{ мм}^3 = 0{,}000351 \text{ [м}^3\text{]}$$

- маса (враховуючи матеріал «*Сталь* 45» *ДСТУ* $4746:2007$, щільність якого $\gamma = 7{,}85 \cdot 10^3$ кг/м^3):

$$m_1 = \gamma \cdot V_1 = 7850 \cdot 0{,}000351 = 0{,}002755 \cong 2{,}755 \text{ [кг]}$$

За таким же принципом визначаємо маси всіх внутрішні порожнини, які можна описати, як геометричні фігури.

Визначаємо масу циліндра Ø12х90 мм:

- об'єм:

$$\sum V_2 = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L = \frac{3{,}14 \cdot 12^2}{4} \cdot (90 - 4) = 0{,}09721 \cdot 10^{-5} \text{ [м}^3\text{]}$$

- маса:

$$\sum m_2 = \gamma \cdot \sum V_2 = 7850 \cdot 0{,}09721 \cdot 10^{-5} \cong 0{,}008 \text{ [кг]}$$

Визначаємо масу циліндра Ø12х77 мм: $\sum m_3 \cong 0,007$ [кг]

Визначаємо масу циліндра Ø26х4 мм: $\sum m_4 \cong 0,0017$ [кг]

Визначаємо масу 4-х циліндрів Ø6х90 мм: $\sum m_5 \cong 0,078$ [кг]

Визначаємо масу 4-х отв. Ø3,3х5 мм: $\sum m_6 \cong 0,00013$ [кг]

Визначаємо масу отв. Ø12х78 мм: $\sum m_7 \cong 0,007$ [кг]

Визначаємо масу отв. Ø12х33 мм: $\sum m_8 \cong 0,003$ [кг]

Визначаємо масу отв. Ø12х36 мм: $\sum m_9 \cong 0,003$ [кг]

Враховуючи, що отвори Ø12х78, Ø12х33 та Ø12х36 перетинаються з отворами Ø12х90 та Ø12х77 маси $\sum m_7$, $\sum m_8$, $\sum m_9$ потрібно скорегувати. Остаточне значення будуть такими:

$$\sum m_7 \cong 0,006 \text{ [кг]}; \sum m_8 \cong 0,002 \text{ [кг]}; \sum m_9 \cong 0,002 \text{ [кг]}$$

Примітка. Під час розрахунків знехтувано масою металу, що знімається під час нарізання різей, оброблення фасок і розточок, а також слідами від заборних конусів інструментів. У зв'язку з цим маса деталі становить:

$$m_д = 2,755 - 0,105 = 2,65 \text{ [кг]}$$

2.2. Визначення типу виробництва [10]

Вихідні дані для розрахунку: маса деталі $m_д = 2,65$ кг.; річна програма виготовлення деталі $N = 1200$ шт; робота дільниці в m=2 зміни; річний фонд часу роботи верстата з ЧПК - $F_д =$ 3935 год., універсального верстата - $F_д =$ 4055 год.

З урахуванням типу деталі та її маси до 10 кг, а також річної програми випуску, встановлено, що найбільш доцільним є дрібносерійний тип виробництва.

Основний час обробки 2-х поверхонь 90х50 мм за один прохід фрезерування торцевою фрезою - $\mathrm{Ra} = 3,2$ мкм, Т=14 квалітет:

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

За таким же принципом визначаємо для 2-х поверхонь 90х78 мм - $\mathrm{Ra} = 3,2$ мкм, Т=14 квалітет: $T_{o_{01}} = 1,08\,[\text{хв}]$. Для 2-х поверхонь 78х50 мм - $\mathrm{Ra} = 3,2$ мкм, Т=14 квалітет: $T_{o_{01}} = 0,93\,[\text{хв}]$.

Основний час обробки для свердління отв. Ø12 на глибину 90 мм - $\mathrm{Ra} = 12,5$ мкм, Т=12 квалітет:

$$T_{o_{03}} = 0,52 \cdot D \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 12 \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 0,56\,[\text{хв}]$$

Основний час обробки для зенкерування отв. Ø13 на глибину 90 мм - $\mathrm{Ra} = 6,3$ мкм, Т=11 квалітет:

$$T_{o_{04}} = 0,21 \cdot D \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,21 \cdot 13 \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 0,25\,[\text{хв}]$$

Основний час обробки для розгортування чорнового отв. Ø13,8 на глибину 90 мм - $\mathrm{Ra} = 0,8$ мкм, Т=8 квалітет:

$$T_{o_{05}} = 0,43 \cdot D \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,43 \cdot 13,8 \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 0,53\,[\text{хв}]$$

Основний час обробки для розгортування чистового отв. Ø14Н7 на глибину 90 мм - $\mathrm{Ra} = 0,63$ мкм, Т=7 квалітет:

$$T_{o_{06}} = 0,86 \cdot D \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,86 \cdot 14 \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 1,08\,[\text{хв}]$$

За таким же принципом визначаємо для свердління отв. Ø12х77 мм, Ø12х78 мм, Ø12х33 мм, Ø12х36 мм. - $Ra = 20$ мкм, Т=12 квалітет:

$$T_{o_{07}} = 0,48\,[\text{хв}]\ ;\ T_{o_{08}} = 0,48\,[\text{хв}]\ ;\ T_{o_{09}} = 0,2\,[\text{хв}];\ T_{o_{10}} = 0,21\,[\text{хв}]$$

Зенкерування 2-х отв. Ø16х1,4 мм та отв. Ø26х4 - $Ra = 20$ мкм, Т=12 квалітет:

$$T_{o_{11}} = 0,21 \cdot D \cdot l \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,21 \cdot 16 \cdot 1,4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,009\,[\text{хв}]$$

$$T_{o_{12}} = 0,21 \cdot D \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,21 \cdot 26 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,021\,[\text{хв}]$$

Нарізання різей М14х1,5 в 4-х отв. Ø12х10 мм:

$$T_{o_{13}} = 0,4 \cdot D \cdot l \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,4 \cdot 14 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,22\,[\text{хв}]$$

Свердління 4-х отв. Ø6х90 мм (наскрізно) - $Ra = 20$ мкм, Т=12 квалітет:

$$T_{o_{14}} = 0,52 \cdot D \cdot l \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 6 \cdot 90 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 1,12\,[\text{хв}]$$

Свердління 4-х отв. Ø3,3х5 мм - $Ra = 20$ мкм, Т=12 квалітет:

$$T_{o_{15}} = 0,52 \cdot D \cdot l \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 3,3 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,034\,[\text{хв}]$$

Нарізання різей М4х0,7 у 4-х отв. на глибину 5 мм:

$$T_{o_{16}} = 0,4 \cdot D \cdot l \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,4 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 0,03\,[\text{хв}]$$

Примітка. Під час розрахунків знехтувано часом на отримання фасок.

Штучно-калькуляційний час фрезерувальної обробки:

$$T_{шт-к_{фр.}} = \varphi_к \cdot T_{O_i} = 3,31 \cdot 3,09 = 10,23 \text{ [хв]}$$

Штучно-калькуляційний час свердлильної та різенарізної обробки на обладнанні з ЧПК):

$$T_{шт-к_{св.}} = 7,355 \cdot 5,22 = 39,39 \text{ [хв]}$$

Кількість необхідного обладнання для фрезерувальної обробки:

$$c_{p_{фр.}} = \frac{N \cdot T_{шт-к_i}}{60 \cdot F_д \cdot \eta_{з.н}} = \frac{1000 \cdot 10,23}{60 \cdot 4055 \cdot 0,8} = 0,05$$

Приймаємо $P_{пр_{фр.}} = 1$ верстат.

Кількість необхідного обладнання для свердлильної та різенарізної обробки:

$$c_{p_{св.}} = \frac{1000 \cdot 39,39}{60 \cdot 3935 \cdot 0,8} = 0,21$$

Приймаємо $P_{пр_{св.}} = 1$ верстат.

Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання для фрезерувальної обробки:

$$\eta_{з.ф._{фр.}} = \frac{c_p}{P_{пр.}} = \frac{0,05}{1} = 0,05$$

Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання для свердлильної та різенарізної обробки:

$$\eta_{з.ф._{св.}} = \frac{0,21}{1} = 0,21$$

Кількостість операцій, які використовуються робочому місці при виконанні фрезерувальної обробки:

$$O_{фр} = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.}} = \frac{0,8}{0,05} = 16$$

Кількостість операцій, які використовуються робочому місці при виконанні свердлильної та різенарізної обробки:

$$O_{св.} = \frac{0,8}{0,21} = 3,8$$

Коефіцієнту закріплення операцій при фрезерувальній обробці:

$$K_{з.о._{фр.}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} O_i}{\sum_{i=1}^{n} P_{пр.}} = \frac{16}{1} = 16$$

Коефіцієнту закріплення операцій при свердлильній та різенарізній обробці:

$$K_{з.о._{св.}} = \frac{3,8}{1} = 3,8$$

Середнє значення коефіцієнта закріплення операцій:

$$K_{з.о._{сер.}} = \frac{16 + 3,8}{1 + 1} = 9,9$$

Відповідно до рекомендацій отримане значення середнього коефіцієнта закріплення операцій відповідає середньосерійному типу виробництва. Приймаємо.

2.3. Організації форми виробництва

Денний випуск деталей: $N_д = \frac{N}{254} = \frac{1000}{254} = 3,94 \approx 4$ [дет.]

Середня трудомісткість операцій:

$$T_{сер.} = \frac{(T_{шт-к._{фр.}} + T_{шт-к._{св.}})}{2} = \frac{(10,23 + 39,39)}{2} = 24,81 [хв]$$

Денна продуктивність лінії:

$$Q_д = \frac{F_д}{T_{сер.}} \cdot \eta_{з.н.} = \frac{952}{24,81} \cdot 0,8 = 30,7 \cong 31 \text{ [дет.]}$$

Враховуючи, що $Q_д > N_д$, то обираємо групову форму організації.

Обрахуємо кількість деталей в одній партії для можливості одночасного запуску у виробництво. Приймаємо періодичність запуску деталей $a = 12$ днів.

$$\eta_{пр} = \frac{N \cdot a}{254} = \frac{1000 \cdot 12}{254} = 47,2 \cong 47 \text{ [дет.]}$$

Необхідна кількість робочих змін на обробку запланованої партії деталей:

$$c = \frac{T_{шт-к._{сер.}}}{476 \cdot \eta_з} \cdot \eta_{пр} = \frac{24,81}{476 \cdot 0,8} \cdot 47 = 3,06$$

Приймаємо $c = 3$ зміни.

Уточнення кількості деталей в партії:

$$\eta_{ут} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot 3}{24,81} = 46$$

Висновок: з урахуванням отриманих результатів доцільно прийняти групову форму організації виробництва. Обробку деталей пропонується здійснювати партіями по 46 штук з періодичністю запуску кожні 12 днів.

3 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ДЕТАЛІ

3.1 Аналіз конструкції деталі [11, 12]

За конструктивними, геометричними та технологічними ознаками досліджувану деталь доцільно віднести до класу типових деталей типу «корпус». Матеріалом для її виготовлення обрано Сталь 45 відповідно до вимог ДСТУ 4746:2007, що забезпечує необхідні міцнісні та експлуатаційні характеристики.

Зовнішня форма деталі являє собою паралелепіпед з габаритними розмірами 90×78×50 мм. Внутрішня будова характеризується наявністю кількох порожнин, утворених гладкими та різьбовими отворами, серед яких наявні як глухі, так і наскрізні отвори залежно від конструктивного виконання. Частина отворів взаємно перетинається, що зумовлює складність внутрішньої геометрії деталі.

Функціонально деталь виконує роль корпусу електромагнітного регулятора насоса. На зовнішніх поверхнях передбачено чотири наскрізні отвори діаметром $Ø6$, призначені для кріплення корпусу до насоса за допомогою довгих шпильок, а також чотири глухі різьбові отвори $M4\times0{,}7$, які використовуються для встановлення електромагніта. Електромагніт забезпечує переміщення золотника, розміщеного в отворі $Ø12H7$.

До основних, або відповідальних, поверхонь деталі належить отвір $Ø12H7$, який характеризується підвищеними вимогами до точності виготовлення (7-й квалітет) та шорсткості поверхні ($Ra = 0{,}63$ мкм). Усі інші поверхні відносяться до другорядних, оскільки їх безпосередній вплив на функціонування деталі є мінімальним. До них належать кріпильні та сполучні отвори: чотири отвори $Ø6$, чотири отвори $M4\times0{,}7$, п’ять отворів $Ø12$ з різями $M14\times1{,}5$, а також отвір $Ø26$, який призначений для встановлення ущільнення при спряженні вузлів.

Креслення деталі містить повний обсяг інформації щодо вимог до точності розмірів, шорсткості поверхонь і взаємного розташування елементів. Наявність

необхідних проекцій, видів і перерізів дозволяє отримати повне уявлення про геометрію деталі та особливості розміщення її конструктивних елементів.

3.2. Аналіз технологічності деталі

3.2.1 Якісний аналіз технологічності

Задана деталь «Корпус електромагнітного регулятора» за своїм конструктивним виконанням умовно належить до класу типових деталей типу «корпус». Маса деталі становить 2,65 кг. Геометрична форма є відносно простою, а матеріалом виготовлення обрано сталь 45 відповідно до ДСТУ 4746:2007, що забезпечує необхідні механічні та експлуатаційні властивості.

Найбільш доцільним способом отримання заготовки для даної деталі є використання листового прокату — прокатної сталевої полоси за ДСТУ 4747:2007, Стандартні розміри - ширина від 12 до 200 мм при товщині від 4 до 60 мм. Із зазначеного прокату заготовки отримують шляхом різання полос пилками. Як альтернативний варіант можливе застосування поковок, виготовлених із квадратного прутка.

Переважну частку поверхонь, що підлягають механічній обробці, складають отвори, загальна кількість яких становить 16. Обробка отворів здійснюється з чотирьох взаємно перпендикулярних площин деталі, розташованих під кутом 90°. Це зумовлює необхідність переустановлення деталі під час обробки або використання багатоцільового верстата з поворотним столом чи поворотного пристосування для верстата з ЧПК, оснащеного магазином інструментів. У цілому така особливість характеризує деталь як технологічну.

Окрему увагу слід приділити чотирьом наскрізним отворам значної довжини (до 90 мм), обробка яких потребує застосування технології свердління та розточування довгих отворів (L = 3÷5D). Це призводить до збільшення основного машинного часу та, відповідно, зниження продуктивності обробки.

До нетехнологічних елементів конструкції слід віднести основний отвір з підвищеними вимогами до шорсткості поверхні ($Ra = 0,63$ мкм), обробка якого

потребує виконання кількох переходів, не менше чотирьох, що ускладнює технологічний процес.

У цілому деталь має достатньо розвинені базові поверхні, а доступ ріжучого інструмента до оброблюваних поверхонь є вільним. Вимоги до точності розмірів і шорсткості поверхонь можуть бути забезпечені шляхом вибору раціональних методів механічної обробки та відповідних режимів різання. Більшість операцій доцільно виконувати на багатоцільовому верстаті з ЧПК. Винятком може бути обробка зовнішніх площин, для якої раціональніше застосувати універсальний верстат, оскільки використання багатоцільового верстата з ЧПК у цьому випадку призводить до нераціонального переустановлення деталі, зниження продуктивності та збільшення верстатних норм часу.

Усі поверхні деталі, що підлягають механічній обробці, є доступними для контролю якості.

Таким чином, проведений якісний аналіз свідчить про те, що задана деталь за своєю конструкцією є технологічною та придатною для виготовлення в умовах дрібносерійного виробництва.

3.2.2 Кількісний аналіз технологічності

Відповідно до існуючих рекомендацій кількісна оцінка технологічності виробу здійснюється за допомогою коефіцієнта уніфікації її конструктивних елементів.

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

Якщо коефіцієнт уніфікації становить більше 0,6 - деталь вважається технологічною.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку коефіцієнта K_y

Діаметральні розміри		Лінійні розміри		Фаски, радіуси, різьби		Шорсткість Ra, мкм	
$P_д$	$P_{дy}$	$P_л$	$P_{лy}$	$P_ф$	$P_{фy}$	$Ш$	$Ш_y$
Ø12H7 (1)	1	24±IT14/2 (1)	1	Різьби:		0,63 (1)	1
Ø26H12 (1)	1	54±IT14/2 (1)	1	M14x1,5 (6)	6	3,2 (7)	7
Ø12H12 (4)	4	90±0,1 (1)	1	M4x0,7 (4)	-	20 (10)	10
Ø6H12 (4)	4	78±0,1 (1)	1	Фаски:			
Ø3,3H12 (4)	-	50±0,1 (1)	1	0,5x45° (9)	9		
		34±0,1 (3)	3	1x45° (6)	6		
		12±IT14/2 (4)	4				
		10±IT14/2 (2)	2				
		8±IT14/2 (3)	3				
		12±IT14/2 (1)	1				
		$4_{-0,2}$ (1)	1				
		65±0,1 (2)	2				
		25±0,1 (1)	1				
		35±0,1 (1)	1				
		$33^{+0,5}$ (1)	1				
		$36^{+0,5}$ (1)	1				
		$77^{+0,5}$ (1)	1				
		1,4±IT14/2 (2)	2				
		66±IT14/2 (1)	1				
		24±IT14/2 (1)	1				
$\sum P_д=14$	$\sum P_{дy}=10$	$\sum P_л=30$	$\sum P_{лy}=30$	$\sum P_ф=25$	$\sum P_{фy}=21$	$\sum Ш=18$	$\sum Ш_y=18$

Розрахувавши середню точність обробки отримаємо коефіцієнт точності. Для цього складемо таблицю:

Таблиця 3.2 – Коефіцієнта точності обробки

Квалітет	Поверхні і розміри відповідного коефіцієнта	Кількість розмірів	Розрахунок
7	Отв. Ø12Н7 (1 шт.)	1	7х1=7
12	Отв. Ø26Н12 (1 шт.); Отв. Ø12Н12 (4 шт.); Отв. Ø6Н12 (4 шт); Отв. Ø3,3Н12 (4 шт.)	13	12х13=156
14	$4_{-0,2}$ (1); $77^{+0,5}$ (1); $36^{+0,5}$ (1); $33^{+0,5}$ (1)	4	14х4=56
±IT12/2	66±0,1 (1); 65±0,1 (1); 35±0,1 (1); 25±0,1 (1); 34±0,1 (3)	7	12х7=84
±IT14/2	50 (2); 78 (2); 90 (2); 12 (1); 8 (3); 54 (1); 24 (2); 12 (2); 1,4 (2); 10 (2)	19	14х19=266
	Сума:	44	569

$$T_{сер.} = \frac{\sum T_i n_i}{\sum n_i} = \frac{569}{44} = 12,93$$

$$K_{T.O.} = 1 - \frac{1}{T_{сер.}} = 1 - \frac{1}{12,93} = 0,92$$

Отримане значення коефіцієнта точності обробки склало більше 0,8, тому робимо висновок, що деталь технологічна.

Для отримання коефіцієнта шорсткості потрібно провести розрахунок середньої шорсткості оброблюваних поверхонь. Для цього складемо таблицю:

Таблиця 3.3 – Визначення коефіцієнта шорсткості

Шорсткість, Ra	Кількість поверхонь	Розрахунок
0,63	1	0,63х1=0,63
3,2	7	3,2х7=22,4
20	10	20х10=200
Сума:	38	223,03

$$Ш_{сер.} = \frac{\sum Ш_i n_i}{\sum n_i} = \frac{223,03}{17} = 13,2$$

$$K_Ш = \frac{1}{Ш_{сер.}} = \frac{1}{13,2} = 0,075$$

Деталь вважається технологічною за умови, що значення коефіцієнта шорсткості не перевищує 0,32.

Висновок: узагальнюючи результати якісного аналізу технологічності конструкції та отримані кількісні показники, можна зробити остаточний висновок про те, що задана деталь є цілком технологічною, що дозволяє перейти до розроблення технологічного процесу її механічної обробки.

4 ВИБІР СПОСОБУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ

4.1 Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки та визначення її розмірів [13]

Орієнтуючись на дані робочого креслення деталі, обраний матеріал, масу та серійність виготовлення, можна зробити висновок, що найбільш раціональними способами отримання заготовки є використання сталевого полосового прокату та квадратного гарячекатаного прутка. Для заданих умов ці способи є економічно доцільними, оскільки форма й розміри заготовки максимально наближені до геометрії готової деталі, що дозволяє зменшити обсяг механічної обробки та витрати матеріалу.

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

Квадратний прокат із якісної вуглецевої сталі марки 45 виготовляється у вигляді прутків довжиною від 2 до 6 м. Номенклатура розмірів по стороні квадрата а (мм) охоплює діапазон від 3,2 до 200 мм.

У даному випадку вибір перерізу заготовки здійснюється з урахуванням максимальних габаритних розмірів деталі, які формують умовний квадрат. Такими розмірами є 90 мм та 78 мм, отже, мінімальний розмір поперечного перерізу заготовки має становити не менше 100×100 мм. Відповідно до рекомендацій для квадратних заготовок із перерізом $80 - 150$ мм, при необхідності розрізання прутка та подальшої обробки торців слід передбачити припуск $6{,}5 \div 7{,}0$ мм під різання дисковою пилою діаметром $Ø510$, а також припуск на обробку торців. Для деталі з чистовими розмірами $90 \times 78 \times 50$ мм величина припуску по довжині становить $8{,}0$ мм при довжині заготовки до 1 м.

Таким чином, початковою заготовкою доцільно прийняти квадратний пруток розміром 100×100 мм. Для подальшої механічної обробки в основному виробництві використовується штучна заготовка, отримана шляхом відрізання від прутка, з урахуванням сумарного розміру: $50 + 5 \cdot 2 + 7 = 67$ мм, 5 мм — припуск на механічну

обробку поверхонь для досягнення заданого розміру 50 мм з параметром шорсткості $Ra = 3,2$ мкм; 7 мм — ширина різу при відрізанні заготовки дисковою пилою.

Для вибору оптимальної довжини прутка, з якого у заготівельному відділенні здійснюватиметься різання штучних заготовок для основного виробництва, доцільно розглянути кілька варіантів стандартної довжини, зокрема 1500 мм, 3500 мм та 6000 мм.

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

Приймаємо пруток довжиною 6000 мм., оскільки при його використанні наявний найменший залишок прутка.

Позначення матеріалу для отримання заготовок:

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

Розміри заготовок 100х100х67 мм. при значенні шорсткості поверхні $Ra = 12,5$ мкм.

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

Розміри поперечного перерізу - 95х56 мм. Прокат виготовляється довжиною від 2 м до 6 м.

Розрахунок кількості заготовок відповідно довжині аналогічний попередньому:

$$\frac{2400}{95} \approx 26,31 \text{ шт.}; \ \frac{3500}{95} \approx 36,84 \text{ шт.}; \ \frac{6000}{95} \approx 63,15 \text{ [шт.]}$$

Обираємо довжину стрічки $L = 6000$ мм., оскільки при такій довжині маємо практично безвідходне виробництво. Для останньої заготовки необхідно провести корегування припусків, що будуть зніматись під час механічній обробці.

Остаточні розміри заготовки приймаємо 96х95х56 мм при шорсткості поверхонь $Ra = 12,5$ мкм.

4.2 Оформлення ескізів обох варіантів заготовки

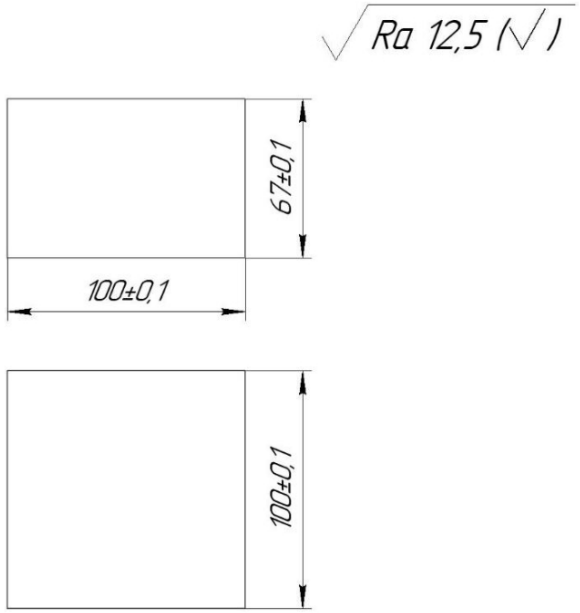


Рисунок 4.1 - Ескіз заготовки, яка отримується з сортового гарячекатаного прокату

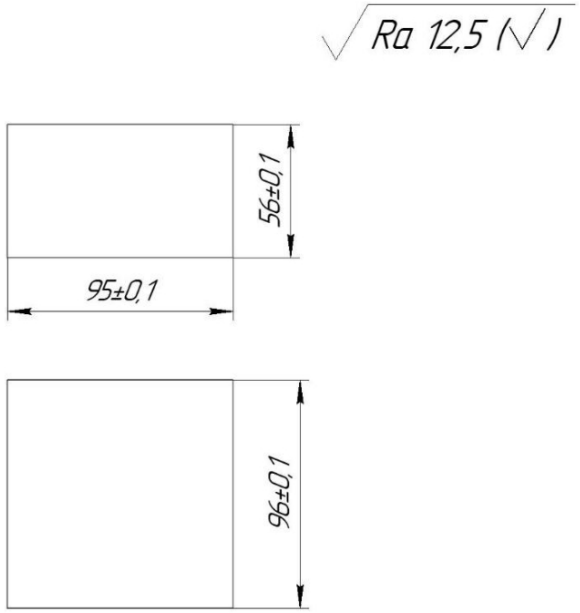


Рисунок 4.2 - Ескіз заготовки, яка отримується
зі стрічкового гарячекатаного прокату

4.3 Розрахунок маси і коефіцієнтів використання матеріалу для обох варіантів заготовки [14]

Розрахунок маси двох варіантів заготовок:

Квадратний гарячекатаний пруток:

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

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

Гарячекатаний стальний полосовий прокат:

$$V_{зак.лист.} = 96 \cdot 95 \cdot 56 = 510720 \text{ мм}^3 = 510{,}72 \text{ [см}^3\text{]}$$

$$m_{зак.лист.} = 510{,}72 \cdot 7{,}85 \cong 4{,}01 \text{ [кг]}$$

Коефіцієнти використання матеріалу для двох варіантів заготовок:

Квадратний гарячекатаний пруток:

$$K_{в.м.кв.} = \frac{m_д}{m_{зак.кв.}} = \frac{2{,}65}{5{,}26} = 0{,}5$$

Гарячекатаний стальний полосовий прокат:

$$K_{в.м.стр.} = \frac{m_д}{m_{зак.стр.}} = \frac{2{,}65}{4{,}01} = 0{,}66$$

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.

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

Вартість операції розрізання в 2025 році становить 33,88 грн/год. Цю вартість додаємо до вартості обох варіантів заготовок.

Вартість розрізання складає:

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

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

Повна вартість заготовок для двох варіантів:

$$M_{кв.} = 5,26 \cdot \frac{33000 \cdot 3,47}{1000} - (5,26 - 2,65) \cdot 4 + 0,68 + 0,0014 = 591,2 \text{ [грн]}$$

$$M_{пол.} = 4,01 \cdot \frac{45000 \cdot 3,47}{1000} - (4,01 - 2,65) \cdot 4 + 0,21 + 0,0014 = 620,51 \text{ [грн]}$$

Висновок: порівняльний аналіз вартості заготовок показав, що з економічної точки зору більш доцільним є вибір заготовки, отриманої з сортового сталевого гарячекатаного прокату квадратного перерізу, оскільки її вартість становить 591,2 грн., що є нижчим показником порівняно з альтернативним варіантом - 620,51 грн.

5 РОЗРОБКА МАРШРУТУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

5.1 Аналітичний огляд відомих маршрутів механічної обробки подібних деталей в умовах даного типу виробництва [15, 16]

Задана деталь умовно належить до корпусних деталей, які є базовими елементами машин і механізмів. У корпусах розміщуються різноманітні механізми, складальні одиниці та окремі деталі, тому в процесі їх експлуатації має бути забезпечена висока точність взаємного розташування елементів.

Корпусні деталі найчастіше виготовляють із сірого чавуну, проте в окремих випадках застосовуються й інші матеріали, зокрема леговані та вуглецеві сталі, ковкий чавун, а також сплави кольорових металів. Вибір матеріалу визначається умовами роботи деталі, вимогами до міцності, жорсткості та зносостійкості.

Важливим етапом виготовлення корпусних деталей є вибір технологічних баз і раціональної послідовності механічної обробки. Для обробки зовнішніх поверхонь застосовують протягування, шліфування, фрезерування, точіння та стругання, серед яких найбільш поширеним є фрезерування. В умовах дрібносерійного виробництва обробка може виконуватися на універсально-фрезерних верстатах з різним розташуванням шпинделя, а також на багатоцільових верстатах з числовим програмним керуванням.

Обробка основних отворів, до яких висуваються підвищені вимоги щодо точності та якості поверхні, здійснюється на свердлильних і розточувальних верстатах з ЧПК. Кріпильні та другорядні отвори (під манометри, пробки, канали подачі змащувальної рідини тощо) обробляють на горизонтально-розточувальних, вертикально- та радіально-свердлильних верстатах.

Фінішна обробка основних отворів забезпечується такими операціями, як розвертання, тонке розточування та хонінгування. В умовах серійного виробництва найбільш поширеними є операції розвертання та розточування.

Висновок: при проєктуванні технологічного процесу механічної обробки заданої деталі доцільно використати наведені типові рекомендації, що забезпечить раціональну організацію виробництва та досягнення необхідних показників точності й якості.

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

Для забезпечення заданих показників точності необхідну кількість переходів механічної обробки можна визначити кількома способами, зокрема на основі таблиць економічної доцільності та із застосуванням формул загального уточнення.

У конструкції даної деталі виділяються дві групи поверхонь, обробка яких потребує виконання кількох переходів: шість зовнішніх граней заготовки з вимогою до шорсткості $\mathrm{Ra} = 3{,}2$ мкм та отвір $Ø12H7$ із шорсткістю $\mathrm{Ra} = 0{,}63$ мкм.

Використовуючи таблиці економічної доцільності було визначено кількість переходів і методи механічної обробки для зазначених поверхонь. Так, для обробки шести зовнішніх граней прийнято фрезерування, а для отвору $Ø12H7$ передбачено чотири переходи: свердління, зенкерування та дворазове розгортання, при цьому обробка виконується в суцільному металі.

Подальшим етапом є перевірка обґрунтованості прийнятої кількості переходів при обробці отвору $Ø12H7$ шляхом застосування формул загального уточнення.

$$\xi_{\Sigma} = \frac{T_{заг.}}{T_{дет.}} = \frac{150}{18} = 8{,}33$$

Скорегуємо, що дане уточнення досягнемо за три переходи механічної обробки. Приймаємо, що $\xi_1 = 3$; $\xi_2 = 2$; $\xi_3 = 1{,}5$.

Розрахуємо уточнення, яке досягається на останньому переході:

$$\xi_3' = \frac{\xi_\Sigma}{\xi_1 \cdot \xi_2} = 1,39$$

Величини допусків технологічних розмірів будуть наступні:

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

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

$$T_3 = T_{дет.} = \frac{T_2}{\xi_3'} = \frac{25}{1,39} = 17,98\,[\text{мкм}]\ (\text{IT7})$$

Розраховані значення допусків технологічних розмірів, які мають забезпечуватися на першому та другому переходах, округлюємо до найближчих нормативно встановлених значень. У результаті остаточно приймаємо:

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

Способи механічної обробки для отримання отворів залишаються тими самими, що були попередньо визначені в першому розділі, а саме:

– зенкерування;

– попереднє розгортання;

– чистове розгортання.

Зазначені методи, за умови попереднього засвердлювання отвору в суцільному металі, забезпечують досягнення заданих показників точності та шорсткості поверхні отвору Ø12H7 з параметром $\text{Ra} = 0,63$ мкм.

Окрім цього, у даній деталі підлягають механічній обробці шість зовнішніх граней (площин) з вимогою до шорсткості $\text{Ra} = 3,2$ мкм та 12-м квалітетом точності

для кожної з них. Зазначені поверхні не визначають безпосередньо службове призначення деталі, при цьому лише одна з них може бути використана як установна база за умови обробки внутрішніх порожнин на багатоінструментальному верстаті з ЧПК, оснащеному поворотним столом.

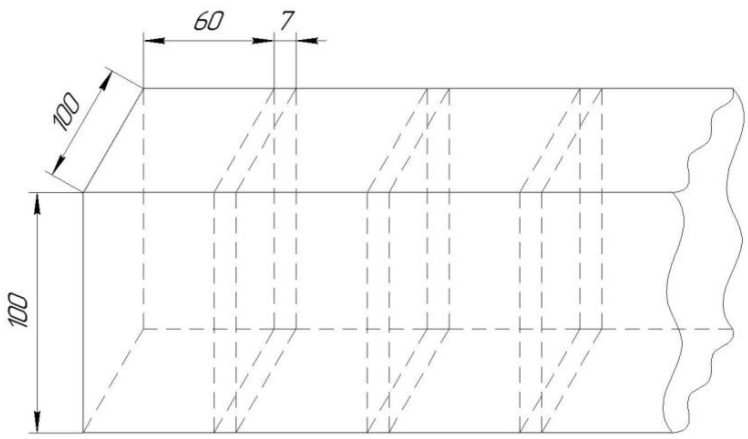


Рисунок 5.1 – Нарізання заготовок з квадратного прутка

Із стандартного квадратного прокату перерізом 100×100 мм за допомогою дискової пилки відрізаються штучні заготовки товщиною 60 мм з урахуванням ширини різу 7 мм. У результаті механічній обробці підлягають дві площини розміром 100×100 мм, які належать до площин розрізу, а також чотири площини розміром 100×60 мм.

Призначаємо припуски, які потрібно зняти при обробці:

$$\frac{(100-90)}{2} = 5 \text{ [мм]}; \ \frac{(100-78)}{2} = 11 \text{ [мм]}; \ \frac{(60-50)}{2} = 5 \text{ [мм]}$$

Загальні уточнення:

$$\xi_{\sum_1} = \frac{T_{заг_1}}{T_{дет_1}} = \frac{1700}{350} = 4{,}857; \ \xi_{\sum_2} = \frac{T_{заг_2}}{T_{дет_2}} = \frac{1000}{300} = 3{,}33$$

Дані уточнення можуть забезпечитись при обробці в два переходи - $\xi_1 = 3$; $\xi_2 = 2$. Розрахуємо уточнення на другому переході:

$$\xi' = \frac{\xi_{\sum_1}}{\xi_1} = \frac{4,857}{3} = 1,619\,;\ \xi'' = \frac{\xi_{\sum_2}}{\xi_1} = \frac{3,33}{3} = 1,11$$

Обрахуємо допуски технологічних розмірів:

$$T_1' = \frac{T_{зак_1}}{\xi_1} = \frac{1700}{3} = 567\,\text{мкм};\ T_1'' = \frac{T_{зак_2}}{\xi_1} = \frac{1000}{3} = 333,3\,[\text{мкм}];$$

$$T_2' = T_{дет_1} = \frac{T_1'}{\xi'} = \frac{567}{1,619} = 350,19 \cong 350\,[\text{мкм}];$$

$$T_2'' = T_{дет_1} = \frac{T_1''}{\xi''} = \frac{333,3}{1,11} = 300,27 \cong 300\,[\text{мкм}]$$

Розрахунки підтвердили, що за два переходи фрезеруванням можливо досягти точність площин. Також підтвердили повну відповідність нормативам:

$$T_{1\,ост.}' = 540\,\text{мкм}\ (\text{h13});\ T_{1\,ост.}'' = 460\,\text{мкм}\ (\text{h13})\ \text{або}\ T_{1\,ост.}'' = 300\,\text{мкм}\ (\text{js12-}^{+150}_{-150});$$

$$T_{2\,ост.}' = 350\,\text{мкм}\ (\text{js12-}^{+175}_{-175});\ T_{2\,ост.}'' = 300\,\text{мкм}\ (\text{js12-}^{+150}_{-150})$$

5.3 Вибір чистових технологічних баз

Мінімізація похибки базування є одним із ключових завдань при виборі чистових технологічних баз.

Як зазначалося в розділі 2, задана деталь має форму паралелепіпеда і містить дві грані розміром 50×90 мм, дві грані розміром 50×78 мм та дві грані розміром

90×78 мм. Усі зазначені грані передбачається начисто обробити під час першої операції, що дає можливість використовувати будь-яку з них як базову поверхню.

Друга операція, яка є завершальною в технологічному процесі, пов'язана з обробкою внутрішніх порожнин (отворів) та кріпильних елементів. Її виконання заплановано на багатоінструментальному верстаті з числовим програмним керуванням, оснащеному поворотним столом. При цьому обробка всіх отворів здійснюватиметься на трьох гранях деталі, розташованих взаємно перпендикулярно, під кутом 90° одна до одної.

За таких умов як чистову технологічну базу доцільно використати грані деталі розміром 90×78 мм, які на даному етапі залишаються вільними від обробки.

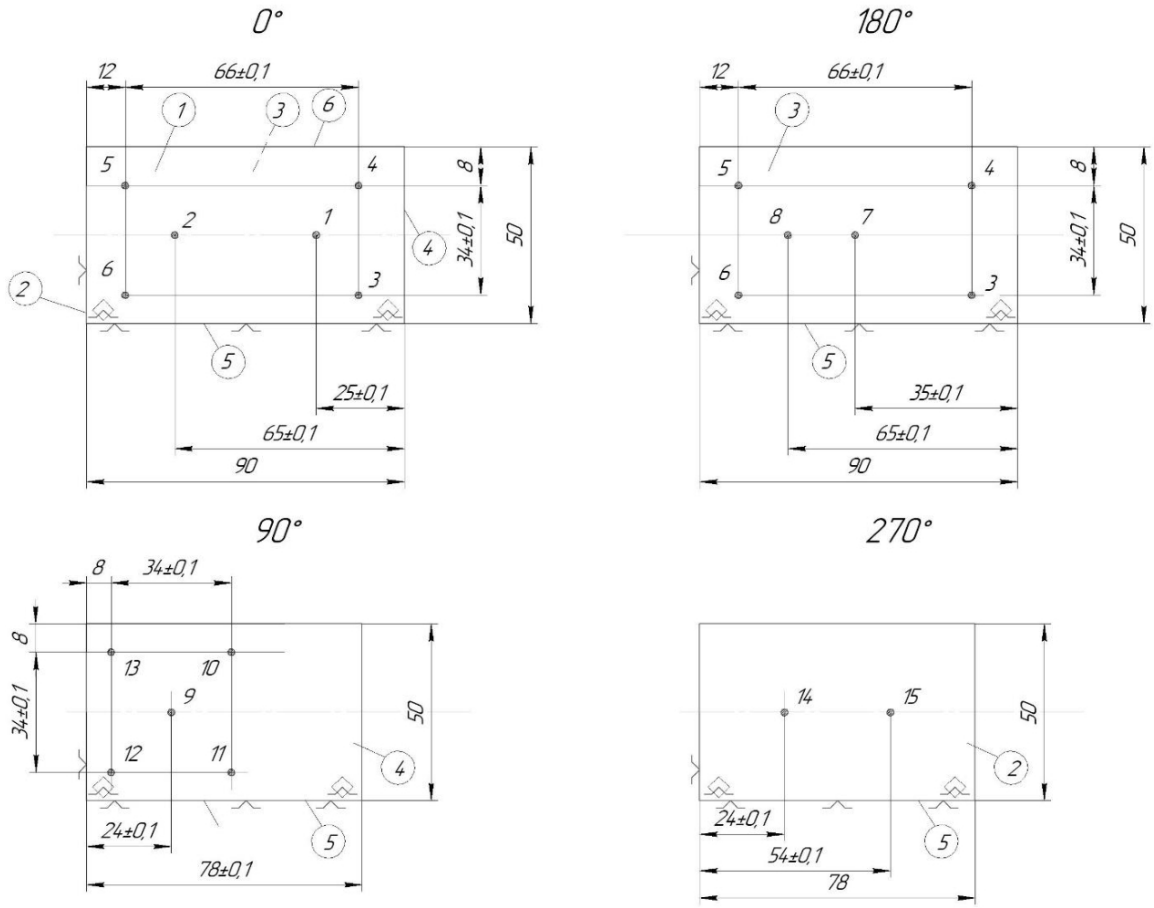


Рисунок 5.2 - Базування заготовки на операції 010

На підставі аналізу схеми базування на операції 010 з точки зору виконання вимог, заданих робочим кресленням деталі, можна зробити такі висновки. Центри (·)1÷15 відповідають положенням, з яких здійснюється обробка комплексу поверхонь.

При положенні поворотного столу верстата 0° виконується обробка отворів з центрів (·)1÷6. Для розмірів 25±0,1, 65±0,1 та 12 похибка базування відсутня, що забезпечується реалізацією принципу суміщення баз — упорної та вимірювальної.

При повороті столу у положення 90° здійснюється обробка отворів з центрів (·)9÷13. Для розміру розташування основного отвору (центр (·)9) 24±0,1 похибка базування відсутня завдяки суміщенню установочної та вимірювальної баз.

Міжцентрові відстані для кріпильних отворів (центри (·)11÷13), зокрема розміри 4 та 34±0,1 (три розміри), забезпечуються шляхом суміщення відповідних баз, тоді як інші розміри формуються за рахунок програми керування верстата з ЧПК.

При положенні поворотного столу 180° виконується обробка отворів з центрами (·)7 та 8. Розміри 35±0,1 і 65±0,1 забезпечуються суміщенням упорної та вимірювальної баз.

Вимоги до паралельності та перпендикулярності окремих поверхонь, задані робочим кресленням, виконуються за рахунок обробки деталі за один установ.

Таким чином, прийнята схема базування на чистові технологічні бази є цілком придатною для забезпечення необхідної точності механічної обробки заданої деталі.

5.4 Вибір чорнових технологічних баз

На операції 005 передбачається чистова механічна обробка всіх шести зовнішніх граней деталі. Обробку планується виконувати на універсальному фрезерному верстаті, оснащеному горизонтальним шпинделем, у кілька установ із застосуванням поворотного пристосування. За такого підходу в кожному установі обробляються дві протилежні площини деталі.

Одночасний підхід інструмента до всіх чотирьох бічних площин є неможливим через розташування затискних елементів, у зв'язку з чим чорнові технологічні бази змінюватимуться тричі в процесі перевстановлення деталі. За прийнятої схеми обробки забезпечується отримання заданих лінійних розмірів, а також виконання вимог до паралельності між парами протилежних поверхонь.

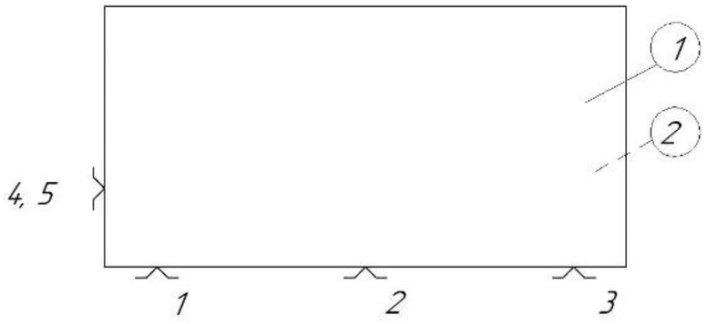


Рисунок 5.3 - Встановлення заготовки на чорнові бази

5.5 Орієнтовний вибір інструменту та вибір обладнання

Для розроблення технологічного процесу необхідно визначитися з типом і моделлю обладнання, при цьому основним критерієм вибору є його технологічні можливості. У попередніх розділах уже було визначено загальну послідовність обробки поверхонь та окреслено тип обладнання, що доцільно застосувати.

Для виконання операції 005 - горизонтально-фрезерувальної - передбачається використання універсального фрезерного верстата. Як попередній варіант обрано верстат моделі ADF0808, який має довжину столу 630 мм, ширину 160 мм, максимальне повздовжнє переміщення столу 400 мм та потужність приводу головного руху 1,5 кВт. Обробку планується здійснювати одночасно для чотирьох заготовок, найбільший габарит яких становить 100 мм.

На столі верстата передбачається закріплення поворотного пристосування, при цьому затиск усіх заготовок здійснюватиметься за допомогою притискної планки. В одному установі, завдяки використанню поворотного пристосування,

оброблятимуться дві протилежні грані заготовок, після чого установки змінюватимуться ще двічі. Механічна обробка виконуватиметься торцевою фрезою.

Для виконання операції 010 передбачається використання інструментів для обробки отворів, розподілених за комплектами поверхонь:

1. Для комплекту поверхонь з центром (·)9: свердло для центрування (1 шт.), чорнова та чистова розгортки (2 шт.), свердло для засвердлювання або зенкерування (1 шт.) свердло для попереднього засвердлювання (1 шт.), , циліндрична зенківка для отворів під ущільнення (1 шт.), конічна зенківка для обробки фаски (1 шт.);

2. Для комплекту поверхонь з центрами (·)1, 2, 7, 8, 14, 15: центрувальне свердло (1 шт.), свердло для глибокого свердління трьох отворів Ø12 довжиною $77^{+0,5}$ мм та двох отворів Ø12 довжиною $33^{+0,5}$ і $36^{+0,5}$ мм (1 шт.), циліндрична зенківка для двох отворів під ущільнення (1 шт.), машинний мітчик для шести отворів М14×1,5 (1 шт.);

3. Для кріпильних отворів з центрами (·)11÷13: свердло для центрування (1 шт.), свердло (1 шт.);

4. Для кріпильних наскрізних отворів Ø6 довжиною 90 мм з центрами (·)3, 4, 5, 6: свердло для глибокого свердління (1 шт.), центрувальне свердло (1 шт.), свердло для обробки фасок з двох боків кожного отвору;

5. Загалом у технологічному процесі планується використати 15 найменувань різального інструмента, якими працювати верстат.

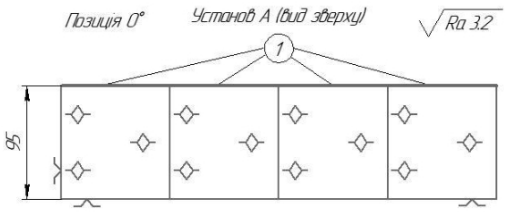
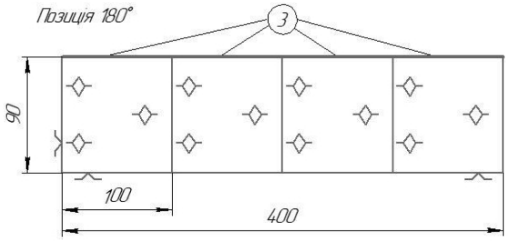
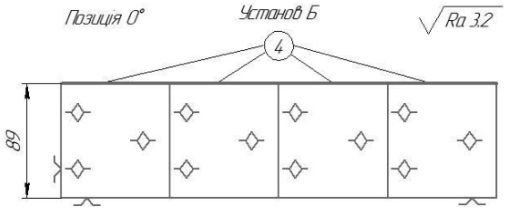
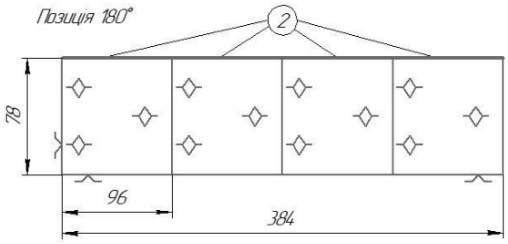
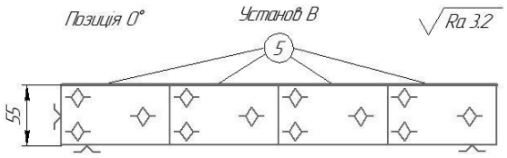
Крім того, технологічний процес потрібно доповнити операцією 015 — слюсарна. Вона передбачає нарізання різьби мітчиком у чотирьох отворах М4×0,7, що не входять до складу машинних операцій, а також притуплення всіх гострих кромок на зовнішніх гранях деталі відповідно до технічних вимог.

Для виконання операції 010 планується використання багатоінструментального верстата з ЧПК, оснащеного магазином інструментів, пристроями автоматичної заміни інструментів та поворотним столом. Попередньо обрано верстат моделі 2204ВМФ2 з горизонтальним та поворотним столом.

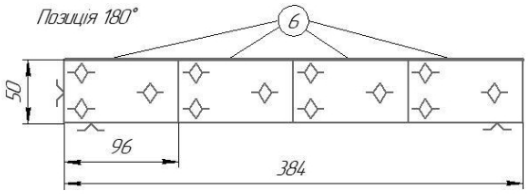
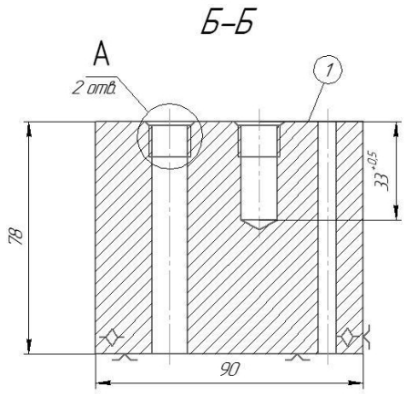
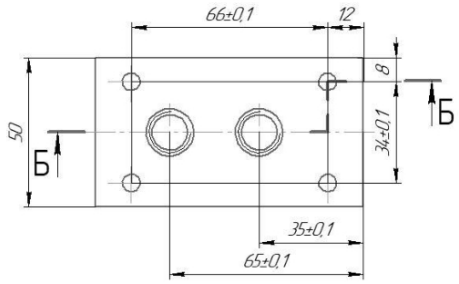
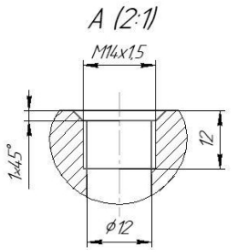
Обробка на верстаті планується одночасно для чотирьох заготовок, розташованих діаметрально на поворотному столі. Для повної обробки отворів на чотирьох гранях буде необхідно виконати два установи деталей.

5.6 Проектування маршруту механічної обробки

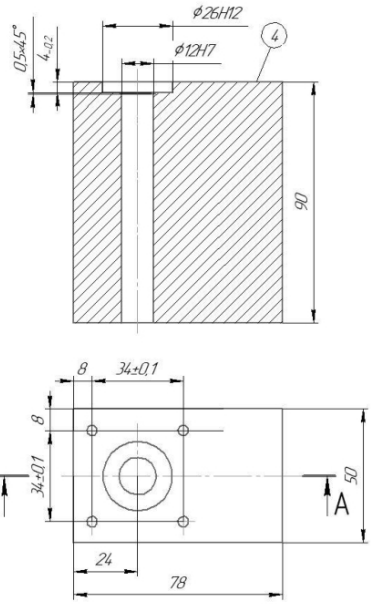
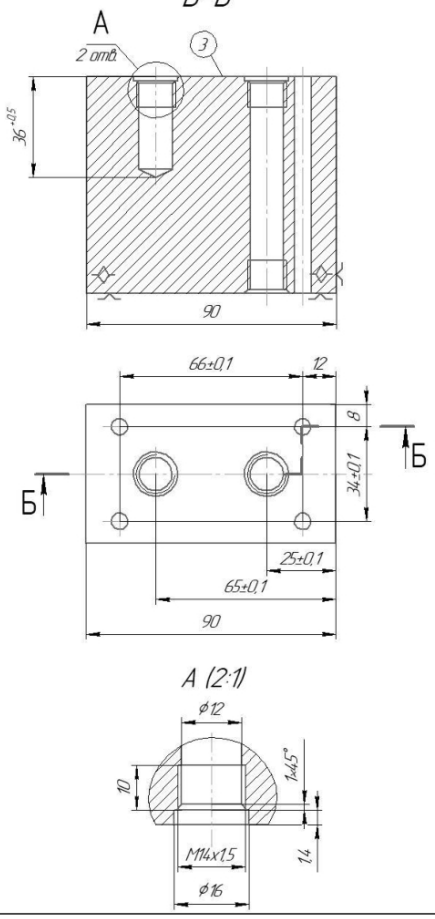
Таблиця 5.1 – Маршрут механічної обробки

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

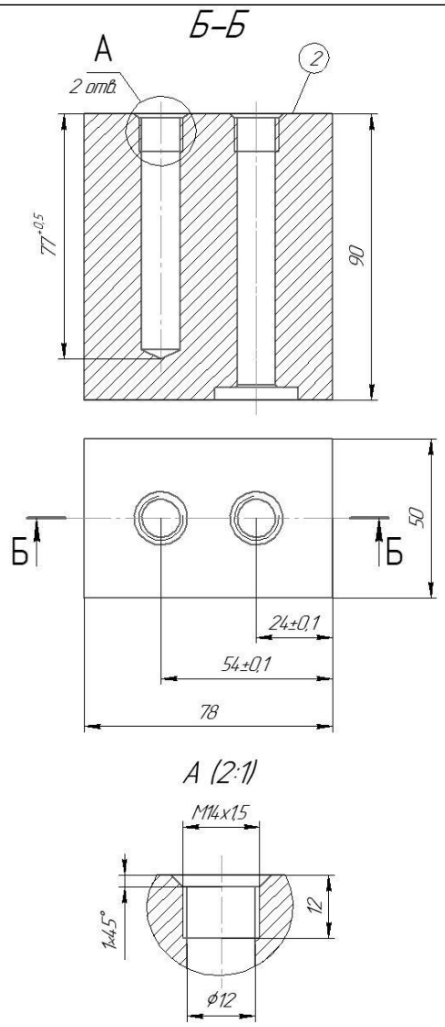
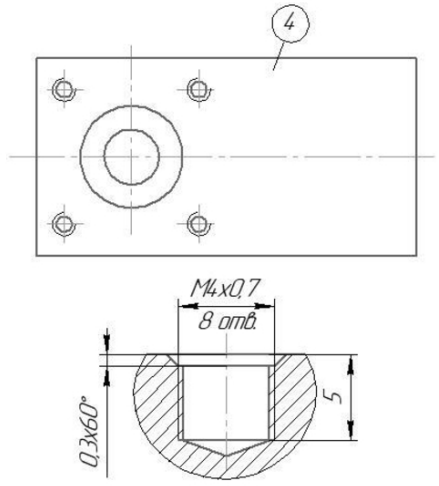
Продовження таблиці 5.1

1	2	3
<u>Установ В, позиція 180°</u> 4.Фрезерувати попередньо пов. 6 заготовок 5.Фрезерувати попередньо пов. 6 заготовок 6.Фрезерувати остаточно пов. 6 заготовок 010 Багатоцільова з ЧПК Позиції 0°, 90°, 180°, 270° Площина 1 1. Центрувати отв. 7, 8, з дотриманням розмірів по осі симетрії розміру 35±0,1, 65±0,1 2. Свердлити отв. 7, з дотриманням розмірів Ø12, 35±0,1, $33^{+0,5}$ 3. Свердлити отв. 8 з дотриманням розмірів Ø12, 65±0,1 наскрізно в режимі глибокого свердління 4. Зенкувати 3 фаски в отв. 7, 8 з дотриманням розміру 1х45° 5. Нарізати різь в отв. 7, 8 з дотриманням розмірів М14х1,5 , 12 мм 6. Центрувати 4 отв. 3, 4, 5, 6 з дотриманням розмірів 12, 8, 66±0,1 та 34±0,1 7. Свердлити 4 отв. 3, 4, 5, 6 наскрізно в режимі глибокого свердління 8. Зенкувати 4 фаски отв. 3, 4, 5, 6 з дотриманням розміру 0,5х45° 9. Перевстановити деталі на поворотному столі Позиції 0°, 90°, 180°, 270° Площина 4 1. Центрувати отв. 9 з дотриманням розміру 24 мм. по осі симетрії розміру 50 мм 2. Свердлити отв. 9 з дотриманням розміру Ø11,5 наскрізно в режимі глибокого свердління 3. Зенкувати отв. 9 з дотриманням розміру Ø11,85 на повну глибину	   	Багатоцільовий верстат з ЧПК мод. 2204ВМФ2

Продовження таблиці 5.1

1	2	3
4. Розгорнути отв. 9 попередньо з дотриманням розміру Ø11,95 на повну глибину 5. Розгорнути отв. 9 попередньо з дотриманням розміру Ø12Н7 на повну глибину 6. Зенкувати отв. Ø26Н12 з дотриманням розміру $4_{-0,2}$ 7. Зенкувати фаски в отв. 9 з дотриманням розміру 0,5х45° 8. Центрувати отв. 10÷13 з дотриманням розмірів 34±0,1 (2 розміри), 8 мм (2 розміри) 9. Свердлити отв. 10÷13 з дотриманням розмірів Ø3,3 на глибину 5 мм 10. Перевстановити деталі на поворотному столі	А–А  	
Позиції 0°, 90°, 180°, 270° Площина 3 1. Центрувати отв. 1, 2 з дотриманням розмірів 25±0,1, 65±0,1 мм осі симетрії розміру 50 мм 2. Свердлити отв. 2 з дотриманням розмірів Ø12, $36^{+0,5}$ 3. Зенкувати отв. 1, 2 Ø16 на глибину 1,4 мм 4. Зенкувати фаску у отв. 1, 2 з дотриманням розміру 1х45° 5. Нарізати різь в отв. 1, 2 з дотриманням розмірів М14х1,5 та 10 мм 6. Зенкувати фаску в 3, 4, 5, 6 з дотриманням розміру 0,5х45° 7. Перевстановити деталі на поворотному столі	Б–Б  	

Продовження таблиці 5.1

1	2	3
Позиції 0°, 90°, 180°, 270° Площина 2 1. Центрувати отв. 15 з дотриманням розміру по осі симетрії розміру 54±0,1 2. Свердлити отв. 15 з дотриманням розмірів Ø12, 54±0,1, $77^{+0,5}$ в режимі глибокого свердління 3. Зенкувати 2 фаски в отв. 14, 15 з дотриманням розміру 1x45° 4. Нарізати різь в отв. 14, 15 з дотриманням розмірів M14x1,5 , 12 мм 5. Зняти заготовки з поворотного столу		
015 Слюсарна 1. Розсвердлити фаски 0,3x60° у 4 отв. Ø3,3 2. Нарізати різі M4x0,7 у 4-х отв. Ø3,3 3. Притупити гострі кромки зовнішніх поверхонь фаскою 1x45°		Слюсарний стіл

5.7 Розмірний аналіз технологічного процесу

5.7.1 Вибір розташування технологічних розмірів

Технологічні розміри призначаються таким чином, щоб забезпечити зв'язок між оброблюваними й необроблюваними поверхнями, а також точне взаємне розташування оброблюваних елементів. У разі збігу конструкторських і технологічних баз похибка базування відсутня, що усуває необхідність виконання додаткових розрахунків для визначення розмірів. Технологічний процес механічної обробки деталі включає три основні операції: 005, 010 та 015.

На операції 005 здійснюється формування зовнішніх габаритних розмірів деталі. Протилежні грані пов'язані між собою розмірами з точністю ±IT12/2, що дозволяє виконувати їх обробку за один прохід. Для забезпечення заданої шорсткості поверхні Ra = 3,2 мкм передбачено виконання як попередньої, так і чистової обробки. Заготовка має необхідні припуски, а механічна обробка виконується на універсальному фрезерному верстаті. Досягнення потрібної точності забезпечується шляхом ручного контролю розмірів та відповідного налаштування ріжучого інструмента. Аналіз розмірів використовується для обґрунтування параметрів заготовки.

На операції 010 виконується обробка внутрішніх порожнин, у тому числі глухих отворів. Осі отворів прив'язуються до зовнішніх базових поверхонь з допусками 0,1 або 0,5 мм. Операція здійснюється на багатоцільовому верстаті з числовим програмним керуванням, який забезпечує високу точність позиціювання - до 0,01 мм. Усі лінійні розміри відповідають або перевищують вимоги робочого креслення, а точність переміщення столу з установленими заготовками також становить 0,01 мм, що унеможливлює потребу в додатковому розмірному аналізі.

Операція 015 не підлягає детальному розгляду, оскільки має слюсарний характер і виконується вручну. На першому етапі здійснюється обробка різьбових отворів, після чого виконується зняття фасок із зовнішнього контуру деталі за допомогою ручного інструмента.

5.7.2 Попереднє призначення допусків технологічних розмірів. Розмірна схема технологічного процесу

Зосередимо увагу на операції 005, зокрема на тих етапах обробки, які забезпечують отримання розміру 90h12. З цією метою необхідно розробити розмірну схему технологічного процесу для зазначених етапів.

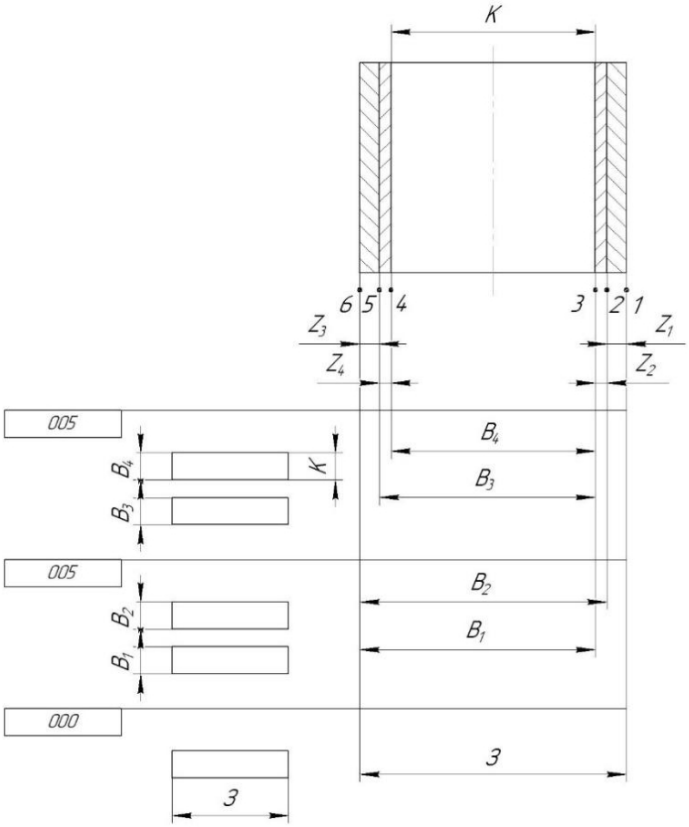


Рисунок 5.5 – Розмірна схема операції 005

Попереднє визначення допусків:

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

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

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

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

T(З)=1,75 мм за ДСТУ 4746:2007 для прийнятої заготовки: ±1,75 мм.

5.7.3 Похідний, вихідний графи-дерева, суміщений граф

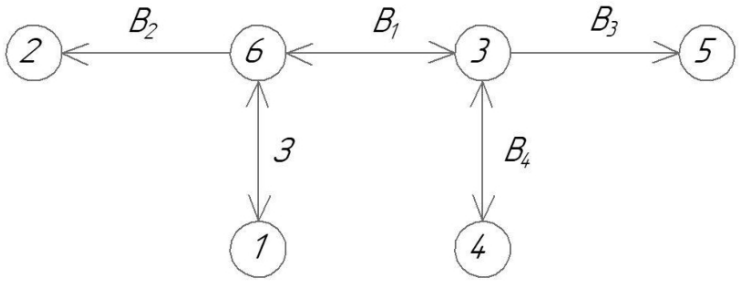


Рисунок 5.6 – Похідний граф-дерево

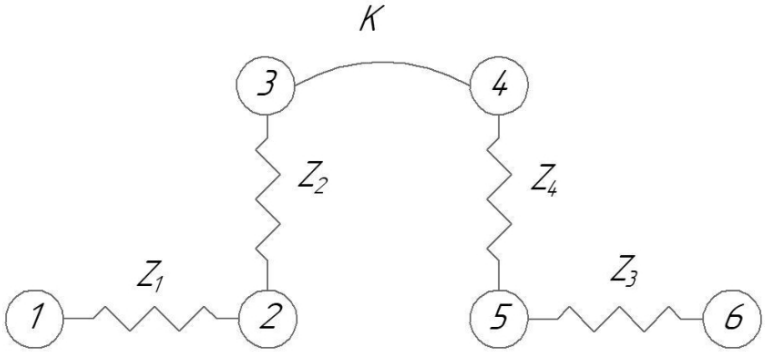


Рисунок 5.7 – Вихідний граф-дерево

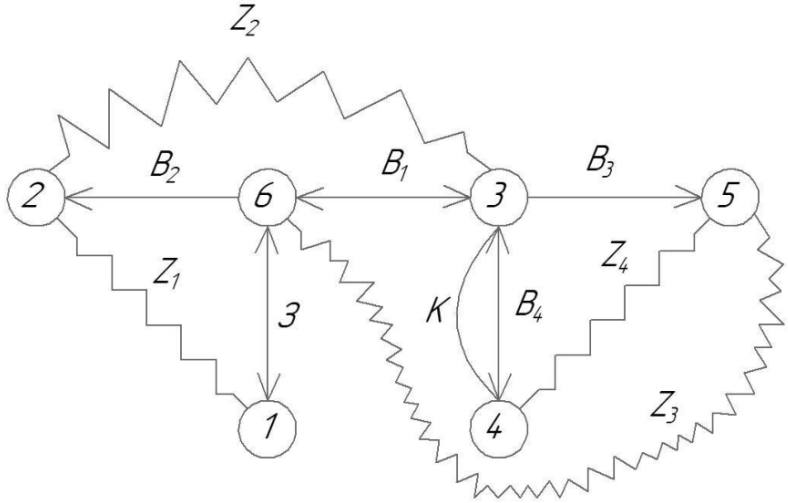


Рисунок 5.8 – Суміщений граф

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. $B_1 - B_2 - Z_2 = 0$	$Z_2 = B_2 - B_1$	B_1
5. $3 - B_1 - Z_1 = 0$	$Z_1 = 3 - B_2$	3

5.7.5 Визначення проміжних мінімальних пропусків на механічну обробку плоских поверхонь

Зі стального прокату відрізаються штучні заготовки. Для попередньої обробки - $R_Z = 50$ мкм, $T = 50$ мкм., а для чистового торцевого фрезерування - $R_Z = 10$ мкм, $T = 15$ мкм. Значення просторових відхилень для поверхонь - $\rho = 0{,}08$ (мкм/1м довжини). Похибка встановлення включає похибку базування $\xi_б = 0$, похибку закріплення $\xi_з = 0$, похибку розташування заготовки в пристосуванні $\xi_{пр} = 0{,}05$ мм.

Отже маємо наступні значення:

$$Z_{\min_1} = R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \xi_i = 50 + 50 + 0{,}08 + 50 = 150{,}08 \text{ мкм}$$

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

Для попередньої обробки $Z_{\min} = 0{,}15$ мм, остаточної - $Z_{\min} = 0{,}07$ мм.

Остаточно маємо, 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. $K = B_4 = 90_{-0{,}35} = B_{4ном}$

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

   $B_{4\max} = 90{,}00$ мм

2. $Z_4 = B_3 - B_4$

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

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

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

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

   $B_{3nom} = 91{,}48_{-1{,}4}$ мм

3. $B_2 - B_3 - Z_3 = 0$

   $Z_3 = B_2 - B_3$

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

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

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

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

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

4. $B_1 - B_2 - Z_2 = 0$

   $Z_2 = B_1 - B_2$

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

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

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

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

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

5. $З - B_1 - Z_1 = 0$

$$Z_1 = З - B_1$$

$$Z_{1min} = З_{min} - B_{1max}$$

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

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

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

$$З_{nom} = 96,78 \pm 1,75$$

Отримані результати заносимо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Розрахунки розмірних ланцюгів

Технологічні розміри	З	B1	B2	B3	B4
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
Номінальні розміри, мм	96,78±1,75	$93,12_{-1,4}$	$93,04_{-1,4}$	$91,48_{-1,4}$	$90_{-0,35}$

Таблиця 5.4 - Розрахунки граничних 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: отримані розрахункові рівняння відповідають дво- та триланковим розмірним ланцюгам і дозволяють коректно визначити максимальні припуски та

технологічні розміри вихідної заготовки. Водночас відмінності між припусками, прийнятими на етапі проєктування заготовки, і значеннями, отриманими в результаті розрахунків цього розділу, свідчать про відсутність потреби змінювати маршрут механічної обробки, однак зумовлюють необхідність уточнення допусків розмірів.

5.8 Визначення припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні

Виконаємо розрахунок для поверхні з найбільш жорсткими вимогами до точності - отвору Ø12H7 .

Заготовка отримується шляхом відрізання від гарячекатаного квадратного прутка, після чого всі її зовнішні поверхні підлягають чистовому фрезеруванню.

Технологічний процес передбачає послідовне виконання таких операцій: свердління, зенкування, попереднє розгортання та чистове розгортання. Обробка здійснюється за один установ деталі з базуванням по площині розміром 90×50 мм та упором у поверхню 78×50 мм.

Результати розрахунку припусків на механічну обробку отвору Ø12H7 наведені в таблиці 5.5, у якій послідовно відображено технологічний маршрут і всі етапи формування припуску.

Таблиця 5.5 – Розрахунок припусків та граничних розмірів на обробку отв. Ø12Н7

Технологічні переходи обробки отв. Ø12Н7	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{min}$, мм	Розрахунковий розмір d_p, мм	Допуск δ, мкм	Граничний розмір, мм		Граничне значення припусків, мкм	
	Rz	T	ρ	ξ				D_{min}	D_{max}	min	max
Заготовка	20	30	79,4	-	-	11,618	150 (Н12)	11,468	11,618	-	-
Зенкерування	15	25	0,4	-	2·129,4	11,877	70 (Н10)	11,747	11,817	199	279
Розгортання попереднє	10	20	0,16	-	2·40,4	11,958	27 (Н8)	11,931	11,958	141	184
Розгортання остаточне	3	-	-	-	2·30,16	12,018	18(Н7)	12,0	12,018	60	69
Всього:										400	532

Першочергово свердлимо отвір $Ø10{,}8H12$. Маємо поверхні отвору з параметрами $Rz = 20$ мкм, $T = 30$ мкм. В режимі глибокого свердління Ø10,8 на глибину 90 мм, $90/11{,}8 = 8{,}33$). Зенкерування чистове з параметрами $Rz = 15$ мкм, $T = 25$ мкм. Розгортання попереднє з параметрами $Rz = 10$ мкм, $T = 20$ мкм. Розгортання остаточне з параметрами $Rz = 3$ мкм.

Сумарне значення просторових відхилень при зенкеруванні та розгортанні попередньому:

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

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

Остаточне розгортання в розрахунках не враховується, оскільки відповідний припуск практично дорівнює нулю. Похибка встановлення на даному етапі обробки проявляється у вигляді зміщення оброблюваної поверхні, що має бути скомпенсовано введенням додаткової складової до проміжного припуску.

Передбачається обробка всіх поверхонь заготовки, розташованих на різних її площинах. Для цього заготовку закріплюють у пневматичних або гідравлічних затискних лещатах. Усі торцеві поверхні деталі вже мають чистову обробку. Кожна деталь установлюється на поворотний стіл багатоінструментального верстата з ЧПК. Перед початком обробки виконується налагодження «нульової» площини, яка слугує вихідною базою відліку. Завдяки застосуванню затискного приводу з постійним зусиллям похибки базування та закріплення практично усуваються.

Мінімальний міжопераційний припуск на зекерування:

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

Мінімальний міжопераційний припуск на попереднє розгортання:

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

Мінімальний міжопераційний припуск на остаточне розгортання:

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

Розгортання остаточне:

$$d_{p_2} = 12,018 - 0,0603 = 11,958 \text{ (мм)}$$

Розгортання попереднє:

$$d_{p_1} = 11,958 - 0,0808 = 11,877 \text{ (мм)}$$

Зенкерування:

$$d_{p0} = 11,877 - 0,2588 = 11,618 \text{ (мм)}$$

Значення допусків приймаємо відповідно до таблиць, що встановлюють квалітет точності та обраний вид механічної обробки.

Остаточного розгортання:

$$2Z_{гр.\min_1} = 12,018 - 11,958 = 0,06 \text{ (мм)}$$

$$2Z_{гр.\max_1} = 12,0 - 11,931 = 0,069 \text{ (мм)}$$

Попереднє розгортання:

$$2Z_{гр.\min_2} = 11,958 - 11,817 = 0,141 \text{ (мм)}$$

$$2Z_{гр.\max_2} = 11,931 - 11,747 = 0,184 \text{ (мм)}$$

Зенкерування:

$$2Z_{гр.\min_3} = 11,817 - 11,618 = 0,199 \text{ (мм)}$$

$$2Z_{гр.\max_3} = 11,747 - 11,468 = 0,279 \text{ (мм)}$$

На основі отриманих розрахункових даних складаємо графічну схему розташування припусків і допусків обробки отвору (рисунок 5.8).

Загальні припуски $Z_{O\min}$ та $Z_{O\max}$ визначаються шляхом підсумовування проміжних припусків. Результати виконаних розрахунків заносимо до відповідних граф таблиці.

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

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

Загальний мінімальний припуск:

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

$$D_{O_{ном}} = d_{3_{\min}} - Z_{O_{ном}} = 12 - 0,432 = 11,568 \text{ (мм)}$$

Перевірка розрахунків:

$$2Z_{O\max} - 2Z_{O\min} = T_з - T_д$$

$$532 - 400 = 132 \text{ (мкм)}$$

$$150 - 18 = 132 \text{ (мкм)}$$

Графічна схема розташування припусків і допусків при обробці отвору Ø12Н7 показана на рисунку 5.8.

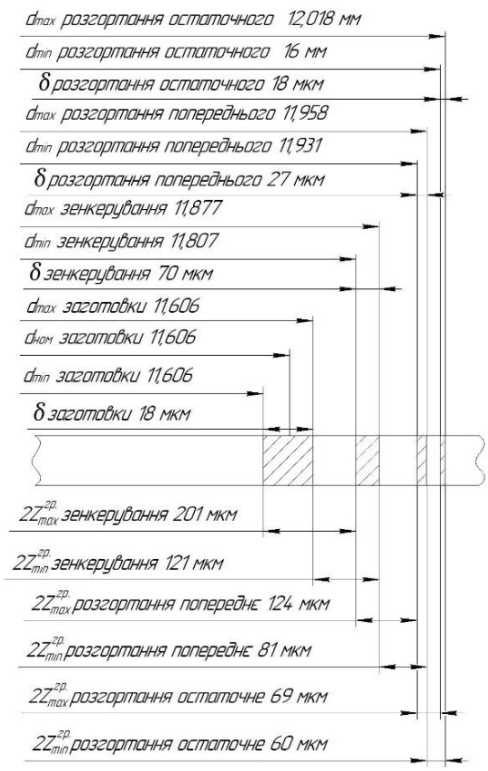


Рисунок 5.8 – Схема графічного розташування припусків та допусків на обробку отвору Ø12H7

Висновок: розрахунки припусків і міжопераційних розмірів виконано коректно.

5.9 Визначення режимів різання при різних методах обробки

Режими обробки деталі є одним із визначальних чинників технологічного процесу. Призначення режимів різання повинно забезпечувати досягнення заданої продуктивності за мінімальних витрат на виконання операції. Це досягається шляхом застосування раціонально сконструйованого інструмента та використання технологічних можливостей верстата, які не обмежують його різальні властивості. Режими різання встановлюються з урахуванням матеріалу деталі, характеристик інструмента та параметрів верстата. Послідовність їх визначення передбачає спочатку вибір глибини різання, далі - подачі, і на завершальному етапі - швидкості різання.

Розглянемо призначення режимів різання для свердління отвору $Ø12H12$ на глибину $77^{+0,5}$ мм з подальшим формуванням різі $M14\times1,5$. Обробка здійснюється в суцільному матеріалі - Сталь 45. Як різальний інструмент використовується спіральне свердло з конічним хвостовиком $035-2301-1040$ $d=12$ *мм*, $L=155$ *мм*, $l_0=75$*мм*, $l=93$ *мм*, *к.м.№*1, *ОСТ* $2И20-2-80$. Подача ($HB217$, $P6M5$): $S_{рек.}=0,20-0,25$ (мм/об).

Для отворів глибиною $<10D$ (в нашому випадку $77/12=6,41$) застосуємо поправний коефіцієнт $K_{l_s}=0,75$. $S_{пр.}=0,25\cdot0,75=0,19$ (мм/об).

Перейдемо до розрахунку швидкості різання. Стійкість інструмента $T=35$ хв., коефіцієнт $C_v=7,0$, показники степені: $q=0,4; y=0,7; m=0,2$. При обробці обов'язково застосовуємо охолодження. Загальний поправний коефіцієнт:

$$K_v=K_{Mv}\cdot K_{Uv}\cdot K_{lv}=0,772\cdot1,0\cdot0,6=0,56$$

Швидкість різання:

$$V=\frac{C_v\cdot D^q}{T^m\cdot S^y}K_v=\frac{7\cdot12^{0,4}}{35^{0,2}\cdot0,19^{0,7}}0,56=11,9\ \text{(м/хв)}$$

Крутний момент:

$$M_{кр.}=10\cdot C_M\cdot D^q\cdot S^y\cdot K_p=10\cdot0,0345\cdot12^2\cdot0,19^{0,8}\cdot1,24=8,19\,(\text{Н}\cdot\text{м})$$

Осьова сила:

$$P_o=10\cdot C_p\cdot D^q\cdot S^y\cdot K_p=10\cdot68\cdot12^{1,0}\cdot0,19^{0,7}\cdot1,24=2243(\text{Н})$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 11,9}{3,14 \cdot 12} = 450 \text{ (об/хв)}$$

Приводимо значення до найближчого більшого. Приймаємо $n_{пр} = 500$ об/хв.

Уточнюємо значення:

$$V_{ут} = \frac{\pi D \cdot n_{кр}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 12 \cdot 500}{1000} = 13,35 \text{ (м/хв)}$$

Потужність різання:

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

Верстата 2204ВМ1Ф4 має потужність приводу $N_в = 6,3$ кВт. Тому обробка можлива.

Перейдемо до фрезерування попереднього площини заготовки з розмірами 90х78 мм. Різальний інструмент торцева насадна фреза (швидкоріжуча сталь) за ГОСТ $9304-69$: $\mathrm{D} = 80$ *мм*; $B = 45$ *мм*; $\mathrm{d} = 32$*мм*; $\mathrm{Z} = 16$. Величина подачі для потужності верстата $N_в$=3,0 кВт та середньої жорсткості системи: $S_{Z_{рек.}} = 0,06 - 0,1$ (мм/зуб). Обираємо $S_{Z_{пр.}} = 0,08$ мм/зуб.

Швидкість різання: $c_V = 64,7$; $D = 80$; 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; $K_v = 0,772$.

$$V = \frac{c_V \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^{\ y} \cdot B^U \cdot Z^P} K_v = \frac{64,7 \cdot 80^{0,25}}{180^{0,2} \cdot 2^{0,1} \cdot 0,08^{0,2} \cdot 45^{0,15} \cdot 16^0} 0,772 = 46,2 \text{ (м/хв)}$$

Частота обертання шпинделя:

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

Приймаємо $n_в = 200$ об/хв.

Уточнюємо швидкість різання:

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

Сила різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z{}^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot n^w} K_{MP} = \frac{10 \cdot 82,5 \cdot 2^{0,95} \cdot 0,08^{0,8} \cdot 45^{1,1} \cdot 16}{80^{1,1} \cdot 1} 1,09 = 1954 \text{ (Н)}$$

Крутний момент:

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

Потужність різання:

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

Верстат ADF0808 має потужність приводу $N_в = 3,0$ кВт. Обробка поверхні можлива.

5.10 Визначення технічних норм часу для всіх операцій

Для операцій 005, 010 та 015 норми часу визначаються за спрощеною методикою, застосованою у розділі 2, з подальшим уточненням після завершення розробки технологічного процесу.

Основний час розраховується з використанням числових коефіцієнтів з урахуванням параметрів обробки (довжини, діаметра та інших характеристик). Отримані результати заносяться до таблиці 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	$6 \cdot l$	$6 \cdot 96 \cdot 10^{-3} \cdot 2=0,94$
8. Фрезерування остаточне (чистове) *обробляються по дві протилежні площини	$4 \cdot l$	$4 \cdot 96 \cdot 10^{-3} \cdot 2=0,62$
Сумарні витрати T_O на операції 005		ΣT_O=7,32 хв.

Продовження таблиці 5.7

1	2	3
Операція 010 – Багатоцільова з ЧПК		
Площина 1		
1. Центрування отв. 7, 8	0,52· D·l	0,52·4·2·2·10^{-3}=0,0166
2. Свердління отв. Ø12 на довжину 33 мм	0,52· D·l	0,52·12·33·10^{-3}=0,323
3. Свердління отв. Ø12 на довжину 90 мм	0,52· D·l	0,52·12·34·10^{-3}=0,261
4. Зенкування 2-х фасок 1х45° в 2-х отв. Ø12	0,21· D·l	0,21·12·1,4·10^{-3}=0,0076
5. Нарізання різі М14х1,5 в 2-х отв. Ø12 на довжину 12 мм	0,4 · D·l	0,4·14·12·2·10^{-3}=0,008
6. Центрування 4 отв. Ø6	0,21· D·l	0,21·6·1·4·10^{-3}=0,0576
7. Свердління 4 отв. Ø6 наскрізно (l=90 мм)	0,52· D·l	0,52·6·90·4·10^{-3}=0,911
8. Зенкування фасок 0,5х45° у 4-х отв. Ø6	0,21· D·l	0,21·6·1·4·10^{-3}=0,005
Площина 4		
1. Центрування отв. 9	0,52· D·l	0,52·4·2·10^{-3}=0,0083
2. Свердління отв. Ø11,5 в режимі глибокого свердління	0,52· D·l	0,52·11,5·90·10^{-3}=0,54
3. Свердління отв. Ø11,85 на повну глибину	0,52· D·l	0,52·11,85·90·10^{-3}=0,55
4. Розгорнути отв. Ø11,95 попередньо на повну глибину	0,52· D·l	0,52·11,95·90·10^{-3}=0,56
5. Розгорнути отв. Ø12Н7 попередньо на повну глибину	0,52· D·l	0,52·12·90·10^{-3}=0,57
6. Зенкувати отв. Ø26Н12 з дотриманням розміру 4	0,86· D·l	0,86·26·4·10^{-3}=0,09
7. Зенкувати фаски в отв. 9 з дотриманням розміру 0,5х45°	0,21· D·l	0,21·12·1,4·10^{-3}=0,007
8. Центрувати 4 отв.	0,52· D·l	0,52·4·2·4·10^{-3}=0,024
9. Свердлити 4 отв. Ø3,3 на глибину 5 мм	0,52· D·l	0,52·3,3·5·4·10^{-3}=0,003
Площина 3		
1. Центрування отв. 1, 2	0,52· D·l	0,52·4·2·10^{-3}=0,0083
2. Свердління отв. Ø12 на довжину 36 мм	0,52· D·l	0,52·12·36·10^{-3}=0,34
3. Зенкувати 2 отв. Ø16 на глибину 1,4 мм	0,86· D·l	0,86·26·1,4·4·10^{-3}=0,125
4. Зенкування 2-х фасок 1х45° в 2-х отв. Ø12	0,21· D·l	0,21·12·4·2·10^{-3}=0,0076
5. Нарізання 2 різі М14х1,5 на довжину 12 мм	0,4 · D·l	0,4·14·12·2·10^{-3}=0,134
6. Зенкування фасок 0,5х45° у 4-х отв. Ø6	0,21· D·l	0,21·6·1·4·10^{-3}=0,005
Площина 2		
1. Центрування отв. 15	0,52· D·l	0,52·4·2·10^{-3}=0,0083
2. Свердління отв. Ø12 на повну глибину 77	0,52· D·l	0,52·12·77·10^{-3}=0,48
3. Зенкування 2-х фасок 1х45°	0,21· D·l	0,21·12·4·2·10^{-3}=0,0076
4. Нарізання 2 різі М14х1,5 на довжину 12 мм	0,4 · D·l	0,4·14·12·2·10^{-3}=0,134
Сумарні витрати T_O на операції 010		ΣT_O=5,71 хв.

Визначимо сумарний час для отримання однієї деталі:

$$\sum T_O = \sum T_{O005} + \sum T_{O_{010}} = 7,32 + 5,71 = 13,03 \text{ (хв)}$$

Повний цикл обробки на операції 005 виконується за три установа, при цьому одночасно обробляються чотири деталі в кожному установі. На операції 010 обробка проводиться аналогічно операції 005 — чотири деталі обробляються за чотири установки. Маємо:

$$\sum T_{O_{уст.}} = \sum T_O \cdot 4 = 13,03 \cdot 4 = 52,12 \text{ (хв)}$$

6 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

6.1 Розрахунок приведеної програми

Коефіцієнт завантаження верстатів визначається як відношення числа верстатів, задіяних на виконанні конкретної операції, до загальної фактично прийнятої кількості верстатів. Такт виготовлення:

$$t_в = \frac{60 \cdot Ф_д}{1000} = \frac{60 \cdot 4055}{1000} = 243,0 \text{ (хв)}$$

Штучно-калькуляційний час, затрачений на кожній операції:

$$T_{шт-к005} = T_{O005} \cdot 4 \cdot \varphi = 7,32 \cdot 4 \cdot 1,65 = 48,31 \text{ (хв)}$$

$$T_{шт-к010} = T_{O010} \cdot 4 \cdot \varphi = 5,71 \cdot 4 \cdot 1,65 = 37,68 \text{ (хв)}$$

Кількість верстатів на операціях 005 та 010:

$$c_{P005} = \frac{48,31}{243,0} = 0,2 \text{ , } c_{пр005} = 1 \text{ верстат}$$

$$c_{P010} = \frac{37,68}{243,0} = 0,16 \text{ , } c_{пр010} = 1 \text{ верстат}$$

Коефіцієнти завантаження обладнання:

$$\eta_{з005} = \frac{c_р}{c_{пр}} = \frac{0,2}{1} = 0,2 \text{ (20,0\%)}$$

$$\eta_{з010} = \frac{0,16}{1} = 0,16 \text{ (16,0\%)}$$

$$\eta_{з.сер} = \frac{0,2 + 0,16}{1 + 1} = 0,18 \text{ (18,0\%)}$$

Для подальшого ефективного використання верстатів у середньосерійній виробничій ситуації необхідно забезпечити їх завантаження деталями з наявного асортименту.

Щоб уникнути недовантаження обладнання, складається виробнича програма, яка включає групу інших деталей, подібних до основної за геометричною формою, розмірами та технологією обробки.

Першим етапом є визначення коефіцієнтів закріплення операцій, що виконуються на кожному робочому місці.

$$O_{005} = \frac{\eta_{з.н.}}{c_{p\,005}} = \frac{0,8}{0,2} = 4$$

$$O_{010} = \frac{\eta_{з.н.}}{c_{p\,010}} = \frac{0,8}{0,16} = 5$$

Середній коефіцієнт закріплення:

$$\eta_{з.о._{сер}} = \frac{O_{005} + O_{010}}{2} = \frac{4+5}{2} = 4,5$$

Такий показник відповідає умовам великосерійного виробництва, проте з огляду на можливе майбутнє розширення асортименту оброблюваних деталей остаточно приймаємо умови середньосерійного виробництва.

Для спрощення розрахунків у навчальних цілях при складанні приведеної програми обмежимося розглядом лише операції 005. Таким чином:

$$N_{прив_{005}} = \frac{c_{p005} \cdot 60 \cdot F_{д} \cdot \eta_{з.н.}}{T_{шт-к005}} = \frac{0,2 \cdot 60 \cdot 4055 \cdot 0,8}{48,31} = 805 \text{ [дет]}$$

Підбираємо групу деталей виходячи з цієї величини. Дані заносимо в таблицю 6.1

Таблиця 6.1 – Характеристика деталей групи приведення

Найменування деталі	m, кг	N, шт
1. Корпус 1 (задана деталь, вона є представником групи)	2,65	1000
2. Корпус 2	3,0	700
3. Корпус 3	2,5	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.

Таблиця 6.2 – Характеристика деталей групи приведення

Найменування деталі	K_m	K_N	$K_{прив.}$
1. Корпус 1 (представник)	1	1	1
2. Корпус 2	0,98	1,14	1,14
3. Корпус 3	0,97	1,15	1,13

6.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження обладнання

Приведена програма:

$$N_{прив.005} = N_{пр.} + K_{прив.1} \cdot N_{пр.1} + K_{прив.2} \cdot N_{пр.2} = 1000 + 804 + 795 = 2599 \text{ [дет]}$$

Кількість верстатів, які працюють із даною приведеною програмою:

$$c_{P005_{прив}} = \frac{48,31 \cdot 2599}{60 \cdot 4055 \cdot 0,8} = 0,65$$

Приймаємо $c_{P005_{прив}} = 1$ верстат. У випадку розширення номенклатури виробів ще лишається запас.

Коефіцієнт завантаження верстата із даною приведеною програмою:

$$\eta_{з._{005}} = \frac{c_{P005}}{c_{пр005}} = \frac{0,65}{1} = 0,65 \ (65,0\%)$$

Аналогічні розрахунки зробимо для операції 010. Приведена програма:

$$N_{прив_{010}} = \frac{c_{p010} \cdot 60 \cdot F_{д} \cdot \eta_{з.н.}}{T_{шт-к010}} = \frac{0,16 \cdot 60 \cdot 3935 \cdot 0,8}{37,68} = 802 \ [\text{дет}]$$

Значення з таблиць 6.1 та 6.2 залишаємо без змін, тобто такими, як для операції 005. Те саме відноситься і до величини приведеної програми.

Кількість верстатів, що працює із даною приведеною програмою:

$$c_{P010_{прив}} = \frac{37,68 \cdot 2599}{60 \cdot 3935 \cdot 0,8} = 0,52$$

Приймаємо $c_{P010_{прив}} = 1$ верстат. У випадку розширення номенклатури виробів ще лишається запас.

Коефіцієнт завантаження верстата із даною приведеною програмою:

$$\eta_{з._{010}} = \frac{c_{P010}}{c_{пр010}} = \frac{0,52}{1} = 0,52 \ (52,0\%)$$

Середній коефіцієнт завантаження всіх задіяних верстатів:

$$\eta_{з.сер} = \frac{0,65 + 0,52}{1 + 1} = 0,585 \ (58,5\%)$$

6.3 Розрахунок кількості працюючих

Особовий склад працюючих на дільниці механічної обробки затверджуємо наступний: основні та допоміжні робітники, інженерно-технічні робітники, службовці та молодший обслуговуючий персонал.

Кількість основних робітників:

$$P_{верст_{\cdot 005}} = \frac{T_{шт-к_{005}} \cdot N}{\Phi_р \cdot K_M} = \frac{48,31 \cdot 2599}{1860 \cdot 60} = 1,12$$

Для виконання операції 005 потрібно 2 робітники, які будуть працювати у дві робочі зміни.

$$P_{верст_{\cdot 010}} = \frac{T_{шт-к_{010}} \cdot N}{\Phi_р \cdot K_M} = \frac{37,68 \cdot 2599}{1860 \cdot 60} = 0,88$$

Для виконання операції 010 потрібен 1 робітник, який буде працювати у дві робочі зміни.

Кількість допоміжних робітників розраховуємо, як 20-25% від кількості основних робітників відповідно до умов середньосерійного виробництва:

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

Потрібен один робітник, який буде працювати в одну зміну.

Кількість інженерно-технічних робітників розраховуємо, як 18-24% від кількості основних робітників відповідно до умов середньосерійного виробництва:

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

Потрібен один робітник, який буде працювати в одну зміну.

Кількість службовців розраховуємо, як 1,2-2,2% від кількості основних робітників відповідно до умов середньосерійного виробництва:

$$P_{СКП} = 0,02 \cdot 4 = 0,08$$

Потрібен один робітник, який буде працювати в одну зміну.

Кількість молодшого обслуговуючого персоналу розраховуємо, як 1-2% кількості працюючих відповідно до умов середньосерійного виробництва:

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

Потрібен один робітник, який буде працювати в одну зміну.

Отримані результати в 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 ДОСЛІДЖЕННЮ НАСОСА ЗМІННОГО РОБОЧОГО ОБ'ЄМУ З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ПОДАЧІ

7.1. Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи [18]

Оцінимо рівень новизни науково-дослідної роботи за даними таблиці 7.1.

На сьогодні в Україні не виробляються гідроагрегати для електрогідравлічних систем із пропорційним керуванням для мобільних робочих машин, що відповідають сучасним стандартам. Це унеможливлює створення української мобільної техніки без застосування імпортних комплектуючих, вартість яких залишається високою. Проведене дослідження дає змогу організувати виробництво широкого спектра мобільних робочих машин різного призначення — навантажувачів, екскаваторів, бурильних машин, сільськогосподарських тракторів і комбайнів. Рівень новизни роботи оцінюється як відносно високий, показник ступеня новизни $K_{нов} = 30$.

Рівень теоретичного опрацювання роботи визначається аналізом впливу конструктивних параметрів створеного регулятора насоса змінного об'єму на роботу гідросистеми та формулюванням практичних рекомендацій. Показник теоретичного опрацювання становить $K_{теор} = 20$.

Проведемо розрахунок показника, що відображає ступінь новизни:

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

Ступінь новизни даної науково-дослідної роботи складає $E_{нау} = 26$ і вважається достатнім.

7.2. Оцінка комерційного потенціалу науково-технічної розробки [19]

Оцінка науково-технічного рівня розробки та комерційного потенціалу регулятора насоса проведена на основі результатів опитування експертів, які охоплюють різні напрями діяльності підприємства з виробництва та реалізації продукції. Для оцінювання використано критерії, наведені у таблиці 7.1. Подальші розрахунки ефективності впровадження результатів науково-дослідної роботи виконані згідно з обраною методикою.

Таблиця 7.1 – Критерії оцінювання експертами комерційного потенціалу

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не встановлено	Концепція підтверджена висновками експертів	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Роботоздатність продукту підтверджена в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на невеликому ринку	Мало аналогів на невеликому ринку	Декілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно перевищує ціни аналогів	Ціна продукту трохи вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно відповідає цінам аналогів	Ціна продукту трохи нижча за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижча за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі характеристики продукту значно гірші за аналогічні показники конкурентів	Технічні та споживчі характеристики продукту трохи гірші за аналогічні показники конкурентів	Технічні та споживчі характеристики продукту відповідають аналогам	Технічні та споживчі характеристики продукту трохи кращі за аналогічні показники конкурентів	Технічні та споживчі характеристики продукту значно кращі за аналогічні показники конкурентів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж у аналогів	Експлуатаційні витрати трохи вищі, ніж у аналогів	Експлуатаційні витрати відповідають аналогам	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж у аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж у аналогів
6	Ринок невеликий і не демонструє позитивної динаміки	Ринок невеликий, але з позитивною динамікою	Середній ринок із позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок із 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 залучати фахівців або витрачати значні кошти і час на навчання наявних спеціалістів	Потрібне незначне навчання фахівців та розширення штату	Потрібне незначне навчання фахівців	Є фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, яких немає	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
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні доступні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно застосовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більше 10 років	Термін реалізації ідеї більше 5 років, термін окупності інвестицій більше 10 років	Термін реалізації від 3 до 5 років, термін окупності інвестицій більше 5 років	Термін реалізації ідеї менше 3 років, термін окупності інвестицій від 3 до 5 років	Термін реалізації ідеї менше 3 років, термін окупності інвестицій менше 3 років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозволів на виробництво і реалізацію	Необхідне отримання великої кількості дозволів на виробництво і реалізацію продукту, що потребує значних коштів і часу	Процедура отримання дозволів на виробництво та реалізацію продукту вимагає незначних коштів і часу	Необхідно лише повідомлення відповідним органам про виробництво і реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Для оцінки комерційного потенціалу розробки були залучені експерти: головний технолог, головний конструктор та керівник відділу збуту підприємства «Гідросила» з міста Кропивницький. Результати їхньої оцінки наведено в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 - Оцінка комерційного потенціалу запропонованої розробки

Критерії	Посада експерта		
	1. Головний технолог	2. Головний конструктор	3. Керівник відділу збуду
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	2	2
2	3	2	3
3	2	3	2
4	3	3	3
5	4	4	3
6	4	2	3
7	3	3	3
8	4	3	3
9	2	2	3
10	3	3	2
11	4	3	3
12	3	2	3
Сума балів	37	32	33
Середньоарифметична сума балів	$СБ = \frac{37+32+33}{3} = 34$		

Оцінка рівня комерційного потенціалу розробки оцінюється за даними, які наведені 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 оцінюється як вище середнього.

Рівень розробки та комерційний потенціал визначаються перевагами, які отримує техніка з такими гідросистемами. До основних переваг належать: суттєве зменшення витрат пального при виконанні аналогічних видів і обсягів робіт; зниження навантаження на робочі органи машини та подовження їх ресурсу експлуатації; підвищення якості виконання робіт завдяки можливості регулювання швидкості руху робочих органів у широких межах; поліпшення умов праці оператора завдяки застосуванню пропорційного керування насосом із розробленим електрогідравлічним регулятором.

7.3. Визначення витрат на науково-дослідну роботу

Загальна вартість проведення цієї науково-дослідної роботи визначається як сумарна величина витрат за усіма статтями. Далі розглянемо детально витрати за кожною статтею окремо.

7.3.1 Заробітна плата персоналу

Заробітна плата складається з двох частин - основної та додаткової. Рівень заробітної плати виконавців дослідження прописаний з урахуванням мінімальної заробітної плати в країні, що становить 8000 грн з 1 квітня 2024 року.

Основна заробітна плата виконавців наведено в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Визначення основної заробітної оплати виконавців проєкту

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	15000	681,8	40	27272,5	Роботи з програмними продуктами
2. Старший науковий співробітник	19000	863,6	40	34544,0	Керівник проекту

3. Інженер	12000	545,5	40	21818,2	Роботи на випробувальному стенді
Всього				83634,7	

Додаткова заробітна плата обраховується за формулою:

$$З_д = (0{,}1...0{,}12) \cdot З_о = 0{,}11 \cdot 83634{,}7 = 9199{,}82 \text{ грн}$$

Виплати на заробітну плату виконавців обраховується за формулою:

$$Н_{зп} = (З_о + З_д) \cdot \frac{\beta}{100} = (83634{,}7 + 9199{,}82) \cdot \frac{22}{100} = 20423{,}6 \text{ [грн]}$$

7.3.2 Витрати на матеріали для проведення науково-дослідної роботи

У процесі виконання роботи використовувався канцелярський папір формату А4 та інші канцелярські товари. Потреба у папері склала 2 пачки по 500 аркушів. Вартість канцелярських товарів прийнята на рівні 50 % від вартості паперу.

$$М = \sum_1^n Н_i \cdot Ц_i \cdot К_i = 2 \cdot 200 \cdot 1{,}1 + 0{,}5 \cdot 2 \cdot 200 \cdot 1{,}1 = 440 + 220 = 660 \text{ [грн]}$$

7.3.3 Спеціальне устаткування та програмне забезпечення

У процесі виконання роботи були задіяні наступні засоби та обладнання: стенд на якому проводились дослідження та випробування гідроапаратури; персональний комп’ютер Dell вартістю 19 400 грн; пропорційний електромагніт вартістю 10 000 грн; аналого-цифровий перетворювач вартістю 11 990 грн; контролер Arduino Mega вартістю 2 990 грн; багатофункціональний пристрій Canon вартістю 8 900 грн.

Витрати на обладнання:

$$K = \sum_1^n H_i \cdot Ц_i \cdot K_i = (19400 + 10000 + 11990 + 2990 + 8900) \cdot 1 \cdot 1{,}1 =$$

$$= 47577 \cdot 1 \cdot 1{,}1 = 58608 \text{ [грн]}$$

В процесі роботи використовувалось програмне забезпечення:

- операційна система Windows 10 вартістю 3900 грн ($Ц_1$);
- програмний пакет Office 2021 Professional вартістю 3600 грн ($Ц_2$);
- програмне забезпечення до АЦП. Входить в комплект АЦП, тому вартість не враховується;
- програмне забезпечення Arduino IDE. Входить в комплект контролера, тому вартість не враховується.

Вартість програмного забезпечення:

$$B_{пр} = \sum_1^к Ц_i + C_i + K_i = (3900 + 3600) \cdot 1 \cdot 1{,}1 = 8250 \text{ [грн]}$$

Загальна балансова вартість устаткування та програмного забезпечення дорівнює $Ц = 58608 + 8250 = 66858$ грн.

Амортизація комп'ютерної техніки і програмного забезпечення:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12} = \frac{66858 \cdot 25}{100} \cdot \frac{2}{12} = 2785{,}75 \text{ [грн]}$$

7.3.4 Розрахунок електроенергії для науково-дослідної роботи

Розрахуємо актуальне значення тарифу на електроенергію для непобутових споживачів (промислових підприємств) за даними Вінницяобленерго:

$$Ц_e = (Ц_{опт} + Ц_{розп} + Ц_{пост}) \cdot (1 + \frac{ПДВ}{100\%}) = (6{,}49 + 0{,}344 + 0{,}528) \cdot$$

$$\cdot (1 + \frac{20}{100}) = 8{,}83 \text{ [грн/кВт·год]}$$

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

Витрати на електроенергію:

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

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

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 включають витрати керівника, молодшого наукового співробітника та інженера:

$$B_{св} = (З_о + З_д) \cdot \frac{H_{св}}{100\%} = (83634,7 + 9199,82) \cdot \frac{5}{100} = 4641,7 \text{ [грн]}$$

Витрати на оплату послуг сторонніх організацій:

$$B_{сп} = (З_о + З_д) \cdot \frac{H_{сп}}{100\%} = (83634,7 + 9199,82) \cdot \frac{10}{100} = 9283,4 \text{ [грн]}$$

Витати, які не враховані в попередніх статтях витрат:

$$I_в = (З_о + З_д) \cdot \frac{H_{ів}}{100\%} = (83634,7 + 9199,82) \cdot \frac{15}{100} = 13925,2 \text{ [грн]}$$

Накладні загальновиробничі витрати:

$$B_{нзв} = (З_о + З_д) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%} = (83634,7 + 9199,82) \cdot \frac{100}{100} = 92834,52 \text{ грн.}$$

7.3.6 Витрати на проведення науково-дослідної роботи

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

$$B_{заг} = З_о + З_д + H_{зп} + M + K + B_{прг} + A + B_е + B_{св} + B_{сп} + I_в + B_{нзв} =$$
$$= 83634,7 + 9199,82 + 20423,6 + 660 + 58608 + 8250 + 2785,75 + 8322,3 +$$
$$+4641,7 + 9283,4 + 13925,2 + 92834,52 = 312577,99 \text{ [грн]}$$

Загальні роботи на завершення науково-дослідної роботи:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta} = \frac{312577,99}{0,2} = 1562889,95$$

За результатами виконаної роботи розроблено повний комплект конструкторської документації на електрогідравлічний регулятор для гідросистем робочих машин. Запропонований регулятор відзначається покращеними технічними

характеристиками порівняно з існуючими аналогами. Він забезпечує створення гідросистем, чутливих до навантаження в мобільних робочих машинах, що дозволяє регулювати швидкість руху робочих органів у ширших діапазонах і, відповідно, підвищує якість виконання робіт. Крім того, застосування електрогідравлічного регулятора зменшує непродуктивні втрати потужності під час роботи, що в результаті забезпечує значну економію пального.

7.4. Розрахунок економічної ефективності науково-дослідної роботи

Оцінюємо очікуване зростання чистого прибутку інвестора протягом трьох років від впровадження мобільних машин з модернізованими гідросистемами. Розрахунок для 2025 року ведеться за формулою:

$$\Delta П_1 = (\Delta Ц_o \cdot N + Ц_o \cdot \Delta N) \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - \frac{\theta}{100}) = (7{,}1 \cdot 3000 + 28{,}3 \cdot 300) \cdot 0{,}8333 \cdot$$

$$\cdot 0{,}4 \cdot (1 - \frac{18}{100}) = 8142{,}2 \text{ [тис. грн]}$$

Результати розрахунку орієнтовного чистого прибутку інвестора за 2026–2028 роки наведені в таблиці 7.7. При визначенні ціни реалізації насосів та витрат на їх виготовлення на підприємстві «Гідросила» (м. Кропивницький) було використано інформацію з веб-сайтів, що містять дані про аналогічну продукцію станом на 01.12.2025 р.

Таблиця 7.7 – Чистий прибуток інвестора на 2026 – 2028 роки

Показник	Назва, одиниці виміру	2026	2027	2028
$\Delta Ц_0$	Зміна ціни реалізації машини, тис грн	7,1	8,1	9,3
N	Величина попиту на машини, шт	3000	3300	3600
$Ц_0$	Ціна реалізації нової машини, тис грн	28,3	32,5	37,4
ΔN	Зростання попиту на нові машини, шт	300	350	400
ΔП	Збільшення чистого прибутку у інвестора, тис грн	8132,7	10415,0	13239,7

Приведена вартість збільшення чистих прибутків, що може отримати інвестор:

$$ПП = \sum_{1}^{T} \frac{\Delta П_i}{(1+\tau)^2} = \frac{8132,7 + 10415 + 13239,7}{(1+0,1)^3} = 23882,3 \text{ [тис. грн]}$$

Первісні інвестиції для реалізації і комерціалізації розробки:

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

Абсолютний економічний ефект для інвестора:

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

Внутрішня економічна дохідність інвестицій:

$$E_в = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 = \sqrt[3]{1 + \frac{20970,3}{2912}} - 1 = 2,017 - 1 = 1,017$$

Розраховане значення $E_в$ порівнюється з мінімальною ставкою дисконтування $\tau_{мін}$, , яка визначає мінімально прийнятну дохідність, нижче якої інвестиції вважаються недоцільними. Загалом, мінімальна ставка дисконтування $\tau_{мін}$ визначається:

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

Оскільки:

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

Інвестор має можливість впровадити розробку та вивести її на ринок. Період окупності інвестицій:

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

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

Висновки:

1. У ході науково-дослідної роботи створено електрогідравлічний регулятор для регульованого насоса. Використання такого насоса дозволяє зменшити енергетичні втрати, регулювати швидкість руху робочих органів машини, підвищує якість виконуваних робіт та знижує динамічні навантаження на робочі органи, що подовжує термін служби машини;

2. Оціночна вартість науково-дослідної роботи, пов’язаної з розробкою електрогідравлічного регулятора насоса, становить 1456,4 тис. грн.;

3. Витрати на впровадження розробки у виробництво складають 2912 тис. грн.;

4. Інвестор може отримати економічну вигоду від реалізації проекту у розмірі 20 970,3 тис. грн протягом 2026–2028 років, вклавши інвестиції в сумі 2912,0 тис. грн.;

5. Період окупності витрат становить менше одного року, що підкреслює вигідність та 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.

У результаті проведених досліджень підтверджено, що гідросистема, побудована на базі насоса змінного робочого об'єму з електрогідравлічним регулятором, забезпечує стабільне та пропорційне керування подачею робочої рідини. Отримані експериментальні результати свідчать про відповідність системи встановленим вимогам до точності, швидкодії та енергоефективності.

У результаті виконаних досліджень отримано такі основні результати:

- встановлено, що похибка стабілізації величини подачі насоса $A_{ст}$ не перевищує 7%, що підтверджує достатню точність роботи системи керування;
- виявлено, що відхилення лінійної залежності частоти обертання вала гідромотора від напруги керування $U_{кер}$ становить $\delta \leq 15\,\%$;
- визначено, що різниця тисків p_n та p_1 у гідравлічній системі не перевищує величину 2,0 МПа;
- встановлено, що час перехідного процесу за тиском p_n при зростанні навантаження не перевищує $t_p = 0{,}8$ с, а час перехідного процесу за тиском p_n при зменшенні навантаження не перевищує $t_p = 0{,}6$ с;
- підтверджено, що величина перерегулювання σ не перевищує $\sigma \leq 64\,\%$;
- визначено, що втрати потужності в системі керування P_y не перевищують $P_y \leq 1{,}479$ кВт.

Отже, розроблена гідросистема з електрогідравлічним регулятором демонструє високі показники точності та динамічності, що підтверджує її придатність для застосування у складі мобільних робочих машин.

Під час проектування дослідного зразка електрогідравлічного регулятора було обрано середньосерійне виробництво, що дозволило провести детальний аналіз технологічності та отримати необхідні показники для підтвердження можливості виготовлення деталі. Після оцінки різних варіантів виготовлення заготовки, оптимальним визнано варіант із використанням квадратного гарячекатаного прутка, який забезпечує ефективне використання матеріалів та високу точність.

Розробка технологічного процесу механічної обробки включала аналіз існуючих методів обробки аналогічних деталей. Було створено маршрут механічної обробки деталі «Корпус електрогідравлічного регулятора», визначено необхідні операції та схеми базування. Виконано розмірний аналіз, включно зі складанням схем технологічного процесу, розрахунком мінімальних припусків та застосуванням рівнянь для забезпечення точності виготовлення.

Додатково визначено режими різання, норми часу на обробку та підібрано відповідне обладнання й інструменти. Проведено розрахунки виробничих параметрів, зокрема кількості обладнання, коефіцієнта його завантаження та чисельності персоналу для роботи на дільниці.

В економічній частині здійснено аудит науково-дослідної роботи, оцінку науково-технічного рівня розробки електрогідравлічного регулятора та його комерційного потенціалу. Окрім того, визначено витрати на виконання науково-дослідних робіт і проведено розрахунок економічної ефективності впровадження розробки у виробництво.

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. Volodymyr V. Bogachuk Influence of electrohydraulic controller parameters on the dynamic characteristics of a hydrosystem with adjustable pump / Volodymyr V. Bogachuk, Leonid H. Kozlov, Artem O. Tovkach, Valerii M. Badakh, Taras V. Tarasenko, Yevhenii O. Kobylianskyi, Zbigniew Omiotek, Gauhar Borankulova, Aigul Tungatarova // Collective Monograph: “Mechatronic Systems 1: Applications in Transport, Logistics, Diagnostics, and Control, pp. 267–278”, 1st Edition

// Leonid K. Polischuk, Waldamar Wojcik. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book, 2021 – 420 P.

7. Товкач А.О., Козлов Л.Г., Ковальчук В.А., Папушой О.В. «Стійкість гідропривода на основі насоса змінної продуктивності з електрогідравлічним регулятором» в матеріалах XXV Міжнародної науково-технічної конференції АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика», Київ, Державний університет «Київський авіаційний інститут», 2025. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://ggs.nau.edu.ua/ahps2025/

8. 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.

9. Дерібо О.В., Дусанюк Ж.П., Пурдик В.П. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013.-123с.

10. Дерібо О.В. Основи технології машинобудування. Частина 1: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2015.-112 с.

11. Дерібо О.В., Дусанюк Ж.П., Сухоруков С.І. Основи технології машинобудування. Частина 2: практикум. Вінниця: ВНТУ, 2015.-116 с.

12. Дусанюк Ж.П. Посібник до практичних занять з дисципліни «Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні»: посібник. Вінниця: ВНТУ, 2011.-143 с.

13. Руденко П. А., Харламов Ю. А., Плескач В. М. Проектування та виготовлення заготовок в машинобудуванні: посібник. Київ: Вища школа, 1999 – 247 с.

14. Рудь В.Д. Курсове проектування з технології машинобудування: навчальний посібник: посібник. Київ: ІСДО, 1996. – 300 с.

15. ДСТУ 4746:2007. Прокат сортовий сталевий гарячекатаний квадратний.

16. ДСТУ 4747:2007. Прокат сортовий сталевий горячекатаний штабовий.

17. Іванов М. І. Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування : навчальний посібник. Вінниця: Глобус-Прес, 2011. – 200 с.

18. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В.О. Козловський. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.

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

Додаток А

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Додаток А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: *Дослідження насоса змінного робочого об'єму з електрогідравлічним регулятором подачі*

Тип роботи: _____ *магістерська кваліфікаційна робота* _____

(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ _____*кафедра ТАМ*_____

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КП1) 26,28%

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту.

☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

☐ У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

_____Ольга СЕРДЮК_____ _____
(прізвище, ініціали, посада) (підпис)

_____Леонід КОЗЛОВ_____ _____
(прізвище, ініціали, посада) (підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____ _____Ольга СЕРДЮК
(підпис) (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____ _____Леонід КОЗЛОВ_____
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____ _____Олексій ПАПУШОЙ_____
(підпис) (прізвище, ініціали)

Додаток Б

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

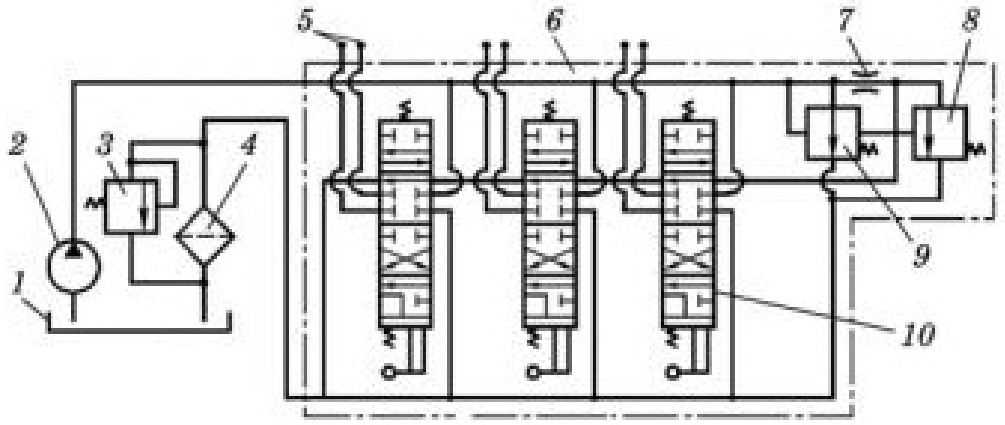


Рис. 1 - Принципова схема гідравлічної системи трактора

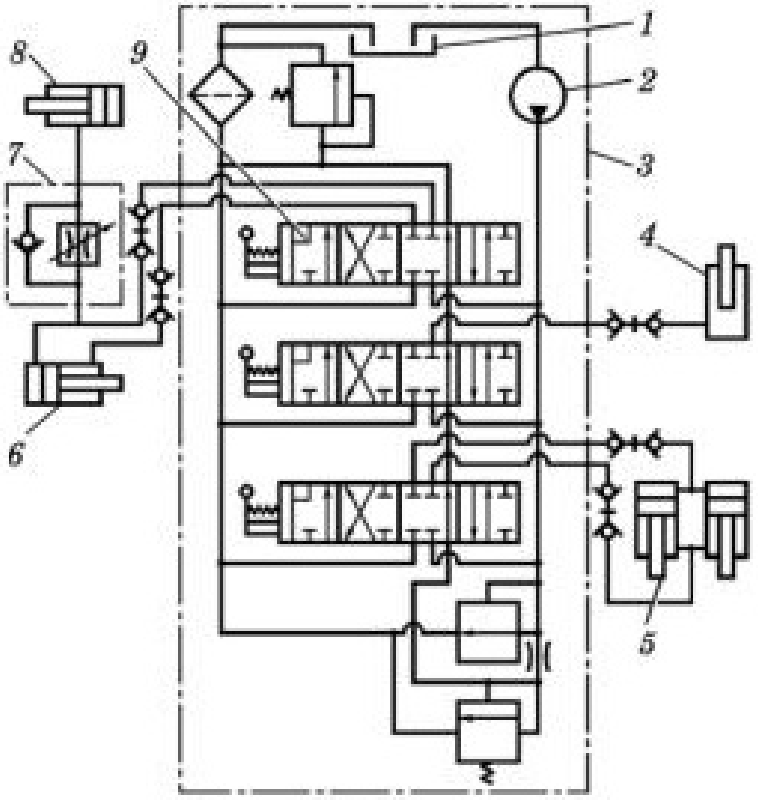
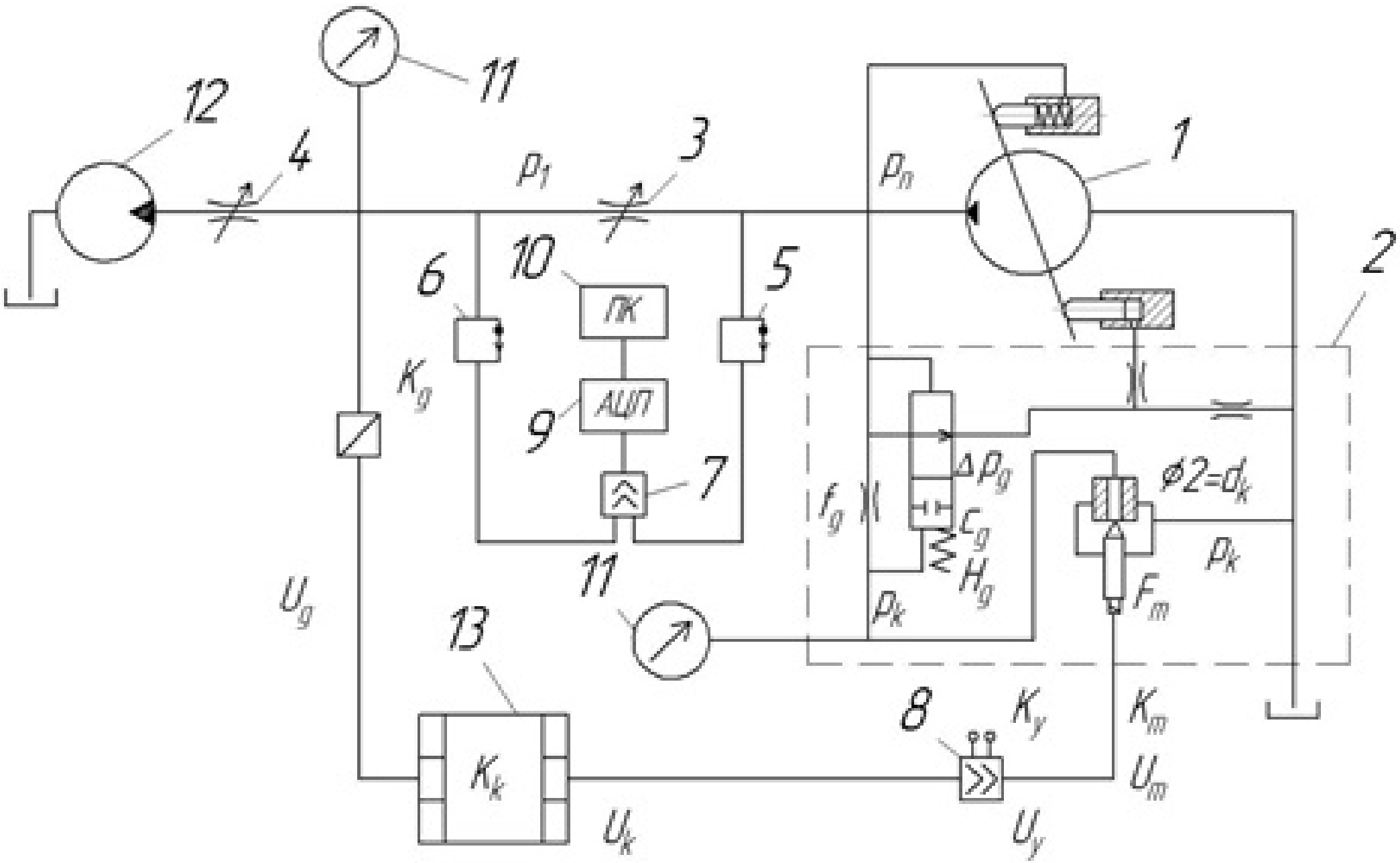
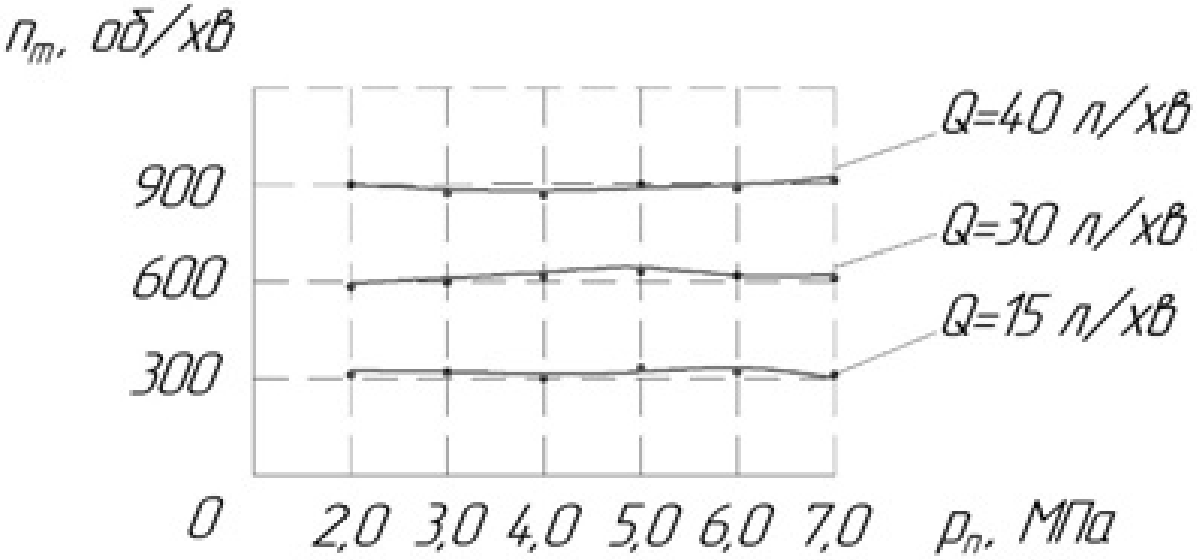
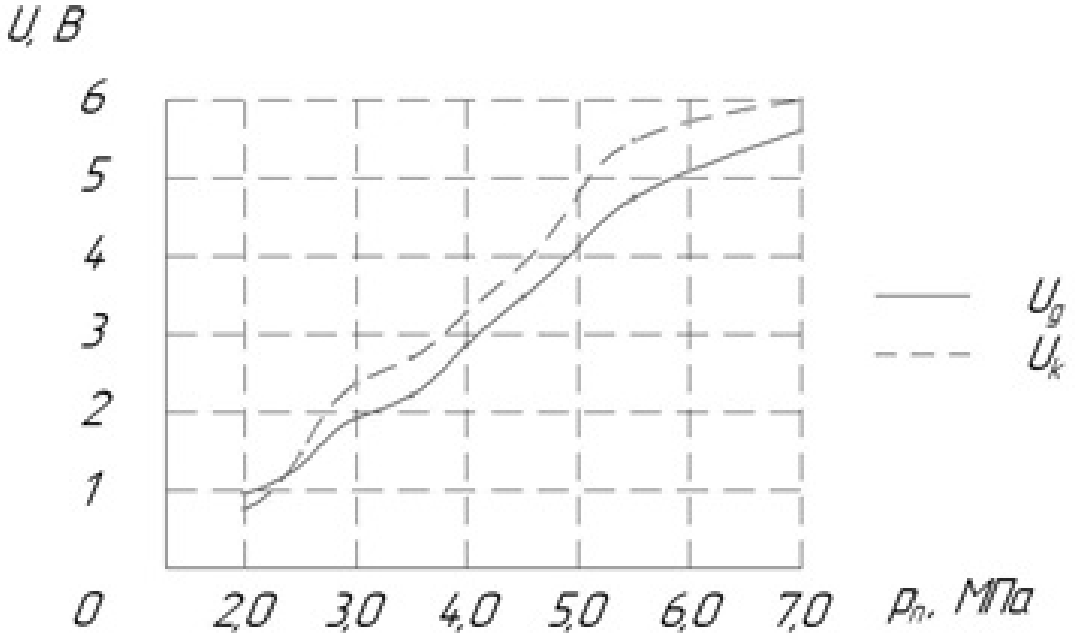


Рис. 2 - Принципова схема гідравлічної системи коренезбиральної машини типу МКК-6

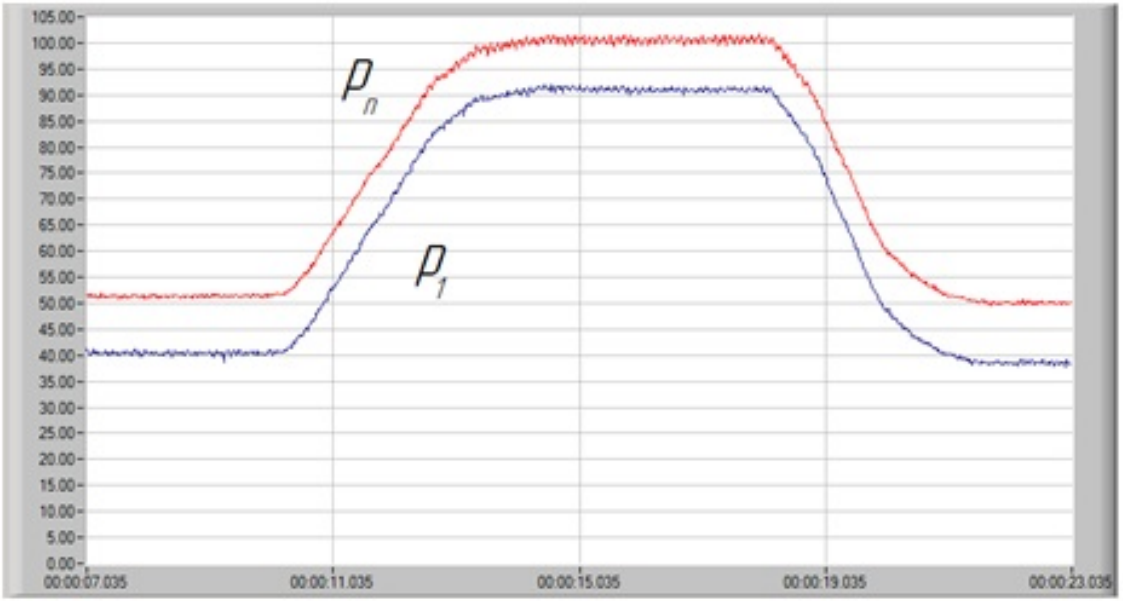

12
11
4
3
p_1
$p_п$
1
2
6
10
ПК
5
K_g
9
АЦП
7
Δp_g
f_g
c_g
H_g
$\varnothing 2 = d_k$
p_k
F_m
11
U_g
13
K_k
8
K_y
K_m
U_m
U_k
U_y



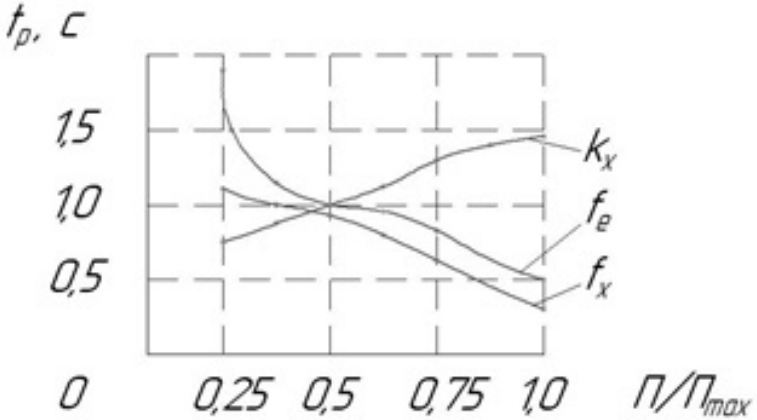
Графік залежності частоти обертання вала гідромотора від тиску p_n в гідролінії



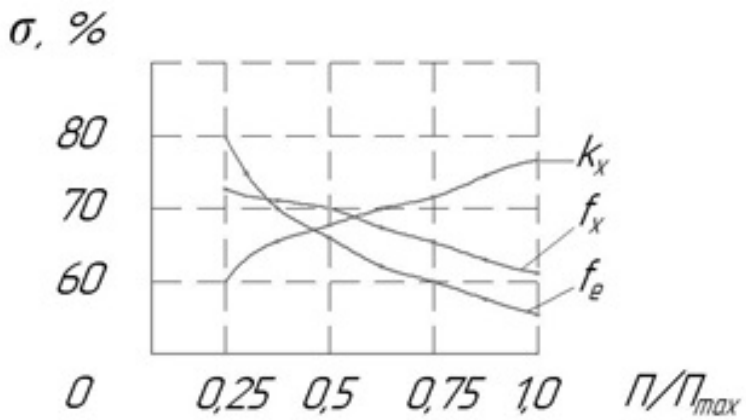
Графік залежності величин напруги U_g та напруги U_k від величини тиску p_n в гідролінії



Осцилограма робочого процесу гідросистеми



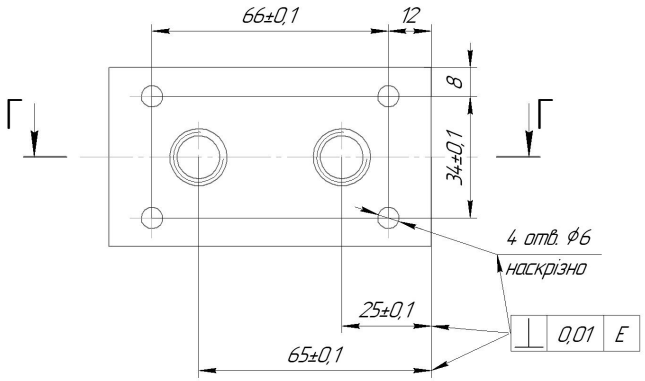
Вплив параметрів на час регулювання t_p

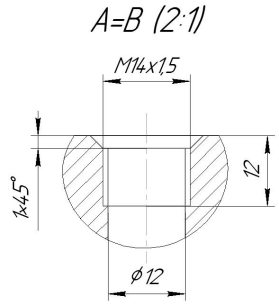


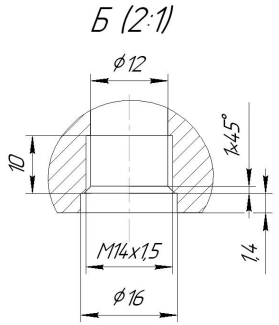
Вплив параметрів на величину перерегулювання σ

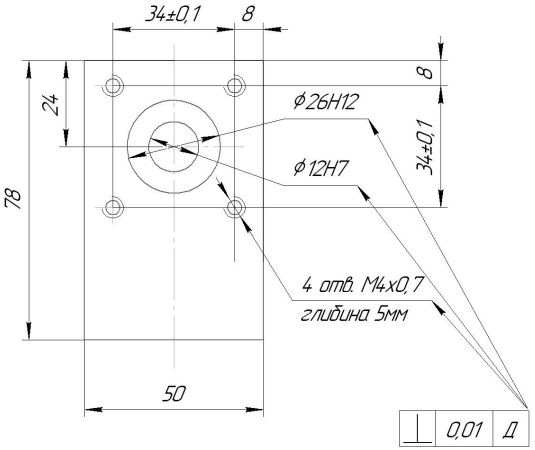
МКР.08-64.014.00.001

Ra 3,2 (√)

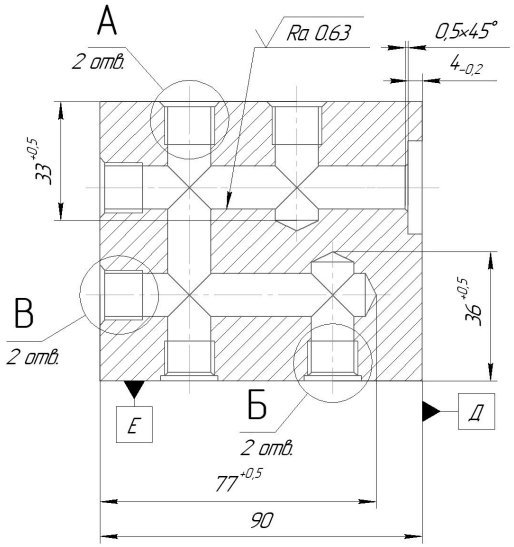


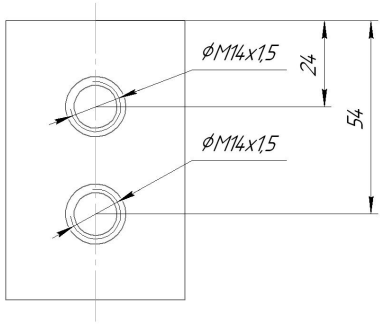


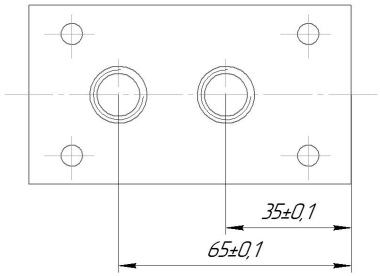




Г–Г







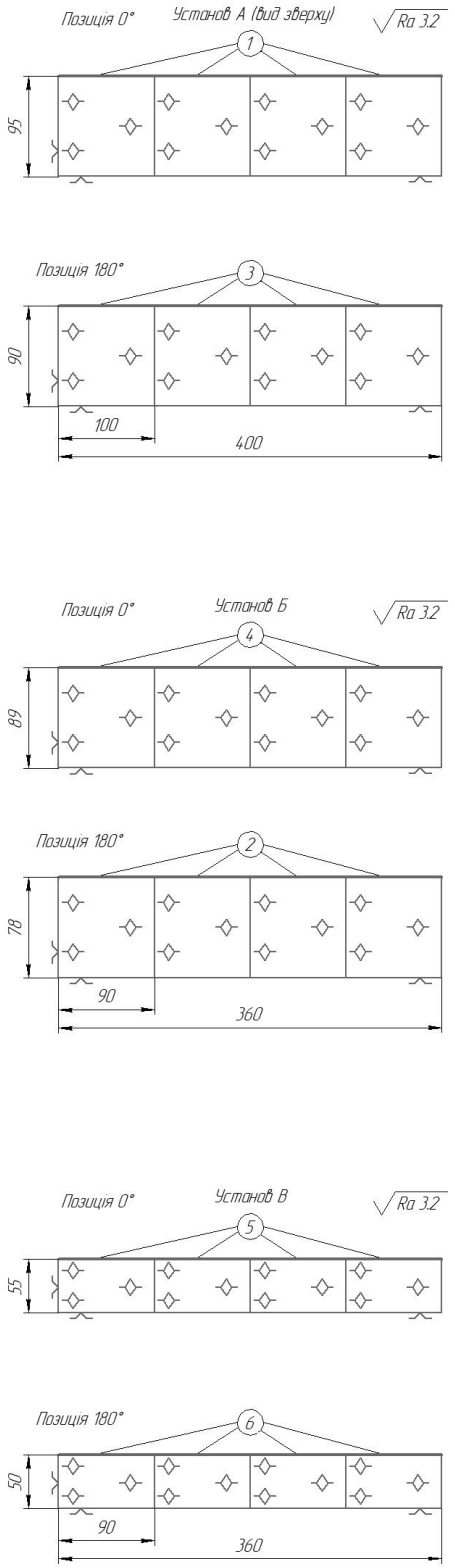
1. Неперпендикулярність осі отв. ⌀26H12, отв. ⌀12H7, 4 отв. M4x0,7 площині "Д" в межах 0,01 мм.
2. Кромки 4-х отв. ⌀6 з двох боків притупити фаскою 0,5x45°.
3. Неперпендикулярність осей 2 отв. ⌀12, 4 отв. ⌀6 площині "Е" в межах 0,01 мм.
4. Всі зовнішні грані деталі повинні мати шорсткість Ra=3,2 мкм.
5. Забезпечити паралельність протилежних граней між собою в межах 0,05 мм.
6. Невказані граничні відхилення розмірів валів h14, отворів H14 та інші $\pm\frac{IT14}{2}$.
7. Гострі кромки притупити.

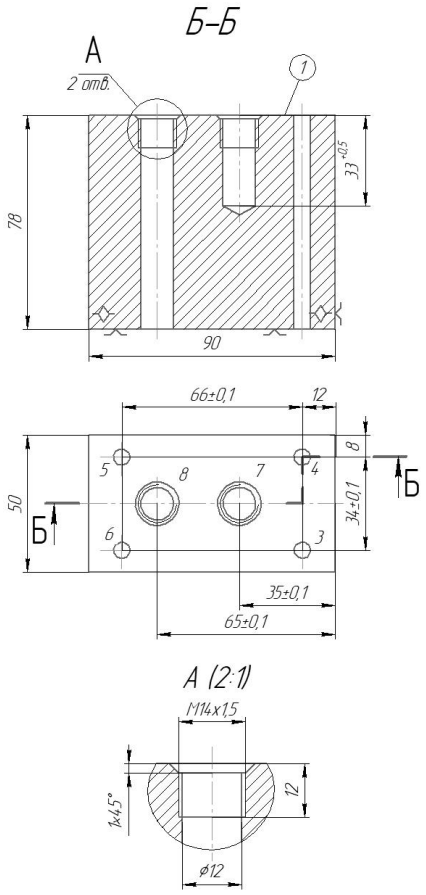
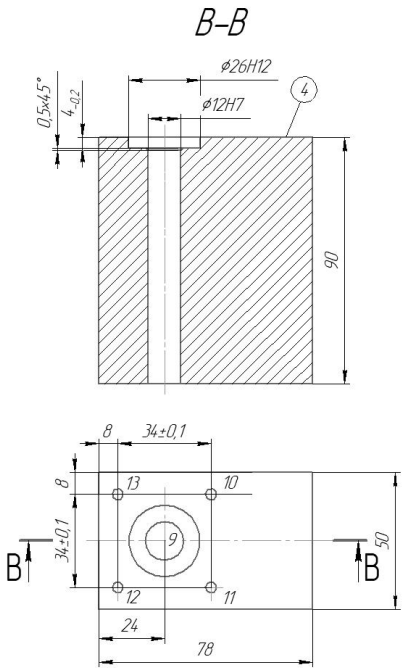
					МКР.08-64.014.00.001			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Корпус електрогідравлічного регулятора	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Папушой О. В.		01.12.			2,65	1:1
Пров.		Козлов Л. Г.		01.12.		Лист	Листов 1	
Т.контр.								
Н.контр.		Сердюк О. В.		02.12.	сЛ00 ДСТУ 4746:2007	ВНТУ, ст. гр. 1ПМ-24м		
Утв.		Козлов Л. Г.		02.12.	Сталь 45 ДСТУ 7809:2015			

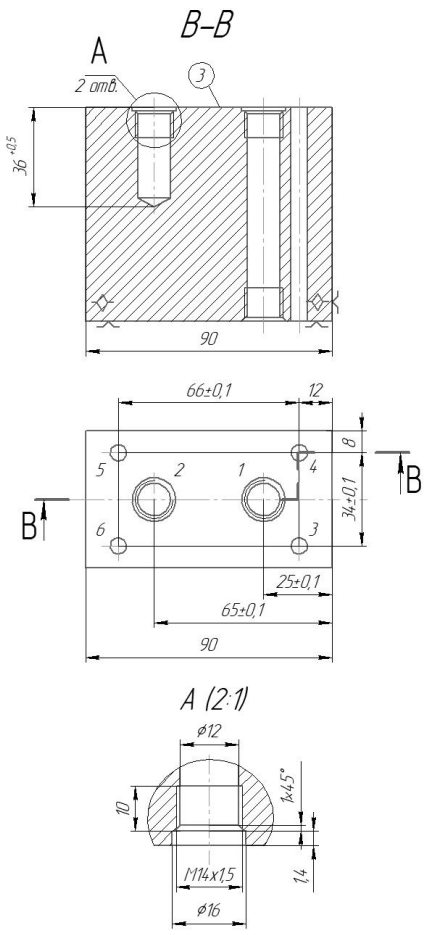
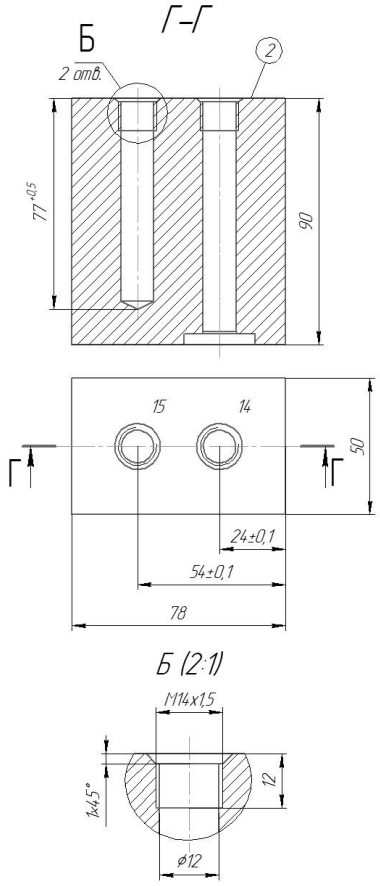
Копировал

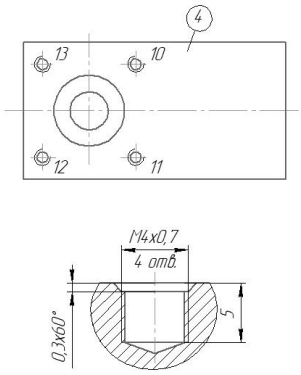
Формат А2

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

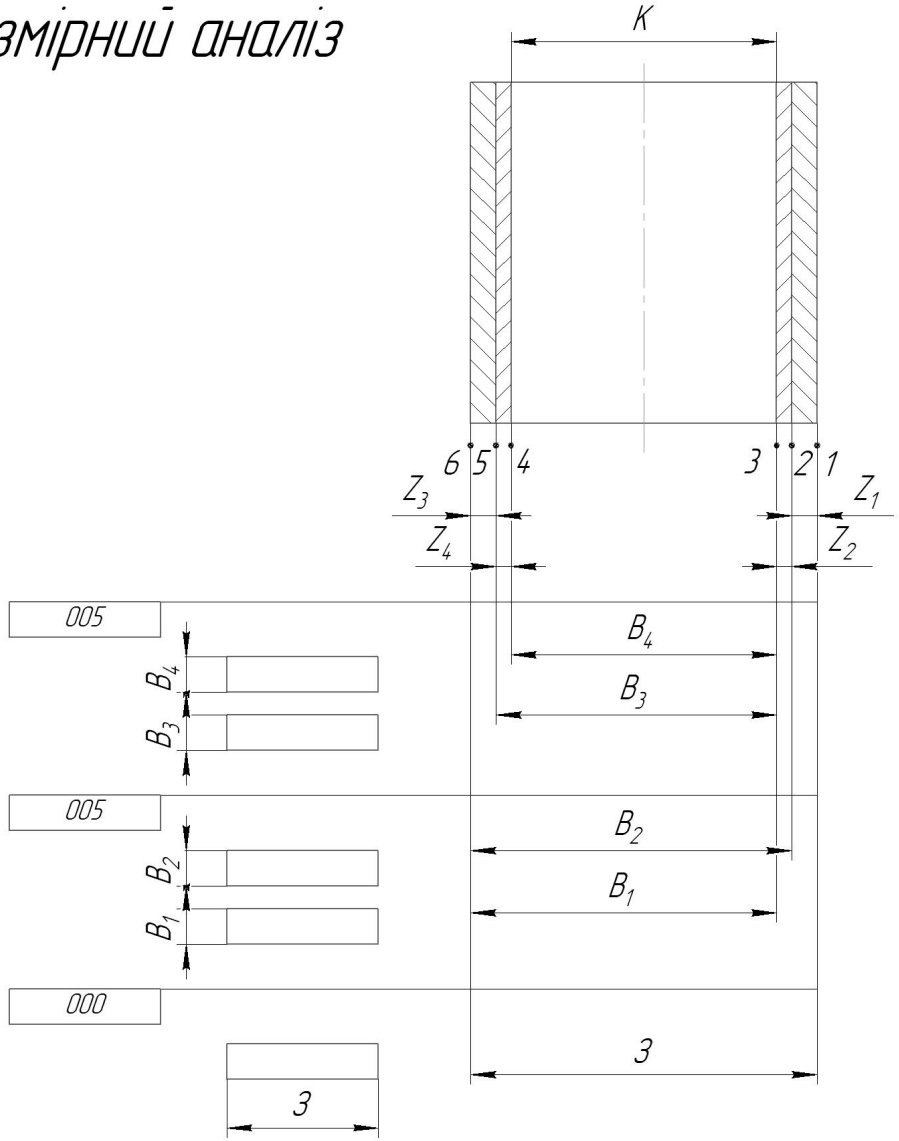
№	Номер,назва і зміст операції	Схема установи і обробки	Обладнання
005	Фрезерна Установ А, позиція 0° 1. Фрезерувати попередньо пов. 1 заготовок 2. Фрезерувати попередньо пов. 1 заготовок 3. Фрезерувати остаточно пов. 1 заготовок 4. Повернути пристосування на 180° Установ А, позиція 180° 5. Фрезерувати попередньо пов. 3 заготовок 6. Фрезерувати попередньо пов. 3 заготовок 7. Фрезерувати остаточно пов. 3 заготовок 8. Перевстановити заготовки Установ Б, позиція 0° 1. Фрезерувати попередньо пов. 4 заготовок 2. Фрезерувати попередньо пов. 4 заготовок 3. Фрезерувати остаточно пов. 4 заготовок 4. Повернути пристосування на 180° Установ Б, позиція 180° 5. Фрезерувати попередньо пов. 2 заготовок 6. Фрезерувати попередньо пов. 2 заготовок 7. Фрезерувати остаточно пов. 2 заготовок 8. Перевстановити заготовки Установ В, позиція 0° 1. Фрезерувати попередньо пов. 5 заготовок 2. Фрезерувати попередньо пов. 5 заготовок 3. Фрезерувати остаточно пов. 5 заготовок 4. Повернути пристосування на 180° Установ В, позиція 180° 5. Фрезерувати попередньо пов. 6 заготовок 6. Фрезерувати попередньо пов. 6 заготовок 7. Фрезерувати остаточно пов. 6 заготовок 8. Зняти заготовки		Фрезерний верстат з ЧПК Dominant CNC моделі ADF0808

№	Номер,назва і зміст операції	Схема установи і обробки	Обладнання
010	Багатоцільова з ЧПК Позиції 0°, 90°, 180°, 270° Площина 1 1. Центрувати отв. 7, 8, з дотриманням розмірів по осі симетрії розміру 35±0,1, 65±0,1 2. Свердлити отв. 7, з дотриманням розмірів ⌀12, 35±0,1, $33^{+0,5}$ 3. Свердлити отв. 8 з дотриманням розмірів ⌀12, 65±0,1 наскрізно в режимі глибокого свердління 4. Зенкувати 2 фаски в отв. 7, 8 з дотриманням розміру 1x45° 5. Нарізати різь в отв. 7, 8 з дотриманням розмірів M14x1,5 , 12 мм 6. Центрувати 4 отв. 3, 4, 5, 6 з дотриманням розмірів 12, 8, 66±0,1 та 34±0,1 7. Свердлити 4 отв. 3, 4, 5, 6 наскрізно в режимі глибокого свердління 8. Зенкувати 4 фаски отв. 3, 4, 5, 6 з дотриманням розміру 0,5x45° 9. Перевстановити деталі на поворотному столі		Багатоцільовий верстат з ЧПК мод. 2204ВМФ2
	Площина 4 1. Центрувати отв. 9 з дотриманням розміру 24 мм. по осі симетрії розміру 50 мм 2. Свердлити отв. 9 з дотриманням розміру ⌀11,5 наскрізно в режимі глибокого свердління 3. Зенкувати отв. 9 з дотриманням розміру ⌀11,85 на повну глибину 4. Розгорнути отв. 9 попередньо з дотриманням розміру ⌀11,95 на повну глибину 5. Розгорнути отв. 9 попередньо з дотриманням розміру ⌀12H7 на повну глибину 6. Зенкувати отв. ⌀26H12 з дотриманням розміру $4_{-0,2}$ 7. Зенкувати фаски в отв. 9 з дотриманням розміру 0,5x45° 8. Центрувати отв. 10–13 з дотриманням розмірів 34±0,1 (2 розміри), 8 мм (2 розміри) 9. Свердлити отв. 10–13 з дотриманням розмірів ⌀3,3 на глибину 5 мм 10. Перевстановити деталі на поворотному столі		

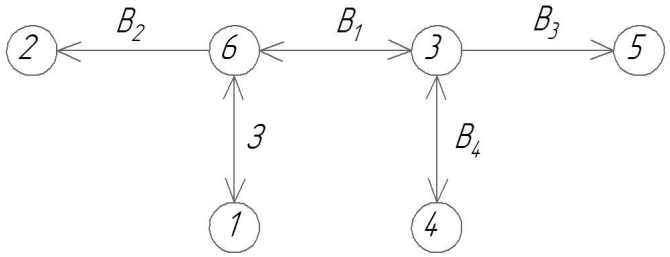
№	Номер,назва і зміст операції	Схема установи і обробки	Обладнання
010	Багатоцільова з ЧПК Позиції 0°, 90°, 180°, 270° Площина 3 1. Центрувати отв. 1, 2 з дотриманням розмірів 25±0,1, 65±0,1 мм осі симетрії розміру 50 мм 2. Свердлити отв. 2 з дотриманням розмірів ⌀12, $36^{+0.5}$ 3. Зенкувати отв. 1, 2 ⌀16 на глибину 1,4 мм 4. Зенкувати фаску у отв. 1, 2 з дотриманням розміру 1x45° 5. Нарізати різь в отв. 1, 2 з дотриманням розмірів M14x1,5 та 10 мм 6. Зенкувати фаску в 3, 4, 5, 6 з дотриманням розміру 0,5x45° 7. Перевстановити деталі на поворотному столі		Багатоцільовий верстат з ЧПК мод. 2204ВМФ2
	Площина 2 1. Центрувати отв. 15 з дотриманням розміру по осі симетрії розміру 54±0,1 2. Свердлити отв. 15 з дотриманням розмірів ⌀12, 54±0,1, $77^{+0.5}$ в режимі глибокого свердління 3. Зенкувати 2 фаски в отв. 14, 15 з дотриманням розміру 1x45° 4. Нарізати різь в отв. 14, 15 з дотриманням розмірів M14x1,5 , 12 мм 5. Знати заготовки з поворотного столу		

№	Номер,назва і зміст операції	Схема установи і обробки	Обладнання
015	Слюсарна Площина 4 1. Розсвердлити фаски 0,3х60° в отв. 10–13 2. Нарізати різі М4х0,7 в отв. 10–13 3. Притупити гострі кромки зовнішніх поверхонь фаскою 1х45°		Слюсарний стіл

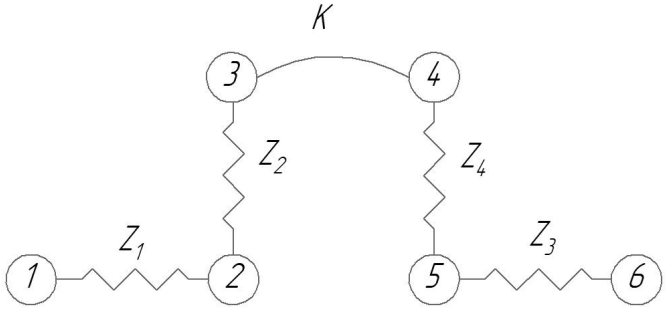
Розмірний аналіз



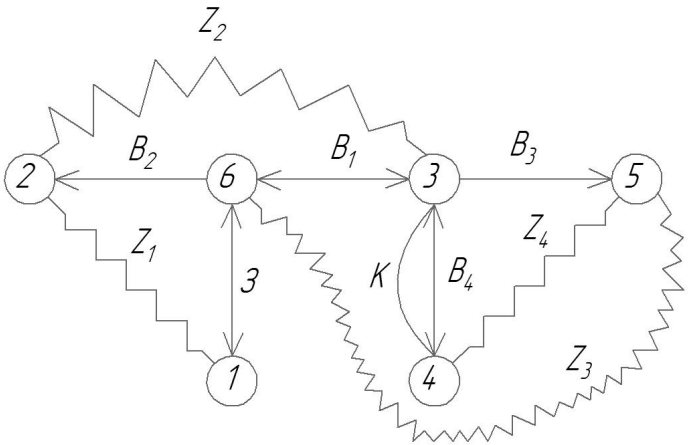
Розмірна схема ТП на операції 005



Похідний граф-дерево

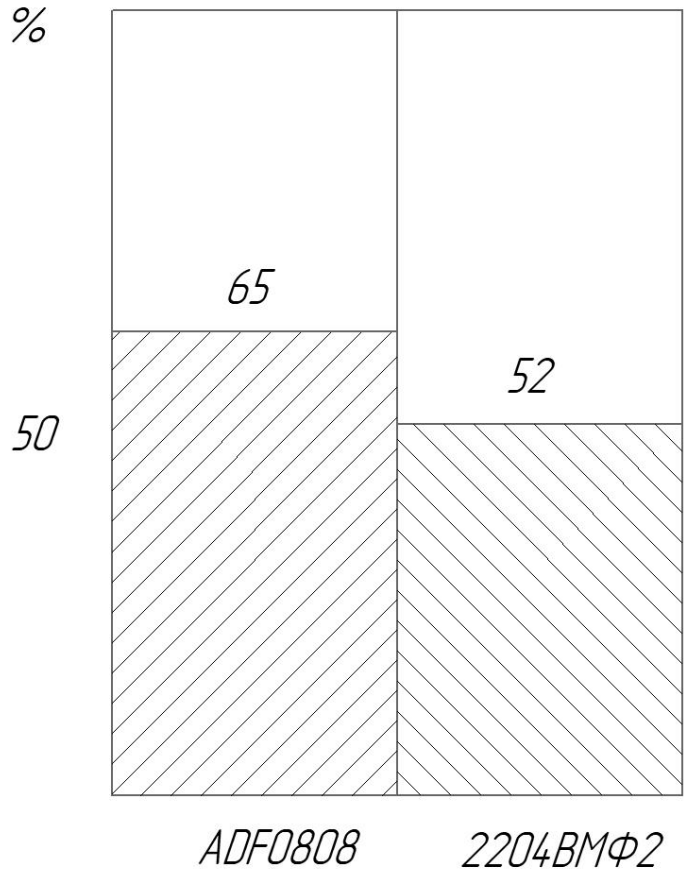


Вихідний граф-дерево



Суміщений граф

Графік завантаження обладнання



Кількість працюючих на дільниці

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.