

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

**Пояснювальна записка**

до магістерської кваліфікаційної роботи  
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»  
на тему:

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ  
ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ГІДРОМУФТИ 12.00.001»

08-26.МКР.007.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, гр. 1ПМ-19м  
спеціальності 131 – Прикладна механіка

Губницький В. Ю. \_\_\_\_\_

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТАМ

Репінський С. В. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ р.

Рецензент: \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ р.

Вінниця ВНТУ – 2020 рік

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень – «Магістр»  
Спеціальність 131 – «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
завідувач кафедри ТАМ  
д.т.н., професор Козлов Л. Г.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Губницькому Владиславу Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи (МКР): Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001»

керівник МКР Репінський Сергій Володимирович, к.т.н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року №\_\_.

2. Строк подання студентом МКР: \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до МКР: креслення деталі «Корпус гідромуфти 12.00.001»; базовий маршрут механічної обробки; річна програма випуску 2000 шт.; довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): анотації; вступ; огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус»; удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001»; математичне моделювання системи керування гідроприводом змішувального барабана автобетонозмішувача; розрахунок елементів дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001»; економічна доцільність удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001»; охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): деталь «Корпус гідромуфти 12.00.001» (A2); корпус (виливок) (A2); маршрут механічної обробки (A1+A2); розмірний аналіз технологічного процесу (A1); карта налагоджень (операція 020) (A1); математичне моделювання системи керування гідроприводом змішувального барабана автобетонозмішувача (6A1); план дільниці механічного цеху (A1); техніко-економічні показники (A1)

## 6. Консультанти розділів МКР

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Репінський С. В., доцент кафедри ТАМ		
Економічна частина	Лесько О. Й., професор кафедри ЕПВМ		
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Віштак І. В., доцент кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження		
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач		
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень		
4	Розв'язання поставлених задач		
5	Формулювання висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів		
6	Виконання розділу «Економічна частина»		
7	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»		
8	Попередній захист МКР		
9	Перевірка роботи на плагіат		
10	Нормоконтроль МКР		
11	Рецензування МКР		
12	Захист МКР		

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Губницький В. Ю.

Керівник МКР

\_\_\_\_\_

(підпис)

Репінський С. В.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	7
ABSTRACT	8
ВСТУП	9
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»	13
1.1 Характеристика об'єкта виробництва	13
1.2 Загальний огляд існуючих технологічних процесів обробки деталі типу «Корпус»	14
1.3 Вибір та критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	16
1.4 Характеристика удосконаленого технологічного процесу	17
1.5 Економічна доцільність розробки удосконаленого технологічного процесу механічної обробки	20
1.6 Висновки	22
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ГІДРОМУФТИ 12.00.001»	23
2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі	23
2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт	26
2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки	30
2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь	40
2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз	43
2.6 Розробка варіантів маршруту механічної обробки удосконаленого технологічного процесу	45
2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат	48

	5
2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу	52
2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів	59
2.10 Призначення режимів різання	65
2.11 Математичне моделювання технологічного процесу та оптимізація режимів різання	68
2.12 Визначення технічних норм часу	68
2.13 Висновки	73
3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІДРОПРИВОДОМ ЗМІШУВАЛЬНОГО БАРАБАНА АВТОБЕТОНОЗМІШУВАЧА	74
3.1 Огляд типових виконань приводу обертання змішувального барабана автобетонозмішувача	74
3.2 Гідромеханічний привід обертання змішувального барабана автобетонозмішувача	77
3.3 Розрахункова схема системи електрогідравлічного керування регульованим АПН	79
3.4 Математична модель системи ЕГК регульованим АПН	80
3.5 Математичне моделювання та розв'язання рівнянь математичної моделі	85
3.6 Динамічні характеристики системи керування регульованого АПН	88
3.7 Висновки	94
4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ГІДРОМУФТИ 12.00.001»	96
4.1 Розрахунок приведеної програми	96
4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження	97
4.3 Побудова графіків завантаження обладнання	99
4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці	100
4.5 Висновки	102
5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ГІДРОМУФТИ 12.00.001»	103

5.1 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001»	103
5.2 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції	108
5.3 Розрахунок ціни реалізації нового виробу	112
5.4 Розрахунок величини чистого прибутку	113
5.5 Оцінювання ефективності інноваційного рішення	114
5.6 Висновки	116
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	117
6.1 Аналіз умов праці	117
6.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	118
6.3 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи	122
6.4 Пожежна безпека	123
6.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях	124
6.6 Висновки	127
ВИСНОВКИ	128
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	130
ДОДАТКИ	134

## АНОТАЦІЯ

Губницький В. Ю. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідromуфти 12.00.001» : магістерська кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістр за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» / В. Ю. Губницький. – Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2020.

Метою роботи є удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідromуфти 12.00.001» на основі використання більш сучасного металорізального обладнання, оснащення, інструменту, що забезпечує зменшення кількості операції, їх концентрацію, а отже меншу кількість верстатів, робітників, площ, що призводить до зниження собівартості обробки, продукції, підвищення продуктивності праці, якості оброблюваних деталей.

Для досягнення поставленої мети проведено огляд технологій виготовлення деталі типу «Корпус»; виконано варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки; розроблено варіанти маршруту механічної обробки деталі типу «Корпус гідromуфти 12.00.001» з використанням сучасних верстатів з ЧПК та вибір кращого з них за мінімумом приведених витрат; проведено розмірно-точнісне моделювання удосконаленого технологічного процесу механічної обробки; визначено режими різання та норми часу; розраховано кількість обладнання та працівників; удосконалено ділянку механічної обробки.

В науковій частині роботи запропоновано схему гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана автобенозмішувача з пропорційною електрогідравлічною системою керування регульованого аксіально-поршневого насоса. Розроблено розрахункову схему та створено математичну модель запропонованої системи керування регульованого насоса. Математична модель може бути використана для визначення статичних та динамічних характеристик.

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

В роботі також розроблено заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

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

## ABSTRACT

Hubnytskyi V. Yu. Improving the technological process of machining the workpiece type «Hydraulic coupling body 12.00.001»: master's qualification work for obtaining the educational qualification level master's degree in specialty 131 «Applied Mechanics» / V. Yu. Hubnytskyi. – Vinnitsia National Technical University. – Vinnitsia, 2020.

The purpose of the work is to improve the technological process of machining the workpiece type «Hydraulic coupling body 12.00.001» based on the use of more modern metal-cutting equipment, tools, tools that reduce the number of operations, their concentration, and therefore fewer machines, workers, areas leads to a decrease in the cost of processing, products, increase productivity, quality of workpieces.

To achieve this goal, a review of the technology of manufacturing parts such as «Housing»; the variant choice and technical and economic substantiation of a way of manufacturing of preparation are executed; variants of the route of mechanical processing of a part of the type «Hydraulic coupling body 12.00.001» with the use of modern CNC machines and selection of the best of them at a minimum of the reduced costs are developed; dimensional and accurate modeling of the advanced technological process of machining; cutting modes and time norms are determined; the number of equipment and employees is calculated; the machining section was improved.

In the scientific part of the work the scheme of the hydromechanical drive of rotation of the mixing drum of the truck mixer with the proportional electrohydraulic control system of the regulated axial-piston pump is offered. The calculation scheme is developed and the mathematical model of the offered control system of the regulated pump is created. A mathematical model can be used to determine static and dynamic characteristics.

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

The work also develops measures for labor protection and safety in emergencies.

The graphic part illustratively complements the materials presented in the explanatory note.



## ВСТУП

**Актуальність.** При проектуванні технологічних процесів (ТП) механічної обробки деталей і складанні з них механізмів і машин в теперішній час серйозна увага приділяється питанням, пов'язаних з випуском якісних виробів при високому темпі їх виробництва і оптимальної собівартості. Зазначені параметри виробів в умовах серійного виробництва досягаються за рахунок механізації і автоматизації ТП з використанням для механообробки верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), а для збирання – механізованих і автоматизованих комплексів або ліній.

**Мета і завдання дослідження.** Мета магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) – удосконалення технологічного процесу (ТП) механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001».

**Завдання,** що вирішуються для досягнення поставленої мети:

- проведення огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус»;
- виконання аналізу технологічності конструкції деталі (якісного та кількісного);
- встановлення типу виробництва (за коефіцієнтом закріплення операцій) та визначення форми організації роботи;
- вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки та їх порівняння за собівартістю виготовлення заготовки;
- вибір методів обробки поверхонь деталі «Корпус гідромуфти 12.00.001»;
- обґрунтування та вибір технологічних баз (чистових та чорнових);
- розробка удосконалених ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001» та вибір кращого з них за мінімумом приведених витрат;
- розрахунок режими різання та нормування операцій ТП;
- проведення огляду типових виконань приводу обертання змішувального барабана автобетонозмішувача; розробка схеми гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана автобетонозмішувача з системою

пропорційного електрогідравлічного керування (ЕГК) регульованого аксіально-поршневого насоса (АПН); розробка розрахункової схеми та створення математичної моделі запропонованої системи керування регульованого насоса, що дозволить визначати статичні та динамічні характеристики системи;

- встановлення приведеної програму виробів;
- розрахунок кількості обладнання та працюючих, що необхідні для забезпечення механічної обробки деталі;
- проведення розрахунку економічної доцільності впровадження на дільниці удосконаленого ТП;
- розробка заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

**Об'єкт дослідження** – робочі процеси в системі електрогідравлічного керування регульованого аксіально-поршневого насоса.

**Предмет дослідження** – пропорційний об'ємний регулятор аксіально-поршневого насоса.

**Методи дослідження.** Метод теорії розмірних ланцюгів при виконанні розмірно-точнісного моделювання ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001»; метод лінійного програмування (симплекс-метод) при визначенні оптимальних режимів різання; математичне моделювання процесів в системі на основі нелінійних диференціальних рівнянь з використанням числових методів їх розв'язання за допомогою програми Simulink пакета MATLAB.

#### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Запропоновано удосконалену схему системи керування регульованим АПН, що забезпечує роботу АПН в режимі постійної подачі за рахунок електрогідравлічного керування зі зворотнім зв'язком по положенню планшайби.

2. Отримала подальший розвиток математична модель системи ЕГК регульованим АПН, яка дозволяє досліджувати процеси в системі як в статичних, так і в динамічних режимах, а також може бути використана для дослідження її стійкості.

3. Встановлено залежність часу регулювання за тиском в системі ЕГК регульованого АПН від площі відкриття робочого вікна дроселя  $f_0$  в зливній гідролінії циліндра керування планшайбою насоса, що дозволяє проектувати систему ЕГК з заданими динамічними характеристиками.

**Практичне значення одержаних результатів.** Удосконалено ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001». При цьому:

- вибрано два найбільш доцільних способи виготовлення заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001» – лиття в оболонкові форми та в піщано-глинисті форми. При розрахунку собівартості заготовки виявлено, що вартість заготовки виготовленої литтям в оболонкові форми складає 56,44 грн., що менше у порівнянні з литтям в піщано-глинисті форми – 56,9 грн.; тоді як коефіцієнт точності маси при литті в оболонкові форми (0,76) більший, ніж при литті в піщано-глинисті форми (0,72);

- розроблено удосконалений ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001» на основі використанням верстатів з ЧПК; економічні розрахунки підтвердили, що впровадження удосконаленого технологічного процесу в виробництво є доцільним;

- для удосконаленого ТП механічної обробки розраховано елементи дільниці механічної обробки; розраховано приведену програму для роботи дільниці в великосерійному виробництві, яка складає 13066 шт.; дільниця складається з 3 верстатів, кількість основних робітників, що їх обслуговують – 3 чол.;

- запропоновано удосконалену схему гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана автобенозмішувача з пропорційною електрогідравлічною системою керування регульованого аксіально-поршневого насоса. Розроблено розрахункову схему та створено математичну модель запропонованої системи керування регульованого насоса. Математична модель може бути використана для визначення статичних та динамічних характеристик, а також дослідження стійкості системи.

**Апробація результатів роботи.** Доповідь на конференції:

- Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)».

Теза доповіді:

- Розробка математичної моделі системи керування гідроприводом змішувального барабана автобетонозмішувача [Електронний ресурс] / С. В. Репінський, О. В. Паславська, В. Ю. Губницький, Д. С. Зарудняк // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)», м. Вінниця, 01-14 травня 2021 р. – 2021. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/paper/view/11001>.

# 1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС»

## 1.1 Характеристика об'єкту виробництва

Службове призначення деталі «Корпус гідромуфти 12.00.001» (рис. 1.1) – базова деталь гідравлічного розподільника, в ній розміщуються та з'єднуються інші деталі вузла. Деталь сприймає навантаження, пов'язані з тиском робочої рідини до 20 МПа.

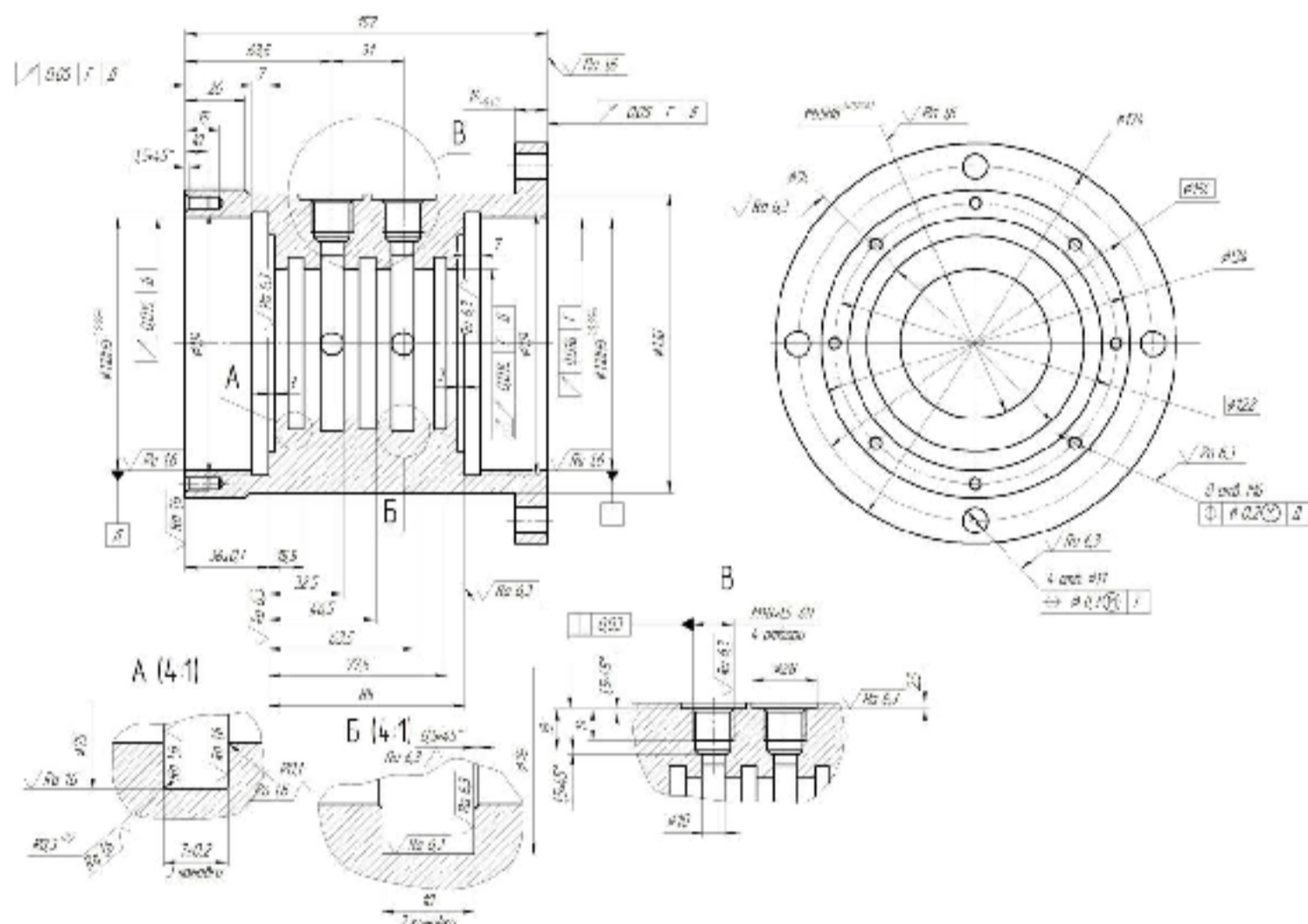


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі «Корпус гідромуфти 12.00.001»

Для забезпечення бажаних механічних характеристик деталі використовують сплав СЧ 18 ГОСТ 1412-85. Маса деталі – 8,5 кг, маса заготовки, яку найбільш доцільно виготовити одним із способів лиття, – в межах 10-11 кг.

Деталь має декілька високоточних поверхонь, наприклад, два отвори  $\text{Ø}110\text{H}8$ ,  $R_a=1,6$  мкм, отвір  $\text{Ø}65\text{H}8$ ,  $R_a=1,6$  мкм, торці  $\text{Ø}174$  та  $\text{Ø}134$  повинні мати шорсткість поверхні  $R_a=1,6$  мкм.

На кресленні деталі задані технічні вимоги до повного радіального биття отвору  $\varnothing 65H8$  відносно вісі поверхонь «Г» та «Д», торцевого биття поверхонь  $\varnothing 174$  та  $\varnothing 134$  відносно вісі тих же поверхонь, перпендикулярність дна розточки  $\varnothing 28$  відносно вісі різцевого отвору  $M18 \times 1,5-6H$  та позиційні відхилення вісей отворів  $\varnothing 11$  та  $\varnothing M6$ . Більш детально характеристики поверхонь та вимоги до їх взаємного розташування наведені на рис. 1.1.

Основними службовими поверхнями деталі є торці поверхонь  $\varnothing 174$  та  $\varnothing 134$ , отвір  $\varnothing 65H8$ , 2 отвори  $\varnothing 110H8$ , другорядними поверхнями є 4 кріпильних отвори  $\varnothing 11$  та 8 отворів  $M6$ , а також 4 отвори  $M18 \times 1,5 - 6H$  для приєднання штуцерів з трубопроводами, через які підводиться та відводиться робоча рідина під тиском.

## 1.2 Загальний огляд існуючих ТП обробки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001»

Подібною деталлю до заданої «Корпус гідромуфти 12.00.001» є деталь «Стакан», креслення якої зображено на рис. 1.2, а типовий ТП її механічної обробки наведений у таблиці 1.1 [1].

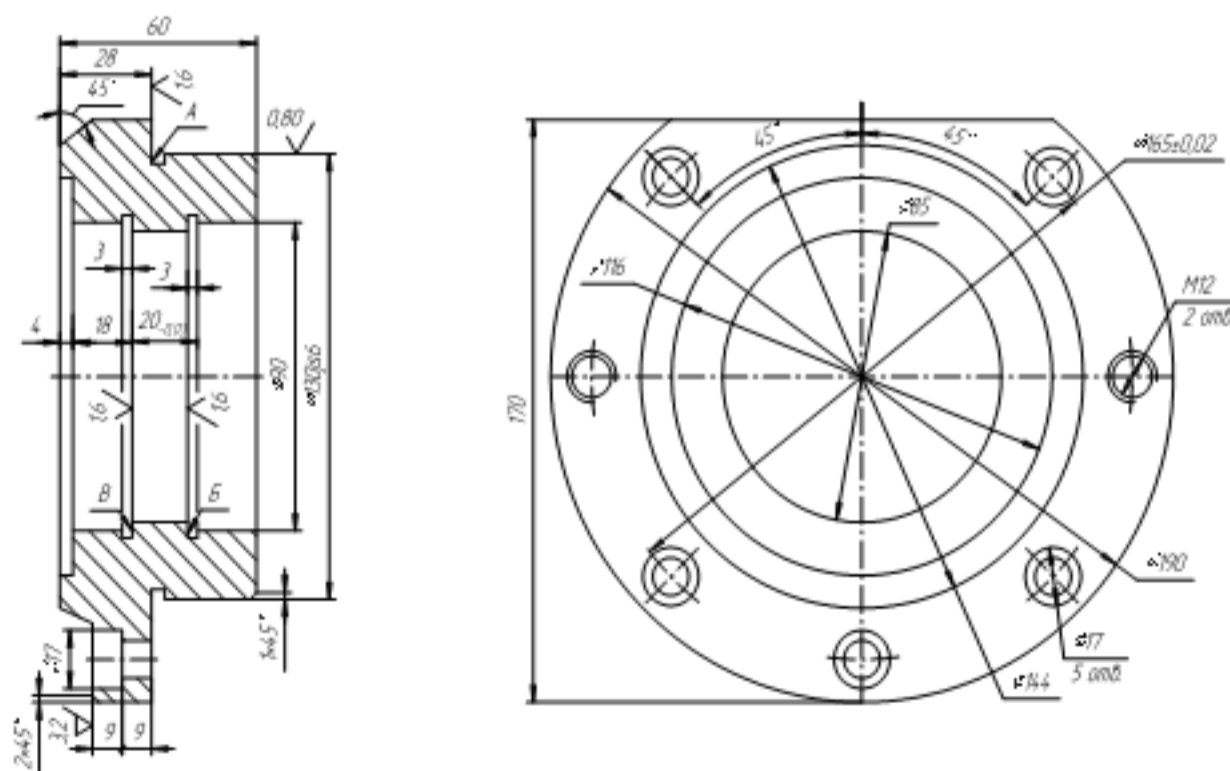


Рисунок 1.2 – Ескіз типової деталі «Стакан»

Таблиця 1.1 – Типовий ТП механічної обробки деталі «Стакан»

п/п	Зміст або найменування операції	Обладнання	Оснащення
1	2	3	4
005	Лиття	–	–
010	Обробка та очищення виливка	–	–
015	Точити торці $\varnothing 130_{js6}/\varnothing 90H7$ та А, точити поверхню $\varnothing 130_{js6}$ , розточити отвір $\varnothing 85$ та $\varnothing 90H7$ з точінням внутрішнього торця $\varnothing 90H7/\varnothing 85$	Токарний патронний напівавтомат КТ141	Трикулачковий пневматичний патрон
020	Точити торець $\varnothing 190$ і $\varnothing 144/\varnothing 116$ , точити поверхню $\varnothing 190$ та конічну поверхню $\varnothing 144 \times 45^\circ$	Теж саме	Трикулачковий пневматичний патрон
025	Термічна обробка	»	Теж саме
030	Точити торці $\varnothing 130_{js6}/\varnothing 90H7$ остаточно, точити поверхню $\varnothing 130_{js6}$ з точінням торця А під шліфування, фаски, канавки остаточно. Розточити отвір $\varnothing 90H7$ з точінням внутрішнього торця $\varnothing 90H7/\varnothing 85$ та отвір $\varnothing 85$ під тонке розточування, канавки 3х $\varnothing 96$ остаточно, притупити гострі кромки	»	Трикулачковий пневматичний патрон
035	Точити торці $\varnothing 144/\varnothing 116$ , точити поверхню $\varnothing 190$ , конічну поверхню $\varnothing 144 \times 45^\circ$ остаточно. Розточити отвір $\varnothing 90H7$ з точінням торця $\varnothing 90H7/\varnothing 85$ під тонке розточування виточки $\varnothing 116$ та канавки 3х $\varnothing 96$		Трикулачковий пневматичний патрон
040	Свердлити п'ять отворів $\varnothing 11$ , два отвори $\varnothing 10,2$ під різь М12, зенкувати п'ять отворів $\varnothing 11/\varnothing 17$ , фаски 2х24, нарізати різь М12. фрезерувати лиски в розмір 170	Багатоцільовий вертикальний фрезерно-свердлильний ГФ2171	Налагодження УСНО
045	Зачистити заусенці	Машина для зняття заусенців	
050	Розточувати два отвори $\varnothing 90H7$ з точінням торців Б і В, отвору $\varnothing 85$ до $\varnothing 85H7$ (технологічно)	Алмазно-розточний (спеціальний)	Установочне пристосування

## Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
055	Шліфувати Ø130j <sub>S</sub> 6 з шліфуванням торця 4	Круглошліфувальний напівавтомат 3У131ВМ	Спеціальна оправка
060	Помити деталь	Мийна машина	
065	Технічний контроль		
070	Нанесення антикорозійного покриття		

### 1.3 Вибір та критичний аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

Базовий технологічний процес механічної обробки деталі «Корпус гідромуфти 12.00.001» наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Маршрут механічної обробки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001» (базовий)

№ операції	Назва операції	Верстат
005	Токарний з ЧПК	Токарний з ЧПК 16К20Ф3
010	Токарний з ЧПК	Токарний з ЧПК 16К20Ф3
015	Токарний з ЧПК	Токарний з ЧПК 16К20Ф3
020	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний 2Н118
025	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний 2Н118
030	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний 2Н118
035	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний 2Н118

Базовий ТП побудований з використанням верстатів з ЧПК (на більшості трудомістких операцій), а також універсальних вертикально-свердлильних верстатах. Використовувані верстати з ЧПК 16К20Ф3 є досить поширеними, порівняно недорогими. Але вони мають порівняно невелику кількість інструментів в револьверних головках (6 інструментів), тобто не дуже широкі технологічні можливості. Крім того, ці моделі є не досить сучасними та такими, що не дозволяють обробляти складні конфігурації деталей, забезпечувати високі



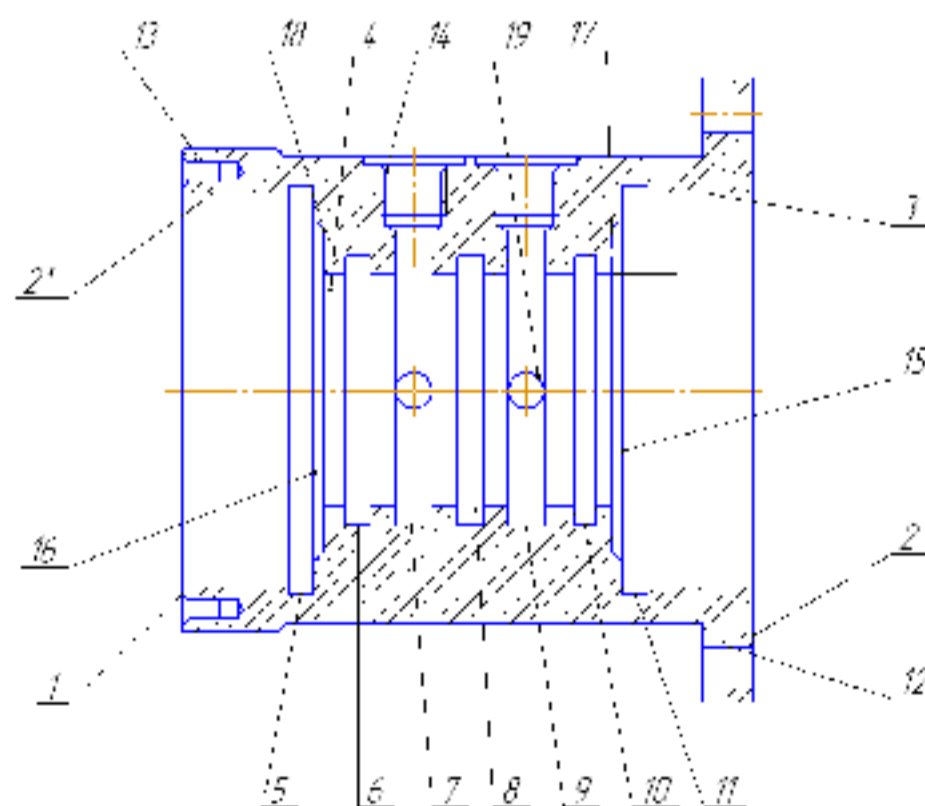
квалітети точності обробки, час холостого ходу у них є досить великим. Верстати з ручним керуванням 2Н118 вимагають від робітників великого об'єму ручної роботи, їх професійний розряд повинен бути вищим, ніж при роботі на верстатах з ЧПК. Крім того, на універсальних верстатах неможливе багатOVERстатне обслуговування інших деталей.

Велика кількість операцій у базовому ТП потребує частого розтискання, зняття з установних елементів і знову затискання заготовки деталі на операціях – в цьому випадку тривалість операції буде більшою, збільшуються похибки обробки, трудомісткість і собівартість роботи.

Висновок – даний базовий ТП потребує удосконалення.

#### 1.4 Характеристика удосконалених ТП

Враховуючи конструктивні особливості заданої деталі, вимоги до точності та шорсткості поверхонь, вимоги до їх взаємного розташування та орієнтовну серійність виготовлення (попередньо за масою деталі та заданим обсягом виготовлення на протязі року – це умови дрібносерійного типу), наведемо варіант удосконаленого ТП механічної обробки, орієнтуючись на номери поверхонь, які вказані на нижче наведеному рис. 1.2.



Рисинок 1.3 – Позначення поверхонь деталі «Корпус гідромуфти 12.00.001»

У пункті 1.3 наведено недоліки ТП, який прийнято за базовий. Для усунення цих недоліків пропонуються наступні заходи:

- на операціях токарної обробки 005-015 потрібно провести заміну токарних верстатів з ЧПК 16К20Ф3 на токарно-револьверні верстати з ЧПК моделі 1В340Ф30 з досить широкими технологічними можливостями, більшою кількістю позицій інструментів в револьверній головці (8 позицій);

- необхідно замінити вертикально-свердлильні верстати з ручним керуванням 2Н118 на верстати вертикально-свердлильні з ЧПК моделі 2Р135Ф2;

- операції обробки 4-х отворів М18×1,5–6Н теж вимагають удосконалення, тобто замість обробки цих отворів на двох операціях, а від цього цикл обробки збільшується, сконструювати поворотне пристосування в двох позиціях для вертикально-свердлильного верстату з ЧПК 2Р135Ф2 і, таким чином, продуктивність обробки на цій операції збільшиться.

Прийняті рішення дозволить впровадити більшу концентрацію технологічних переходів на операціях механічної обробки, а значить зменшити кількість верстатів, переустановлень деталей з одного верстата на інший.

З врахуванням вказаних вище напрямків удосконалення базового ТП наводимо у загальному вигляді удосконалений ТП (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Удосконалений варіант ТП\*

№ оп.	Назва операції	Зміст операції	Обладнання
1	2	3	4
005	Токарно-револьверна з ЧПК	Підрізання за декілька переходів торця 1, розточування за декілька переходів отвору 3 та однократне підрізання торця 4, розточування за декілька переходів отвору 2, однократна розточування канавок 5 та 6, розточування за декілька переходів трьох канавок 7, однократне розточування двох канавок 8.	Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4
010	Токарно-револьверна з ЧПК	Підрізка за декілька переходів торця 1, розточування за декілька переходів отвору 2 та однократне підрізання торця 3, розточування канавок 4 та 5 однократно.	Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30
015	Вертикально-свердлильна	Свердління 4-х отворів 6.	Вертикально-свердлильний 2Н118
020	Вертикально-свердлильна з ЧПК	Центрування 8-и отворів 9, свердління 8-и отворів 9, нарізання різі 8-и отворів 9.	Вертикально-свердлильний з ЧПК 2Р135Ф2
025	Вертикально-свердлильна з ЧПК	В позиції 0 <sup>0</sup> : центрування 2-х отворів 1, свердління 2-х отворів 1, розсвердлювання 2-х отворів 1, цекування 2-х отворів 2, зенкування фаски 3 у 2-х отворах 1, нарізання різі 4 у 2-х отворах 1. В позиції 90 <sup>0</sup> : центрування 2-х отворів 5, свердління 2-х отворів 5, розсвердлювання 2-х отворів 5, цекування 2-х отворів 2, зенкування фаски 7 у 2-х отворів 5, нарізання різі 8 у 2-х отворах 5.	Вертикально-свердлильний з ЧПК 2Р135Ф2

Зважаючи на те, що тема роботи носить навчальний характер, тобто не прив'язана ні до якого підприємства, можна тільки укрупнено дати характеристику умовній дільниці, на якій міг би бути реалізований ТП. У разі удосконалення ТП реорганізується і сама дільниця механічної обробки.

Нижче, в таблиці 1.4 наведені порівняльні показники обох дільниць.

Таблиця 1.4 – Показники базової дільниці

Показники, які характеризують дільницю	Величина показника	
	Базова дільниця	Удосконалена дільниця
1	2	3
1. Кількість верстатів	6 (16К20Ф3 – 2 шт., 2Н118 – 4 шт.)	3 (1В340Ф30, 2Н118, 2Р135Ф2)

Продовження таблиція 1.4

1	2	3
2. Виробнича площа	75 м <sup>2</sup>	50 м <sup>2</sup>
3. Встановлена потужність е/д	28 кВт (2·11+4·1,5)	11,5 кВт (6+1,5+4)
4. Кількість робітників-верстатників	6	3
5. Розряд робіт	3	3
6. Річна програма виготовлення деталей «Корпус гідромуфти 12.00.001»	2000 шт.	2000 шт.
7. Приблизна приведена програма виготовлення деталей на дільниці	13066 шт.	13066 шт.

## 1.5 Економічна доцільність розробки удосконаленого ТП

Величина зменшення собівартості одиниці продукції [2]:

$$\Delta S = \frac{(B_a - B_n \cdot K_n) \cdot 100}{\Pi} \text{ [грн.],} \quad (1.1)$$

де  $B_a$ ,  $B_n$  – величина однієї із статей прямих витрат в одиниці продукції, що визнана аналогом та нової продукції відповідно (витрати на основну заробітну плату робітників);  $B_a = 48,9$  грн.;  $B_n = 31,44$  грн.;

$K_n$  – коефіцієнт, що враховує конструктивні та технологічні особливості нової розробки,  $K_n = 1 \dots 1,2$ ;

$\Pi$  – питома вага цієї статті витрат в собівартості продукції, яка є аналогом;

$$\Delta S = \frac{(48,9 - 31,44 \cdot 1,1)}{60} \cdot 100 = 23,86 \text{ (грн.)}$$

Додаткові капітальні вкладення [2]:

$$\Delta K = (2 \dots 4) \cdot \Delta B_{обз} \text{ [грн.],} \quad (1.2)$$

де (2..4) – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати (проекування, оренду приміщення, тощо);

$\Delta B_{обл}$  – вартість додаткового обладнання, грн.

Таблиця 1.5 – Ціна бувшого у використанні обладнання

Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	Вартість, грн.
Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30	400000	1	400000
Вертикально-свердлильний з ЧПК 2Р135Ф2	300000	1	300000
Всього			700000

Продаються верстати базової дільниці:

- 2 верстати 16К20Ф3 –  $2 \cdot 100000 = 200000$  (грн.);

- 3 верстати 2Н118 –  $3 \cdot 20000 = 60000$  (грн.)

Таким чином, витрати на обладнання  $700000 - 260000 = 440000$  (грн.)

Тоді, величина додаткових капітальних вкладень:

$$\Delta K = 2 \cdot 440000 = 880000 \text{ (грн.)}$$

Термін окупності [2]:

$$T_o = \frac{\Delta K}{\Delta S \cdot N_2} \text{ [років]}, \quad (1.3)$$

де  $N_2$  – річний обсяг виробництва продукції, шт.

$$T_o = \frac{880000}{23,86 \cdot 2000} = 18,44 \text{ (року).}$$

З урахуванням приведеної програми

$$T_o = \frac{880000}{23,86 \cdot 13066} = 2,82 \text{ (року)}.$$

Термін окупності 2,82 року < 3...5 років. Отже, удосконалення ТП є доцільним.

## 1.6 Висновки

Розглянуто технологію виготовлення деталі типу «Корпус», а також характеристики та особливості деталі «Корпус гідromуфти 12.00.001». Запропоновано шляхи удосконалення ділянки та ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідromуфти 12.00.001».

Попередній розрахунок терміну окупності удосконаленого ТП механічної обробки деталі «Корпус гідromуфти 12.00.001» складає 2,82 року < 3...5 років, тому впровадження запропонованих рішень з економічної точки зору є доцільним.

## 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ГІДРОМУФТИ 12.00.001»

### 2.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі [3-5]

Аналізуючи форму, конструкцію та технологічні ознаки заданої деталі «Корпус гідромуфти 12.00.001» можна стверджувати відносно того, що деталь відноситься до класу «Стакани».

Найбільш точні і якісні поверхні деталі – це два отвори  $\text{Ø}110\text{H}8$ ,  $R_a=1,6$  мкм, отвір  $\text{Ø}65\text{H}8$ ,  $R_a=1,6$  мкм, два торці  $\text{Ø}174$  та  $\text{Ø}134$  з якістю поверхонь  $R_a=1,6$  мкм, а також три внутрішні кільцеві канавки  $\text{Ø}75$  з якістю всіх поверхонь  $R_a=1,6$  мкм.

Несприятливим місцем у конструкції деталі є розташування 4-х отворів  $\text{M}18 \times 1,5\text{-}6\text{H}$  – по 2 отвори з різних боків зовнішньої поверхні (кут –  $90^\circ$ ), а також розташування на обох торцях двох груп отворів – 4 отвори  $\text{Ø}11$  та 8 отворів  $\text{M}6$ . Це все може викликати необхідність в переустановленні заготовки при обробці вказаних поверхонь.

Властивості матеріалу деталі СЧ18 ГОСТ 1412-85 показано в таблиці 2.1-2.2.

Таблиця 2.1 – Механічні властивості чавуна марки СЧ18 ГОСТ 1412-85

Твердість НВ	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	Відносне видовження, %	Відносне звуження, %	Модуль пружності, МПа
165	300	70	1	1	42000

Таблиця 2.2 – Хімічний склад чавуна марки СЧ18 ГОСТ 1412-85

Масова частка, %				
C	Si	Mn	P	S
3.4 – 3.6	1.9 – 2.3	0.5 – 0.7	0 – 0.2	0 – 0.15

Коефіцієнт уніфікації [3-5]

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

де  $Q_{ye}$  – кількість уніфікованих елементів в конструкції деталі;

$Q_e$  – загальна кількість елементів.

$$K_y = 77/100 = 0,77.$$

Оскільки виконується умова  $K_y \geq 0,6$  ( $0,77 \geq 0,6$ ), то деталь відноситься до технологічних.

Таблиця 2.3 – Лінійні розміри

Лінійні елементи	0,5x4	2,5x4	3x2	7x5	10x12	14	15x8	15,5	26	31	32,5	36	46,5	63,5x2	77,5	85	157
Квалітет	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	12	14	14	14	14	14
Уніфіковані елементи	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-

Таблиця 2.4 – Діаметральні розміри, мм

Діаметральні елементи	0,1x6	0,3x6	10x4	11x4	28x4	65	75x3	76x2	94x2	110x2	114x2	122	130	134	154	174
Квалітет	14	14	14	14	14	8	14	14	14	8	14	14	14	14	14	14
Уніфіковані Елементи	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-

Таблиця 2.5 – Різьбові елементи деталі

Різьба	M6x8	M18x4
Уніфіковані елементи	+	+

Таблиця 2.6 – Загальна кількість елементів

Лінійні розміри		Діаметральні розміри		Різьба	
уніфік.	Неуніфік.	уніфік.	неуніф	уніфік.	неуніфік.
35	12	30	11	12	0



Коефіцієнт шорсткості

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{cp}} = \frac{1}{13.46} = 0,074 \text{ (1/мкм)}. \quad (2.2)$$

Середній клас шорсткості складає:

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{1,6 \cdot 13 + 6,3 \cdot 10 + 16 \cdot 77}{13 + 10 + 77} = 13,46 \text{ (мкм)}. \quad (2.3)$$

Таблиця 2.7 – Шорсткість поверхонь деталі

Шорсткість, Ra	1,6	6,3	16
З'єднувальні розміри	Ø65, Ø110x2, 157, 7x6, Ø75x3	36, 2,5x4, M18x4	інші
Кількість поверхонь	13	10	77

Деталь технологічна по коефіцієнту шорсткості, тому що виконується перевірка  $0,074 < 0,32$  ( $K_{ш} < 0,32$ ).

Коефіцієнт точності

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{12,24} = 0,918, \quad (2.4)$$

де  $T_{cp}$  – середній квалітет точності

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{6 \cdot 4 + 8 \cdot 5 + 12 \cdot 1 + 14 \cdot 82}{4 + 5 + 1 + 82} = 12,24. \quad (2.5)$$

Таблиця 2.8 – Квалітети точності поверхонь деталі

Квалітет точності	6	8	12	14
Кількість поверхонь	4	5	1	82

Деталь технологічна по коефіцієнту точності, тому що виконується умова  $0,918 > 0,8$  ( $K_T > 0,8$ ).

## 2.2 Попереднє визначення типу виробництва і форми організації робіт

Тип виробництва за коефіцієнтом закріплення операцій [5]:

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

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

Характерні переходи мехобробки деталі «Корпус гідромуфти 12.00.001» призначені для поверхонь, що зображені на рис. 2.1.

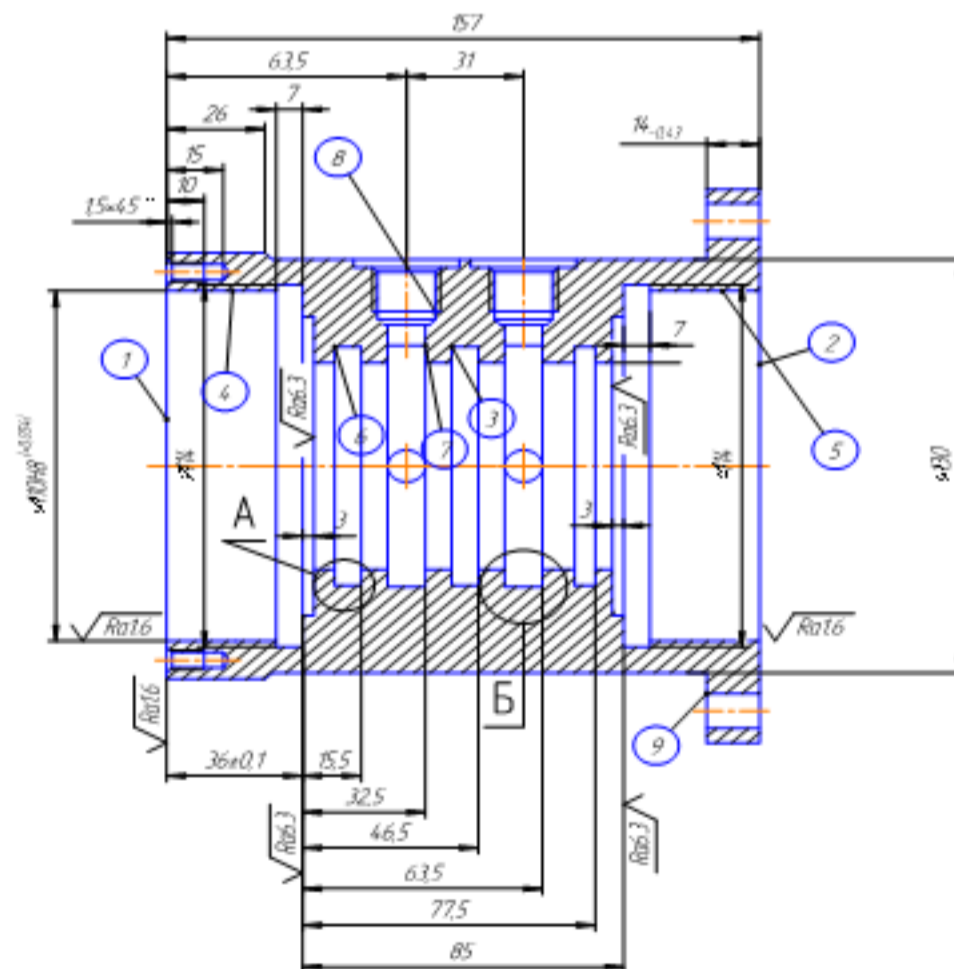


Рисунок 2.1 – Характерні поверхні деталі «Корпус гідромуфти 12.00.001»

Дані розрахунків представлені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Визначення коефіцієнта закріплення операцій

№ п/п	Зміст технологічних операцій	$T_{осн},$ хв.	$\varphi_k$	$T_{шт.к.},$ хв	$C_p$	P	$h_{з.о.}$	$h_{з.п.}$	O	$K_{з.о.}$
1	Точити торець 1 попередньо двічі	0.43	2.14	0.92	0.0167	1	0.8	0.0167	47.9	
2	Точити торець 1 остаточно	0.3	2.14	0.64						
3	Точити торець 2 попередньо двічі	1.34	2.14	2.86	0.0306	1	0.8	0.0306	26.14	
4	Точити торець 2 остаточно	0.94	2.14	2.01	0.021	1	0.8	0.021	38.09	
5	Розточити пов.3 попередньо двічі	1.99	2.14	4.25	0.046	1	0.8	0.046	17.39	
6	Розточити пов. 3 остаточно	1.1	2.14	2.36	0.025	1	0.8	0.025	32	
7	Розточити пов.4, 5 попередньо двічі	2.85	2.14	6.1	0.065	1	0.8	0.065	12.3	
8	Розточити пов.4,5 остаточно	0.79	2.14	1.69	0.018	1	0.8	0.018	44.44	
9	Розточити канавки 6, 7	0.56	2.14	1.19	0.0127	1	0.8	0.0127	62.99	
10	Свердлити пов. 8 однократно	0.57	1.72	1.22	0.013	1	0.8	0.013	61.54	
11	Свердлити пов. 9 однократно	0.32	1.72	0.68	0.0073	1	0.8	0.0073	109.59	
	Всього	11.19		23.91		10			452.38	45.24

Основний час обробки визначено за формулами загального наближення [3].

Витрати штучно – калькуляційного часу з врахуванням коефіцієнта  $\varphi_k$  [3].

Послідовність розрахунку  $K_{з.о.}$  представлена в [5], результати зведено до таблиці 2.9.

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

$$\sum O_i = 47.9 + 26.14 + 39.09 + 17.39 + 32 + 12.3 + 44.44 + 62.99 + 61.54 + 109.59 = 452.38.$$

Розраховано сумарну кількість верстатів:  $\sum P=10$ .

Встановлено коефіцієнт закріплення  $K_{з.о.}$ :

$$K_{з.о.}=452.38/10=45.24.$$

Згідно отриманого  $K_{з.о.}$  тип виробництва – одиничний, але близький до дрібносерійного, який і приймаємо для подальшої роботи.

Визначення організаційної форми виробництва [5].

Добовий випуск виробів:

$$N_{\partial} = \frac{N}{254} = \frac{2000}{254} = 7,9 \text{ (шт.)}, \quad (2.7)$$

де 254 – кількість робочих днів в році.

Приймаємо  $N_{\partial} = 8$  шт.

Розрахункова добова продуктивність потокової лінії

$$Q_{\partial} = \frac{F_{\partial}}{T_{шт-к.ср}} \cdot \eta_s = \frac{952}{2,391} \cdot 0,6 = 731,18 \text{ (шт.)}; \quad (2.8)$$

$$T_{шт-к.ср} = \frac{23,91}{10} = 2,391 \text{ (хв.)}$$

Прийнято  $Q_{\partial} = 731$  шт.

Оскільки,  $N_{\partial} = 8 < Q_{\partial} = 731$  шт., то відповідно обираємо групову форму організації роботи.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску.

$$n = \frac{N \cdot t}{254} = \frac{2000 \cdot 3}{254} = 23,62 \text{ (шт.)} \quad (2.9)$$

Прийнято  $n = 24$  шт.

Визначено розрахункову кількість змін на обробку всієї партії:

$$C_{зм} = \frac{T_{шт-к.сер} \cdot n}{476 \cdot 0,75} = \frac{2,391 \cdot 24}{476 \cdot 0,6} = 0,182 \text{ (зміни)}. \quad (2.10)$$

Прийнято  $C_{зм. п.р} = 1$  зміна.

Визначаємо кількість деталей в партії для одночасного запуску за прийнятою кількістю змін.

$$n = \frac{C_{зм} \cdot 476 \cdot 0,75}{T_{шт-к.сер}} = \frac{1 \cdot 476 \cdot 0,6}{2,391} = 131,61 \text{ (шт.)} \quad (2.11)$$

Прийнято  $\eta_{пр} = 132$  шт.

Отже тип виробництва – дрібносерійний, форма організації роботи – групова, при цьому розмір мінімальної партії виробів складає 132 шт.

Таблиця 2.10 – Визначення форми організації праці

Групова форма організації виробництва		
Назва показника	Позначення	Числове значення
Загальний штучно-калькуляційний час, хв.	$T_{шт-к.}$	23.91
Кількість операцій (переходів)	$n$	5
Середня трудомісткість операції, хв.	$T_{шт-к.сер}$	2.391
Річний випуск продукції, шт.	$N$	2000
Середній добовий випуск виробів, шт.	$N_d$	8
Коефіцієнт завантаження обладнання	$\eta_z$	0.60
Добовий фонд часу роботи обладнання, хв.	$\Phi$	952
Добова продуктивність потокової лінії, шт.	$Q_d$	731
Періодичність запуску деталей, днів	$t$	3
Кількість деталей в партії, хв.	$n_1$	24
Розрахункова кількість змін	$C_{зм.}$	0.182
Прийнята кількість змін	$C_{зм.пр.}$	1
Прийнята кількість деталей в партії, шт.	$n_{пр}$	132

## 2.3 Варіантний вибір та техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

### 2.3.1 Вибір альтернативних способів виготовлення заготовки [6-8]

Орієнтуючись на робоче креслення деталі, масу та серійність виробництва встановлюємо метод виготовлення заготовки «Корпус гідромуфти 12.00.001» – лиття, так як деталь виготовляється з матеріалу СЧ 18 ГОСТ 1412-85.

Можливі такі способи лиття заготовки [6-8]:

- в піщано-глинисті форми;
- в оболонкові форми;
- лиття в облицьований кокіль.

З вище розглянутих способів одержання заготовок методом лиття були вибрані наступні способи: лиття в піщано-глинисті форми (ПГФ) та лиття в оболонкові форми (ОФ).

### 2.3.2 Розрахунок розмірів заготовки [7, 8]

Таблиця 2.13 – Класи точності виливків [7, 8]

Вихідні дані	Лиття в ПГФ		Лиття в ОФ	
	Згідно [8]	Прийнято	Згідно [8]	Прийнято
Клас розмірної точності	9т-13	11	8-13т	10
Ступінь жолоблення елементів виливки	5-8	7	5-8	7
Ступінь точності поверхні виливка	12-19	14	8-14	10
Шорсткість поверхонь виливка	Ra = 40 мкм		Ra = 16 мкм	
Клас точності маси	7-15	11	7т-14	10
Ряд припусків	5-8	6	3-6	4

При виборі прийнятих параметрів вхідних даних керуємося примітками до таблиць [7, 8], де приведені рекомендації по призначенню параметрів точності з врахуванням типу виробництва і складності, заготовки. Так як виробництво

дрібносерійне і вилівок середньої складності, приймаємо середні значення з вибраних діапазонів параметрів точності.

Клас розмірної точності вилівка призначаємо враховуючи спосіб лиття, найбільший габаритний розмір вилівка (180 мм), тип матеріалу – СЧ18:

при литті в піщано-глинисті форми: (8-13т) – 10;

при литті в оболонкові форми: (9т-13) – 11.

Ступінь жолоблення елементів вилівка призначаємо згідно відношення найменшого розміру елемента вилівка до найбільшого (товщини або висоти до довжини елемента вилівка). Найбільший розмір – 174 мм і найтонша стінка – 8 мм: відношення –  $8/174 = 0,046$ . Також враховуємо кількість використання форми і термообробку:

при литті в піщано-глинисті форми: (5-8) – 7;

при литті в оболонкові форми: (5-8) – 7.

Ступінь точності поверхонь вилівка призначаємо з врахуванням способу лиття, найбільшого габаритного розміру вилівка (180 мм) і матеріал СЧ20:

при литті в піщано-глинисті форми: (12-19) – 14;

при литті в оболонкові форми: (8-14) – 10.

Шорсткість поверхонь вилівка призначаємо, враховуючи прийнятий ступінь точності поверхонь вилівка:

при литті в піщано-глинисті форми: 40 мкм;

при литті в оболонкові форми: 16 мкм.

Клас точності маси вилівка призначаємо, враховуючи спосіб лиття, номінальну масу вилівка (від 1 до 10 кг), термообробку і тип матеріалу СЧ18.

при литті в піщано-глинисті форми: (7-15) – 11;

при литті в оболонкові форми: (7т-14 –) 10.

Доцільно їх приймати таким же як і клас розмірної точності.

Ряд припусків призначаємо з врахуванням ступеня точності поверхні:

при литті в піщано-глинисті форми: (5-8) – 6;

при литті в оболонкові форми: (3-6) – 4.

### 2.3.3 Вибір допусків

Вибрані данні занесено до таблиць 2.4, 2.5.

Згідно [7, 8] призначаємо:

Допуск розмірів, враховуючи клас розмірної точності (лиття в оболонкові форми – 10, в піщано-глинисті форми – 11) і номінальний розмір на який призначаємо допуск.

Допуск форми і розміщення – враховуючи ступінь жолоблення (лиття в оболонкові форми – 7, в піщано-глинисті форми – 7) і номінальний розмір нормованої ділянки.

Допуск нерівностей – враховуємо ступінь точності поверхні виливка (лиття в оболонкові форми – 10, в піщано-глинисті форми – 14).

Допуск маси – залежно від класу точності маси виливка (лиття в оболонкові форми – 10, в піщано-глинисті форми – 11) і номінальної маси виливка

Допуск зміщення площини роз'єму – для цього необхідно знати, де буде проходити площина роз'єму. При литті в піщано-глинисті форми для лінійних розмірів 157, 14, 26. допуск вибираємо, враховуючи клас розмірної точності виливка по номінальному розміру найбільш тонкої зі стінок виливка, які виходять на лінію роз'єму. Для нашого випадку розмір найбільш тонкої стінки становить 8 мм.

Допуск на перекіс стержня встановлюється для діаметральних розмірів, що формуються за допомогою стержнів. Призначається на 1, 2 класи точніше класу розмірної точності по номінальному розміру найбільш тонкої зі стінок виливка, яка формуються за участю стержня.

При литті в оболонкові форми допуски на розміри будуть такі [мм]:

Ø 11 (найтонша стінка – 4,6 мм) буде 1,1

Ø 65H8 (найтонша стінка – 32,5 мм) буде 1,4

Ø 110 H8 (найтонша стінка – 10 мм) буде 1,0

При литті в піщано-глинисті форми допуски на розміри будуть такі [мм]:

Ø 11 (найтонша стінка – 4,6 мм) буде 1,8

Ø 65H8 (найтонша стінка – 32,5 мм) буде 2,2



Ø 110 H8 (найтонша стінка – 10 мм) буде 1,6

Загальний допуск призначаємо, враховуючи допуск розмірів і допуск форми і розміщення поверхні.

Таблиця 2.14 – Лиття в облонкові форми

Розрахункові розміри	ОФ							
	Ø11	Ø65H8	Ø110H8	36	85	14	26	157
Допуски, мм								
розмірів	2,0	2,8	3,2	2,2	2,8	1,8	2,2	3,2
форми чи розміщення	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,64
Зміщення по площині роз'єму	-	-	-	-	-	1,6	1,6	1,6
Зміщення через перекіс стержня	1,1	1,4	1,0	-	-	-	-	-
Маси	16%							
нерівностей	0,4							
Загальний допуск	2,2	3,2	3,2	2,4	3,2	2,2	2,4	3,2
Припуск мінімальний, мм	0,4							
Кількість переходів механічної обробки								
за точністю розмірів	1	4	4	2	1	1	1	1
за відхиленням форми	1	3	3	2	1	2	2	2
Прийнята кількість переходів	1	4	4	2	1	2	2	2
Припуск загальний, мм	1,8	4,1	4,1	2,6	2,3	2,4	2,6	3,3
Розміри заготовки, мм	Ø6,6	Ø56,8	Ø101,8	36,7	90,2	17,3	29,3	163,6

Таблиця 2.15 – Лиття в піщано-глинисті форми

Розрахункові розміри, мм	ПГФ							
	Ø11	Ø65H8	Ø110H8	36	85	14	26	157
Допуски, мм								
розмірів	3,2	4,4	5,0	3,6	4,4	2,3	3,6	5,0
форми чи розміщення	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,64
Зміщення по площині роз'єму	-	-	-	-	-	2,4	2,4	2,8
Зміщення через перекіс стержня	1,8	2,2	1,6	-	-	-	-	-
маси	24%							
нерівностей	1,0							
Загальний допуск	3,2	5,0	5,0	4,0	5,0	3,2	4,0	5,0
Припуск мінімальний, мм	0,6							
Кількість переходів механічної обробки								
за точністю розмірів	1	4	4	2	1	1	2	1
за відхиленням форми	1	3	3	2	1	2	2	2
Прийнята кількість переходів	1	4	4	2	1	2	2	2
Припуск загальний, мм	2,5	6,2	6,2	4,3	3,4	3,4	4,3	4,8
Розміри заготовки, мм	Ø6	Ø52,6	Ø97,6	36,5	93,6	18,8	30,8	166,6

#### 2.3.4 Вибір припусків [7, 8]

Мінімальний припуск призначаємо залежно від ряду припусків:

- при литті в оболонкові форми (для ряду припусків 4) – 0,4 мм; при литті в піщано-глинисті форми (для ряду припусків 6) – 0,6 мм.

Визначаємо кількість переходів механічної обробки:

– по точності розмірів вибираємо в залежності від допуску розміру виливка і співвідношення між допусками розмірів деталі і виливка:

Лиття в оболонкові форми: для розміру Ø65H8 допуск розмірів виливка 2,8 мм, допуск розмірів деталі 0,046 мм, співвідношення  $0,046/2,8 = 0,016$ , отже, 4 переходи (тонка обробка). Аналогічно вибираємо для всіх інших розмірів(мм):

Ø 11 –  $0,43/2,0 = 0,215 \rightarrow 1$  перехід (чорнова обробка);

Ø 110 –  $0,054/3,2 = 0,017 \rightarrow 4$  переходи (тонка обробка);

36 –  $0,2/2,2 = 0,1 \rightarrow 2$  переходи (напівчистова обробка);

85 –  $0,87/2,8 = 0,31 \rightarrow 1$  перехід (чорнова обробка);

14 –  $0,43/1,8 = 0,24 \rightarrow 1$  перехід (чорнова обробка);

26 –  $0,52/2,2 = 0,236 \rightarrow 1$  перехід (чорнова обробка);

157 –  $1,0/3,2 = 0,31 \rightarrow 1$  перехід (чорнова обробка);

Лиття в піщано-глинисті форми: для розміру Ø65H8 допуск розмірів виливка 2,8 мм, допуск розмірів деталі 0,046 мм, співвідношення  $0,046/4,4 = 0,01$ , отже, 4 переходи (тонка обробка). Аналогічно вибираємо для всіх інших розмірів:

Ø 11 –  $0,43/3,2 = 0,134 \rightarrow 1$  перехід (чорнова обробка);

Ø 110 –  $0,054/5,0 = 0,01 \rightarrow 4$  переходи (тонка обробка);

36 –  $0,2/3,6 = 0,055 \rightarrow 2$  переходи (напівчистова обробка);

85 –  $0,87/4,4 = 0,197 \rightarrow 1$  перехід (чорнова обробка);

14 –  $0,43/2,8 = 0,153 \rightarrow 1$  перехід (чорнова обробка);

26 –  $0,52/3,6 = 0,144 \rightarrow 2$  переходи (напівчистова обробка);

157 –  $1,0/5,0 = 0,2 \rightarrow 1$  перехід (чорнова обробка);

- по відхиленням форми, взаємного розміщення поверхонь вибираємо в залежності від допуску розміру виливка і співвідношення між допусками форми і розміщення деталі і виливка:

лиття в оболонкові форми для розмірів

- Ø 11 –  $0,3/0,5 = 0,6 \rightarrow 1$  перехід (чорнова обробка);
- Ø 65 –  $0,015/0,5 = 0,03 \rightarrow 3$  переходи (чистова обробка);
- Ø 110 –  $0,015/0,5 = 0,03 \rightarrow 3$  переходи (чистова обробка);
- 36 –  $0,05/0,5 = 0,1 \rightarrow 2$  переходи (напівчистова обробка);
- 85 –  $0,435/0,5 = 0,87 \rightarrow 1$  перехід (чорнова обробка);
- 14 –  $0,05/0,5 = 0,1 \rightarrow 2$  переходи (напівчистова обробка);
- 26 –  $0,05/0,5 = 0,1 \rightarrow 2$  переходи (напівчистова обробка);
- 157 –  $0,05/0,64 = 0,1 \rightarrow 2$  переходи (напівчистова обробка);

лиття в піщано-глинисті форми для розмірів

- Ø 11 –  $0,3/0,5 = 0,6 \rightarrow 1$  перехід (чорнова обробка);
- Ø 65 –  $0,015/0,5 = 0,03 \rightarrow 3$  переходи (чистова обробка);
- Ø 110 –  $0,015/0,5 = 0,03 \rightarrow 3$  переходи (чистова обробка);
- 36 –  $0,05/0,5 = 0,1 \rightarrow 2$  переходи (напівчистова обробка);
- 85 –  $0,435/0,5 = 0,87 \rightarrow 1$  перехід (чорнова обробка);
- 14 –  $0,05/0,5 = 0,1 \rightarrow 2$  переходи (напівчистова обробка);
- 26 –  $0,05/0,5 = 0,1 \rightarrow 2$  переходи (напівчистова обробка);
- 157 –  $0,05/0,64 = 0,1 \rightarrow 2$  переходи (напівчистова обробка).

Загальний припуск призначаємо, враховуючи загальний допуск вилівка, від кінцевої обробки і ряд припуску. При литті в оболонкові форми для розміру Ø 65H8: загальний допуск 3,2 мм, тонка обробка, ряд припусків 4 загальний припуск становить 4,1 мм. Аналогічно вибираємо і для інших розмірів.

### 2.3.5. Розрахунок розмірів заготовки [7, 8]

При розрахунку внутрішніх діаметральних розмірів заготовки вибраний загальний припуск подвоюється і віднімається від розміру готової деталі:

– при литті в оболонкові форми для розміру  $\varnothing 65\text{H8}$  загальний припуск становить 4,1 мм:  $65 - (4,1 \cdot 2) = 56,8$  (мм).

Аналогічно розраховуємо інші розміри.

Мінімальна товщина стінок згідно [7, 8]:

при литті в оболонкові форми – 8 мм,

при литті в піщано-глинисті – 8 мм.

Радіуси заокруглень згідно рекомендацій [7, 8] вибираємо в залежності від співвідношення  $(S+S_1)/2$  і від матеріалу виливка.

Нахили [7, 8]:

при литті в оболонкові форми для розмірів:  $1 - 3^0$ ;

при литті в піщано-глинисті форми:  $2 - 5^0$ .

Вихідний діаметр вибирається в залежності від матеріалу виливка (чавун):  $d_0 = 10$  мм. При товщині стінки для розміру  $\varnothing 11$  мм – 14мм, знайдемо  $d_{\min}$ :

$$d_{\min} = 10 + 0,1 \cdot 14 = 11,4(\text{і і}).$$

Отже отвори, діаметрами менше за 11,4 мм, не проливаються, всі інші можна отримати.

### 2.3.6 Оформлення ескізів в заготовки

Ескіз заготовки при литті в оболонкові форми та при литті в піщано-глинисті форми показано на рис. 2.2.

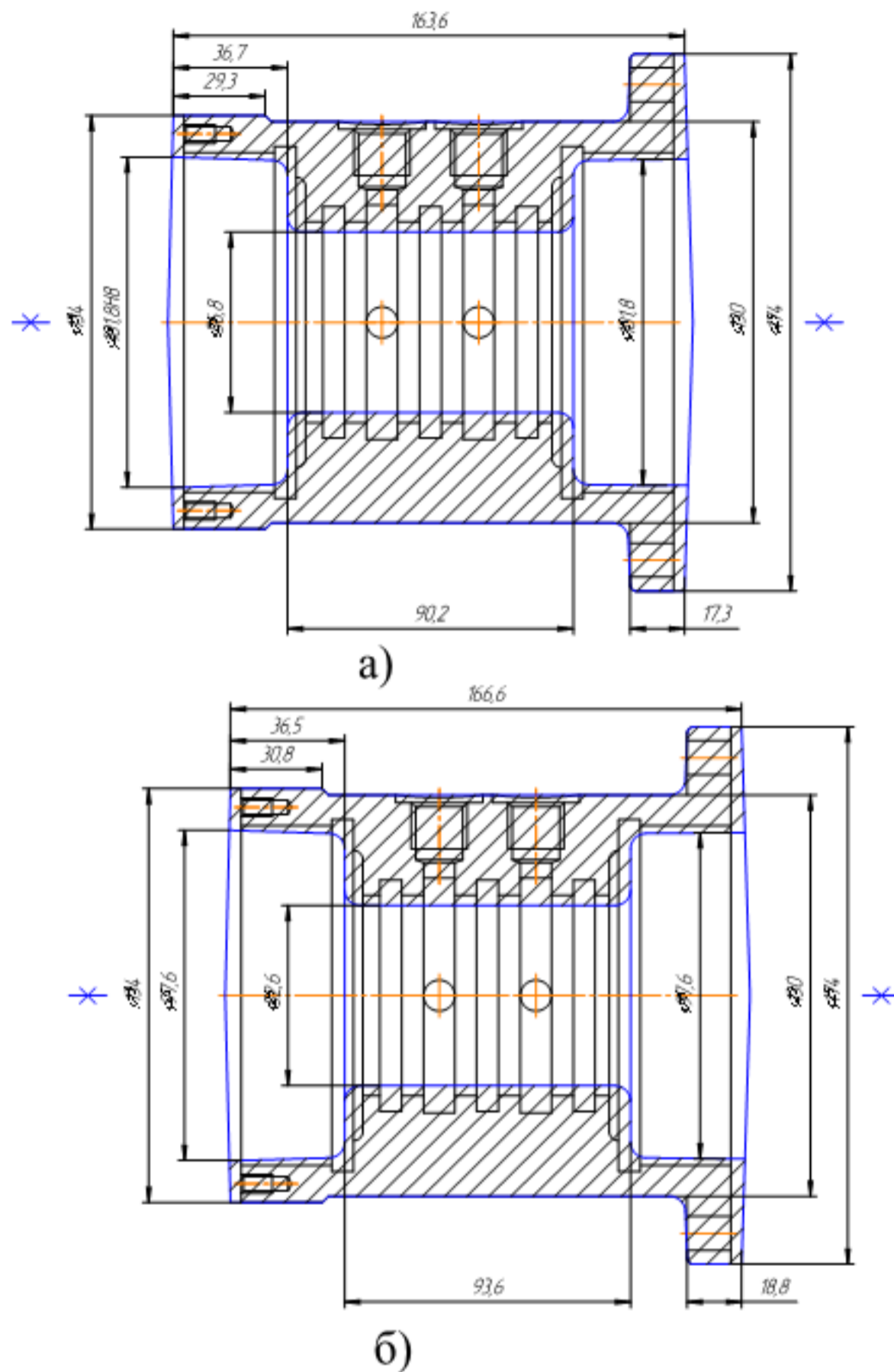


Рисунок 2.2 – Ескізи заготовок:

а – лиття в оболонковій формі; б – лиття в піщано глинистій формі

### 2.3.7 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси заготовки

Щоб розрахувати масу заготовок створено їх 3D-моделі за допомогою пикладних комп'ютерних програм.

Лиття в ОФ:

Площа	$S = 150817.266064 \text{ мм}^2$
Об'єм	$V = 1563217.387057 \text{ мм}^3$
Матеріал	СЧ18 ГОСТ 1412-85
Густина	$R_0 = 0.007200 \text{ г/мм}^3$
Маса	$Q_{\text{заг}} = 11255.165187 \text{ г}$

Коефіцієнт точності маси заготовки:

$$\gamma = Q_{\text{дет}}/Q_{\text{заг}} = 8,5/11,255 = 0,76.$$

Лиття в ПГФ:

Площа	$S = 147985.176778 \text{ мм}^2$
Об'єм	$V = 1621906,633611 \text{ мм}^3$
Матеріал	СЧ18 ГОСТ 1412-85
Густина	$R_0 = 0.007200 \text{ г/мм}^3$
Маса	$Q_{\text{заг}} = 11677.727762 \text{ г}$

Коефіцієнт точності маси заготовки:

$$\gamma = 8,5/11,677 = 0,72.$$

Отже, коефіцієнт точності маси при литті в ОФ більший, ніж при литті в ПГФ.

### 2.3.8 Техніко-економічне порівняння варіантів виготовлення заготовки

Вартість заготовки [7]:

$$C_{\text{заг.лит}} = \frac{Q_{\text{заг}}}{1000} \cdot C_{\text{л}} \cdot K_{\text{Т}} \cdot K_{\text{М}} \cdot K_{\text{С}} \cdot K_{\text{В}} \cdot K_{\text{П}} - \frac{(Q_{\text{заг}} - Q_{\text{дет}})}{1000} \cdot C_{\text{відх}} \text{ [грн.]} \quad (2.12)$$

Таблиця 2.18– Значення складових формул для визначення собівартості заготовок

Коефіцієнти	Лиття в ОФ	Лиття ПГФ
$C_{\text{Л}}$	5340	3600
$K_{\text{T}}$	1	1,5
$K_{\text{М}}$	1,00	1,00
$K_{\text{С}}$	1	1
$K_{\text{В}}$	0,86	0,91
$K_{\text{П}}$	1,1	1

Лиття в ОФ:

$$C_{\text{заг.лит}} = \frac{11,255}{1000} \cdot 5340 \cdot 1 \cdot 1,0 \cdot 1 \cdot 0,86 \cdot 1,1 - \frac{(11,255 - 8,5)}{1000} \cdot 150 = 56,443 \text{ (грн.)}$$

Лиття ПГФ:

$$C_{\text{заг.лит}} = \frac{11,677}{1000} \cdot 3600 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1 \cdot 0,91 \cdot 1 - \frac{(11,677 - 8,5)}{1000} \cdot 150 = 56,903 \text{ (грн.)}$$

Після розрахунку вартості заготовок бачимо, що вартість литої заготовки при литті в ПГФ більша, ніж при литті в в ОФ.

Економічний ефект при використанні лиття в ОФ:

$$E = (56,903 - 56,443) \cdot 2000 = 920 \text{ (грн.)}$$

2.4 Вибір методів, послідовності та числа переходів для обробки окремих поверхонь [4, 5]

Отвір Ø110H8, Ra=1.6 мкм. Для 15-го квалітету точності (заготовка): Tзаг=1400 мкм. Для 8-го квалітету точності (деталь): Tзаг=54 мкм.



Потрібне уточнення:

$$\varepsilon_{\Sigma \text{нотр}} = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}} = \frac{1400}{54} = 25.92.$$

Прийнято три переходи. Ступені уточнення на переходи механічної обробки:

- на першій  $\varepsilon_1 = 5 \dots 6$  (приймаємо  $\varepsilon_1 = 5$ ),
- на другій  $\varepsilon_2 = 1.5 \dots 3$  (приймаємо  $\varepsilon_2 = 3$ ),
- на першій  $\varepsilon_3 = 1.2 \dots 2$  (приймаємо  $\varepsilon_3 = 2$ ).

Фактичне уточнення:  $\varepsilon_{\Sigma \text{факт.}} = 5 \cdot 3 \cdot 2 = 30$ ;  $\varepsilon_{\Sigma \text{факт.}} > \varepsilon_{\Sigma \text{нотр}}$ .

Після першого переходу:  $T_1 = \frac{T_{\text{заг}}}{\varepsilon_1} = \frac{1400}{5} = 280$  (мкм) ( $\sim$ IT11).

Після другого переходу:  $T_{21} = \frac{T_{\text{заг}}}{\varepsilon_2} = \frac{280}{3} = 93.3$  (мкм) ( $\sim$ IT9).

Після третього переходу:  $T_{31} = \frac{T_{\text{заг}}}{\varepsilon_3} = \frac{93.3}{2} = 46.7$  (мкм) ( $\sim$ IT8).

Остаточно обираємо таку послідовність обробки отв.  $\varnothing 110\text{H}8$ :

- розточування попереднє,
- розточування попереднє,
- розточування остаточне.

Отвір  $\varnothing 65\text{H}8$ ,  $R_a = 1.6$  мкм.

Потрібне уточнення:  $\varepsilon_{\Sigma \text{нотр}} = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}} = \frac{1400}{46} = 30.43$ .

Приймаємо  $n_{\text{ПР}} = 3$ .

Призначаємо уточнення по окремим переходам:  $\varepsilon_1 = 5$ ,  $\varepsilon_2 = 3$ ,  $\varepsilon_3 = 2.0$ .

Фактичне уточнення

$$\varepsilon_{\Sigma \text{факт.}} = 5 \cdot 3 \cdot 2 = 30.$$

Умова  $\varepsilon_{\sum_{\text{факт.}}} > \varepsilon_{\sum_{\text{потр.}}}$ , виконується, а це свідчить про те, що кількість переходів та їх послідовність вибрані вірно.

$$\text{Після першого переходу: } T_1 = \frac{T_{заг}}{\varepsilon_1} = \frac{1400}{5} = 280 \text{ (мкм) } (\sim IT11).$$

$$\text{Після другого переходу: } T_{21} = \frac{T_{заг}}{\varepsilon_2} = \frac{280}{3} = 93.3 \text{ (мкм) } (\sim IT9).$$

$$\text{Після третього переходу: } T_{31} = \frac{T_{заг}}{\varepsilon_3} = \frac{93.3}{2} = 46.7 \text{ (мкм) } (\sim IT8).$$

Остаточно обираємо таку послідовність обробки отв. Ø65H8:

- розточування попереднє,
- розточування попереднє,
- розточування остаточне

Канавка Ø75H14, Ra=1.6 мкм (по всім поверхням).

Для дотримання заданої шорсткості призначаємо три переходи:

- попереднє розточування,
- попереднє розточування,
- попереднє розточування.

Два торці в розмірі 157h14, Ra=1.6 мкм.

Для дотримання заданої шорсткості для обробки кожного торця призначаємо три переходи:

- точіння попереднє,
- точіння попереднє,
- точіння остаточне.

Таблиця 2.19 – Призначення послідовності переходів

Поверхня, розмір	Послідовність переходів
Торець – пов. Ø174	1. Точіння попереднє 2. Точіння попереднє 3. Точіння остаточне
Торець – пов. Ø134	1. Точіння попереднє 2. Точіння попереднє 3. Точіння остаточне
Отвір – пов. Ø 110H8 (2 поверхні)	1. Розточування попереднє 2. Розточування попереднє 3. Розточування остаточне
Отвір – пов. Ø65H8	1. Розточування попереднє 2. Розточування попереднє 3. Розточування остаточне
Внутрішня кільцева канавка – пов. Ø75 (3 шт.)	1. Розточування попереднє 2. Розточування попереднє 3. Розточування остаточне

На всі інші поверхні призначається одноперехідна обробка

2.5 Варіантний вибір і розрахункове обґрунтування чорнових та чистових технологічних баз [4, 5]

В якості чорнових баз на першій операції використаємо поверхню Ø174, як направляючу базу, та її торець як упорну базу – ця схема базування відповідає токарному патрону. При використанні такого комплекту технологічних баз ми можемо обробити внутрішні циліндричні поверхні та (Ø65 та Ø110 яка надалі буде використовуватись для базування заготовки), канавки та торець заготовки (рис. 2.3, а).

На другій операції базування заготовки здійснюємо на внутрішню поверхню Ø110 та торець Ø134. На даній операції виконується обробка внутрішніх циліндричних, канавки, а також торця (рис. 2.2, б).

Комплект оброблених поверхонь в подальшому буде використовуватись в якості чистових штучних технологічних баз.

На наступних операціях виконуємо обробку різьбових та наскрізних отворів, (рис.2.3(в,г)).

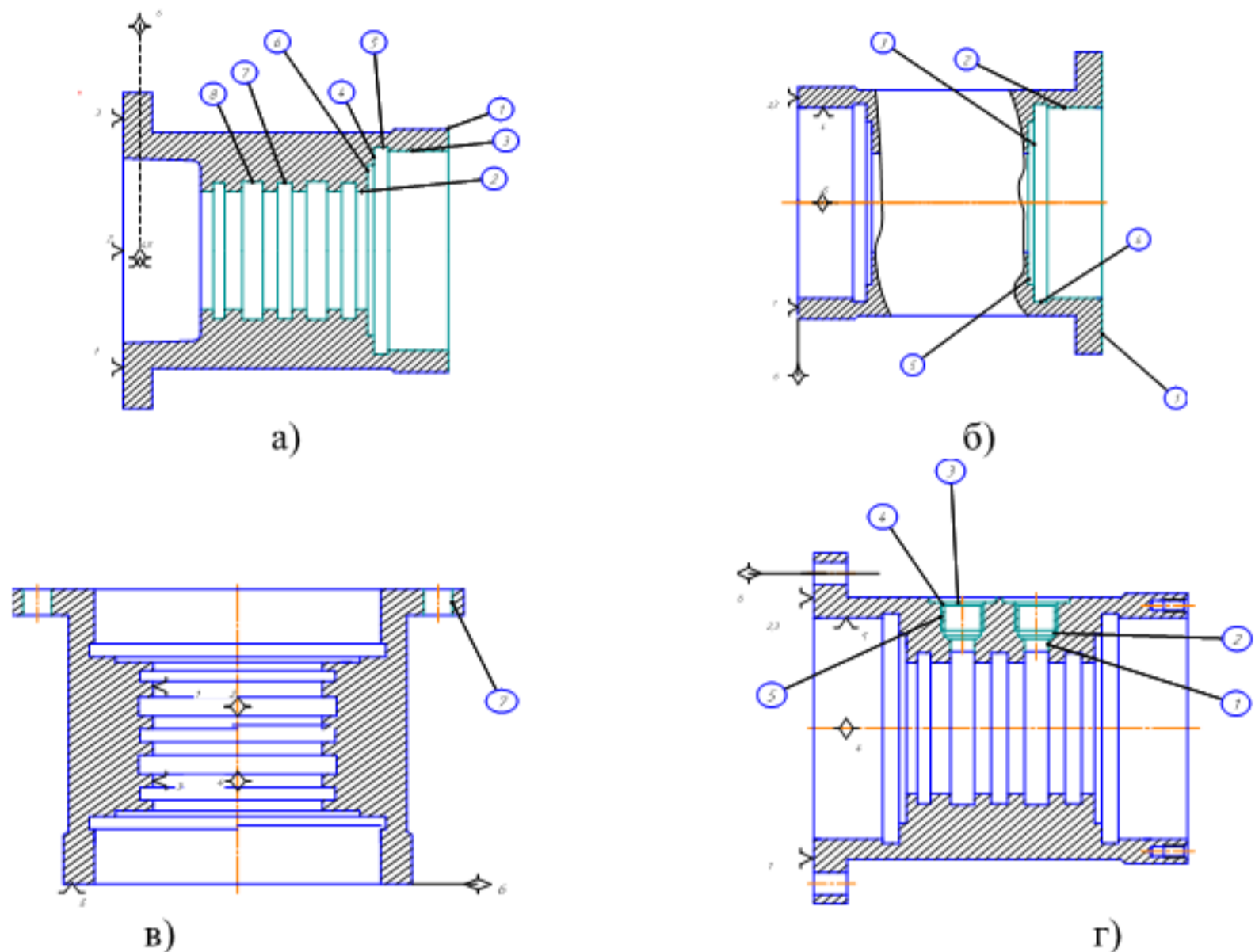


Рисунок 2.3 – Ескізи баз

Визначаємо похибки базування:

$\epsilon_{\phi 65, \phi 94, \phi 114} = 0$  – тому, що діаметральний розмір;

$\epsilon_{6157, 63,5, 14} = 0$  – тому, що виконується принцип спів падання вимірювальної та технологічної баз;

$\epsilon_{636, 31, 15,5, 32,5, 46,5, 63,5, 77,5, 85, 7, 3, 10, 15} = 0$  – тому, що виконується обробка з одного установу.

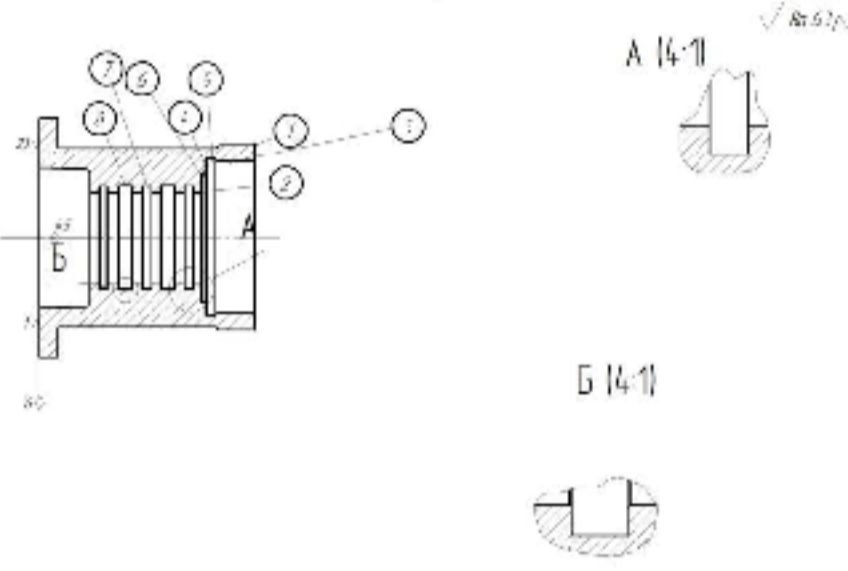
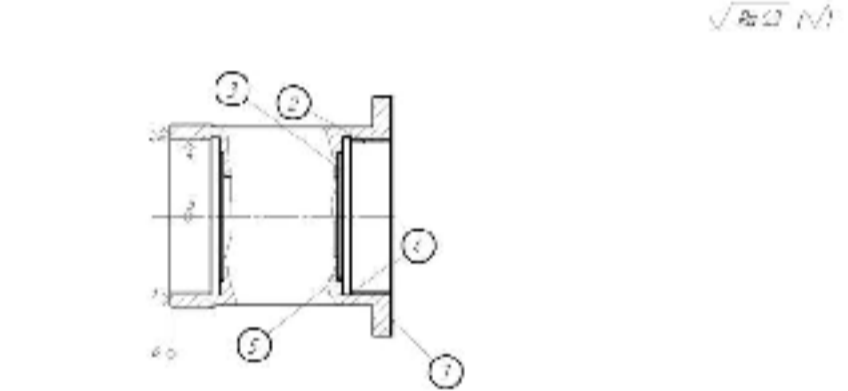
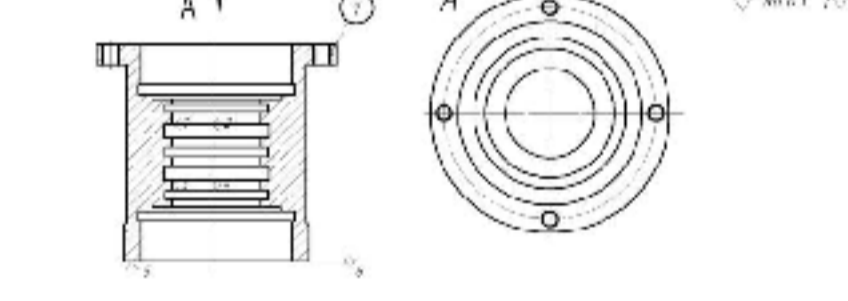
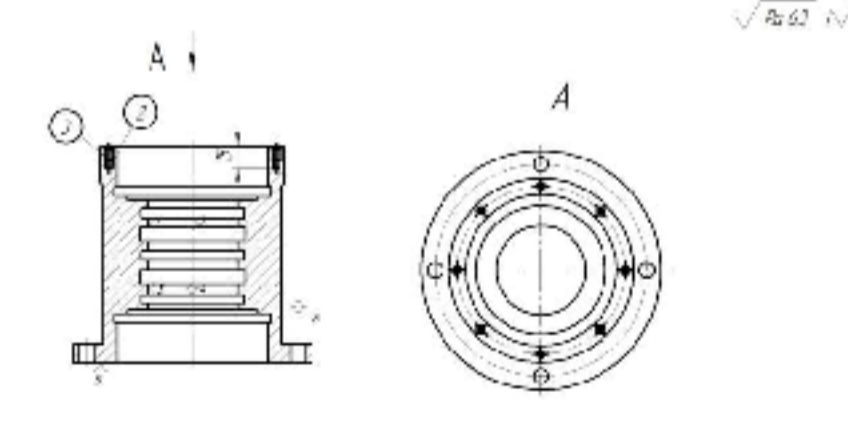
$\epsilon_{\phi 10, \phi 28, M18, M6} = 0$  – тому, що обробляється мірним інструментом.

Використання даних схем базування дозволяє нам забезпечити необхідні вимоги точності взаємного розташування поверхонь (за рахунок обробки взаємозалежних поверхонь за один установ, або ж завдяки використанню однієї із залежних поверхонь в якості базування при обробці іншої).

## 2.6 Розробка маршрутів механічної обробки удосконаленого ТП [4]

Варіанти удосконаленого ТП механічної обробки показано в табл. 2.19-2.20.

Таблиця 2.19 – Удосконалений маршрут механічної обробки (1 варіант)

№ веру	Найменування операції Знак переходу	Схема багубовня деталі та еска обробки	Підприємство
005	<p><b>Токарно-револьверна з ЧПК</b></p> <p>1 Обточка циліндру 2 Точка шп. 1 поперечно 3 Точка шп. 1 поперечно 4 Точка шп. 1 поперечно 5 Різання шп. 1 поперечно 6 Різання шп. 2 поперечно 7 Різання шп. 2 поперечно 8 Різання шп. 2 поперечно по шп. 4 обточка 9 Різання шп. 2 поперечно 10 Різання шп. 1 поперечно 11 Різання шп. 5 поперечно 12 Різання шп. 6 поперечно 13 Різання шп. 7 поперечно 7 шп. 6 14 Обточка 15 Різання шп. 7 поперечно 16 Різання шп. 7 поперечно 17 Діаметр циліндру</p>		<p>Державне підприємство «Укроборонмаш» м. Київ, вул. 100-ліття</p>
010	<p><b>Токарно-револьверна з ЧПК</b></p> <p>1 Обточка циліндру 2 Точка шп. 1 поперечно 3 Точка шп. 1 поперечно 4 Точка шп. 1 поперечно 5 Різання шп. 2 поперечно по шп. 2 обточка 6 Різання шп. 2 поперечно 7 Різання шп. 2 поперечно 8 Різання шп. 4 поперечно 9 Різання шп. 4 поперечно 10 Діаметр циліндру</p>		<p>ДП «Укроборонмаш»</p>
015	<p><b>Вертикально-свердильна</b></p> <p>1 Обточка циліндру 2 Циркування 1 шп. 1 обточка 3 Свердління 4 шп. 1 обточка</p>		<p>Державне підприємство «Укроборонмаш» м. Київ, вул. 100-ліття</p>
020	<p><b>Вертикально-свердильна з ЧПК</b></p> <p>1 Обточка циліндру 2 Циркування 1 шп. 1 обточка 3 Свердління 1 шп. 1 обточка 4 Свердління 1 шп. 1 обточка 5 Діаметр циліндру</p>		<p>Державне підприємство «Укроборонмаш» м. Київ, вул. 100-ліття</p>

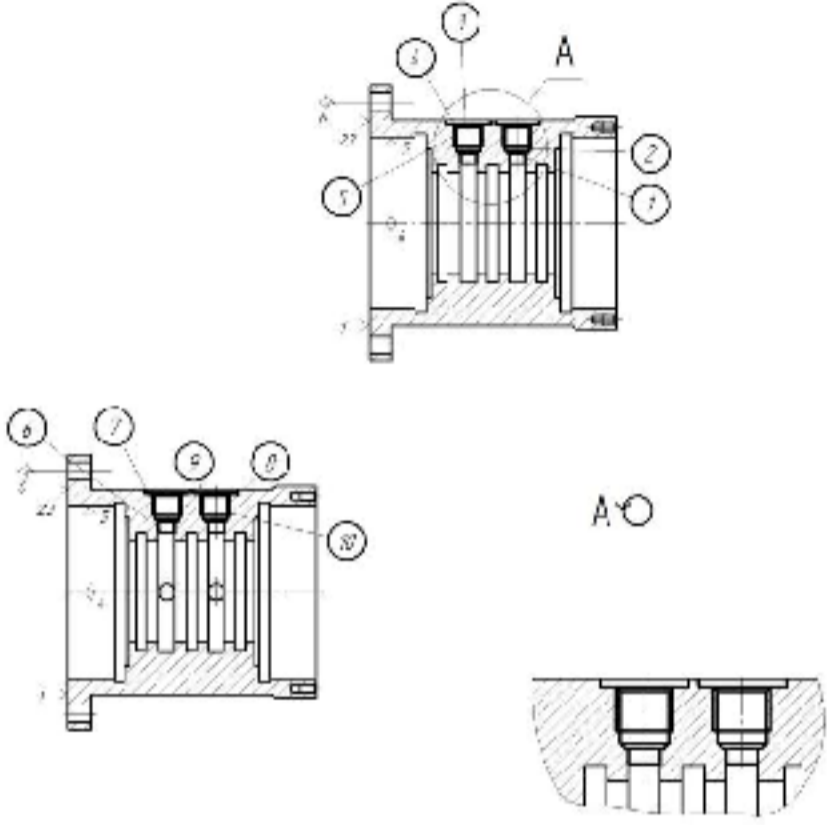
Продовження таблиці 2.19

1	2	3	4
<p>025</p>	<p><b>Вертикально-свердлильна з ЧПК</b>  <b>Установ А</b>                      1. Встановити заготовки                      2. Прокрутити 7 разів 1 обертання                      3. Свердлити 2 рази 1 обертання                      4. Розсвердлити 2 рази 2 обертання                      5. Шлифувати кож. 3 обертання                      6. Зенкувати діаметр 4                      7. Навісати дов. 5,8 2 рази 2 обертання</p> <p><b>Установ Б</b>                      8. Прокрутити 7 разів 6 обертання                      9. Свердлити 2 рази 6 обертання                      10. Розсвердлити 2 рази 7 обертання                      11. Шлифувати кож. 8 обертання                      12. Зенкувати фаску 9                      13. Навісати дов. 11,4 2 рази 6 обертання                      14. Зенку фаску</p>	<p style="text-align: right;"><math>\sqrt{Ra1}</math></p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Вертикально-свердлильна з ЧПК установ А/Б</p>

Таблиця 2.20 – Удосконалений маршрут механічної обробки (2 варіант)

№ опр	Найменування операції Зміст переходу	Схема базування деталі та ескіз обробки	Складові
005	<p><b>Токарно-револьверна з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити заготовку</li> <li>2. Токарні набі 1 попередня</li> <li>3. Токарні набі 1 попередня</li> <li>4. Токарні набі 1 попередня</li> <li>5. Розточити отвір 2 попередньо</li> <li>6. Розточити отвір 2 попередньо</li> <li>7. Розточити отвір 2 остаточно</li> <li>8. Розточити отвір 3 попередньо по набі 4 однократно</li> <li>9. Розточити отвір 3 попередньо</li> <li>10. Розточити отвір 3 остаточно</li> <li>11. Розточити канавку 5 однократно</li> <li>12. Розточити канавку 6 однократно</li> <li>13. Розточити 1 канавку 7 попередньо 2 канавки 8 однократно</li> <li>14. Розточити 3 канавки 7 попередньо</li> <li>15. Розточити 3 канавки 7 остаточно</li> <li>16. Зняти заготовку</li> </ol>		<p>Складові: токарно-револьверний верстаток з ЧПК модель 2125002</p>
010	<p><b>Токарно-револьверна з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити заготовку</li> <li>2. Токарні набі 1 попередня</li> <li>3. Токарні набі 1 попередня</li> <li>4. Токарні набі 1 попередня</li> <li>5. Розточити отвір 2 попередньо по набі 3 однократно</li> <li>6. Розточити отвір 2 попередньо</li> <li>7. Розточити отвір 2 остаточно</li> <li>8. Розточити канавку 4 однократно</li> <li>9. Розточити канавку 5 однократно</li> <li>10. Зняти заготовку</li> </ol>		<p>Складові: токарно-револьверний верстаток з ЧПК</p>
015	<p><b>Вертикально-свердлильна з ЧПК</b></p> <p>Істанд А</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити заготовку</li> <li>2. Центрувати 4 отві 1 однократно</li> <li>3. Свердлити 4 отві 1 однократно</li> </ol> <p>Істанд Б</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити заготовку</li> <li>2. Центрувати 8 отві 1 однократно</li> <li>3. Свердлити 8 отві 1 однократно</li> <li>4. Нарізати різь 2 в отві 1 однократно</li> <li>5. Зняти заготовку</li> </ol>		<p>Складові: вертикально-свердлильний верстаток з ЧПК модель 2125002</p>

## Продовження таблиці 2.20

1	2	3	4
020	<p><b>Вертикально-сверлильна з ЧПК</b></p> <p><i>Установ А</i></p> <p>1 Встановити заготовки 2 Центрувати 2 шт. 1 однократно 3 Шлифувати 2 шт. 1 однократно 4 Розсверлювати 2 шт. 2 однократно 5 Шлифувати 1 шт. 1 однократно 6 Вивести фаску 1 7 Навалити різь. 5 в 7 мм 2 однократно</p> <p><i>Установ Б</i></p> <p>8 Центрувати 2 шт. в однократно 9 Шлифувати 2 шт. в однократно 10 Розсверлювати 2 шт. 1 однократно 11 Шлифувати 1 шт. в однократно 12 Завести фаску 1 13 Навалити різь. 13 в 2 мм в однократно 14 Вити деталі</p>	<p style="text-align: right;">№ 1</p> 	Вертикально-сверлильний верстат моделі 2Р125192

## 2.7 Аналіз техніко-економічних показників варіантів технологічних процесів за мінімумом приведених витрат [3, 4]

При порівнянні варіантів ТП обробки оцінюється річний економічний ефект:

$$E_p = \frac{N_p \cdot (\sum_1^a C_{oi} - \sum_1^b C_{oi})}{100} \text{ [грн.],} \quad (2.13)$$

де  $N_p$  – річний обсяг виготовлення деталей, шт.;  $\sum_1^a C_{oi}$  – додаток собівартості операцій, які відрізняються по першому варіанту ТП,  $\sum_1^b C_{oi}$  – додаток собівартості операцій, які відрізняються по другому варіанту ТП;

$$C_o = \frac{C_{п-в} \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot k_B} \text{ [грн.],} \quad (2.14)$$



де  $C_{н-в}$  – годинні приведені витрати;

$T_{шт-к}$  - штучно-калькуляційний час на операцію.

Визначимо наближений економічний ефект з 2-х запропонованих варіантів ТП.

Таблиця 2.21 – Наближений економічний ефект

1-ий варіант ТП		2-ий варіант ТП	
Номер та назва операції	Обладнання	Номер та назва операції	Обладнання
005 – Токарно-револьверна з ЧПК	1В340Ф30	005 – Токарно-револьверна з ЧПК	1В340Ф30
010 – Токарно-револьверна з ЧПК	1В340Ф30	010 – Токарно-револьверна з ЧПК	1В340Ф30
015 – Вертикально-свердлильна	2Н118	015 – Вертикально-свердлильна з ЧПК (з двома установами)	2Р135Ф2
020 – Вертикально-свердлильна з ЧПК	2Р135Ф2		
025 – Вертикально-свердлильна з ЧПК (з двома установами)	2Р135Ф2	020 – Вертикально-свердлильна з ЧПК (з двома установами)	2Р135Ф2

У обох варіантах ТП операції 005, 010 і 025 (1 – й варіант) та 020 (2 – й варіант) є ідентичними. Операції 015 та 020 (1 – й варіант) у 2 – му варіанті об'єднані на операції 015 обробкою на одному верстаті з 2 – х установів.

- Визначаємо витрати основного часу .

1 – й варіант: операція 015 – свердління 4 – х отворів (по контуру)

- Ø11:

$$t_{o015} = 4 \cdot 0,52 \cdot d \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0,52 \cdot 11 \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 0,32 \text{ (хв.)}$$

1 – й варіант: операція 020 – центрування 8 – и отворів М6:

$$t_{o1} = 8 \cdot 0,52 \cdot d \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 0,52 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 0,075 \text{ (хв.)}$$

1 – й варіант: операція 020 – свердління 8 – и отворів Ø5:

$$t_{o2} = 8 \cdot 0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 0,52 \cdot 5 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0,312 \text{ (хв.)}$$

1 – й варіант: операція 020 – нарізання різі М6 у 8 – и отворах:

$$t_{o3} = 8 \cdot 0,4 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,192 \text{ (хв.)}$$

Сумарний основний час на операції 020:

$$t_{o020} = t_{o1} + t_{o2} + t_{o3} = 0,075 + 0,312 + 0,192 = 0,579 \text{ (хв.)}$$

2 – й варіант: операція 015 – центрування 4 – х отворів Ø11:

$$t_{o1} = 4 \cdot 0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 0,52 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 0,0374 \text{ (хв.)}$$

2 – й варіант: операція 015 – свердління 4 – х отворів Ø11:

$$t_{o2} = 0,32 \text{ хв. (див. 1 – й варіант, операція 015)}$$

2 – й варіант: операція 015 – центрування 8 – и отворів М6:  $t_{o3} = 0,075$  хв.

2 – й варіант: операція 015 – свердління 8 – и отворів Ø5:  $t_{o4} = 0,312$  хв.

2 – й варіант: операція 015 – нарізання різі М6 у 8-и отворах:  $t_{o5} = 0,192$  хв.

Витрати основного часу  $t_{o3}$ ,  $t_{o4}$ ,  $t_{o5}$  ідентичні витратам такого ж часу у 1- му варіанті ТП, відповідно,  $t_{o1}$ ,  $t_{o2}$ ,  $t_{o3}$ .

Сумарний основний час на операції 015:

$$t_{o015} = t_{o1} + t_{o2} + t_{o3} + t_{o4} = 0,0374 + 0,32 + 0,075 + 0,312 + 0,192 = 0,936 \text{ (хв.)}$$

Визначаємо витрати штучно-калькуляційного часу:

1 – й варіант:

$$T_{\text{шт-к } 015} = \varphi_{\text{к}} \cdot t_{o015} = 1,72 \cdot 0,32 = 0,55 \text{ (хв).}$$

$$T_{\text{шт-к } 020} = \varphi_{\text{к}} \cdot t_{o020} = 1,84 \cdot 0,579 = 1,065 \text{ (хв).}$$

2 – й варіант:

$$T_{\text{шт-к } 015} = \varphi_{\text{к}} \cdot t_{o015} = 1,84 \cdot 0,936 = 1,722 \text{ (хв).}$$

- Визначаємо годинні приведені витрати [4]

1 – й варіант:

$$C_{n-з015} = 67,4 \text{ (грн).} \quad (\text{верстат 2Н118})$$

$$C_{n-з020} = 59,2 \text{ (грн).} \quad (\text{верстат 2Р135Ф2})$$

2 – й варіант:

$$C_{n-з015} = 59,2 \text{ (грн).} \quad (\text{верстат 2Р135Ф2})$$

- Визначаємо собівартість операцій:

1 – й варіант:

$$C_{o015} = 67,4 \cdot 0,55 / (60 \cdot 1,3) = 0,475 \text{ (грн).}$$

$$C_{o020} = 59,2 \cdot 1,065 / (60 \cdot 1,3) = 0,808 \text{ (грн).}$$

$$C_{o\Sigma 1} = C_{o015} = 0,475 + 0,808 = 1,283 \text{ (грн).}$$

2 – й варіант:

$$C_{o\Sigma 11} = C_{o015} = 59,2 \cdot 1,722 / (60 \cdot 1,3) = 1,307 \text{ (грн).}$$

- Визначаємо очікуваний економічний ефект:

$$E = 2000(1,307 - 1,283) = 48 \text{ (грн.)}$$

На основі приведених попередніх економічних розрахунків, можна зробити заключення про те, що 1-й варіант удосконаленого ТП більш дешевий, і тому, для подальшої роботи приймаємо цей варіант.

## 2.8 Розмірно-точнісне моделювання технологічного процесу [4]

### 2.8.1 Вибір розташування технологічних розмірів [4]

Розташування технолог. Розмірів показано на рис. 2.3.

### 2.8.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів

Допуски на технологічні розміри призначаються згідно довідника [9, 10], для відповідного розміру за відповідним квалітетом, всі поверхні деталі, що розглядаються, мають 14 квалітет, а заготовка виконується 15 квалітету.

$$T(B_1) = 0,43 \text{ мм};$$

$$T(B_2) = 0,43 \text{ мм};$$

$$T(B_3) = 0,43 \text{ мм};$$

$$T(B_4) = 0,62 \text{ мм};$$

$$T(B_5) = 0,36 \text{ мм};$$

$$T(B_6) = 0,25 \text{ мм};$$

$$T(B_7) = 0,87 \text{ мм};$$

$$T(B_8) = 0,43 \text{ мм};$$

$$T(B_9) = 0,36 \text{ мм};$$

$$T(B_{10}) = 0,62 \text{ мм};$$

$$T(B_{11}) = 0,36 \text{ мм};$$

$$T(B_{12}) = 0,62 \text{ мм};$$

$$T(B_{13}) = 0,36 \text{ мм};$$

$$T(B_{14}) = 0,74 \text{ мм};$$

$$T(B_{15}) = 0,36 \text{ мм};$$

$$T(B_{16}) = 0,74 \text{ мм};$$

$$T(B_{17}) = 0,36 \text{ мм};$$

$$T(B_{18}) = 1,0 \text{ мм};$$

$$T(B_{19}) = 1,0 \text{ мм};$$

$$T(B_{20}) = 1,0 \text{ мм};$$

$$T(B_{21}) = 0,36 \text{ мм};$$

$$T(B_{22}) = 0,25 \text{ мм};$$

$$T(3_1) = 2,5 \text{ мм};$$

$$T(3_2) = 1,6 \text{ мм};$$

$$T(3_3) = 1,6 \text{ мм};$$

$$T(3_4)=0,7 \text{ мм}.$$

### 2.8.3 Розмірна схема технологічного процесу

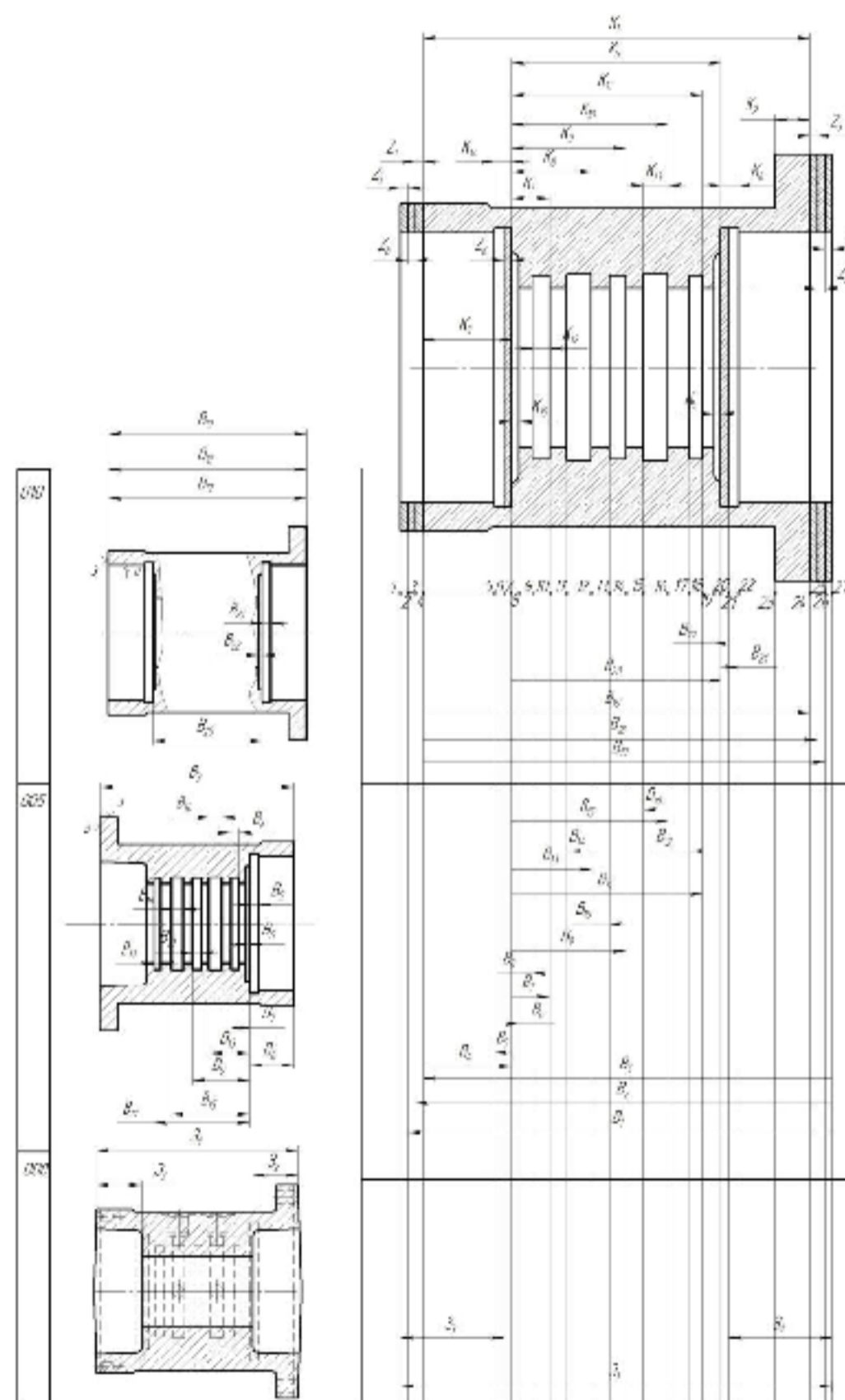


Рисунок 2.3 – Розмірна схема ТП

## 2.8.4 Похідний, вихідний граф-дерева, суміщений граф [4]

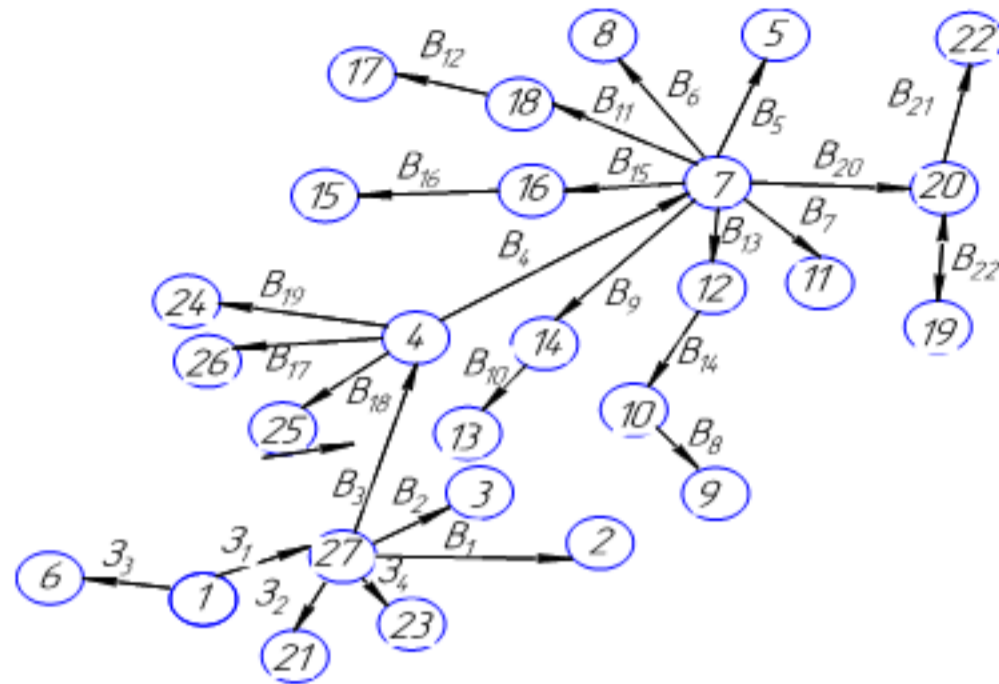


Рисунок 2.4 – Вихідний граф-дерево

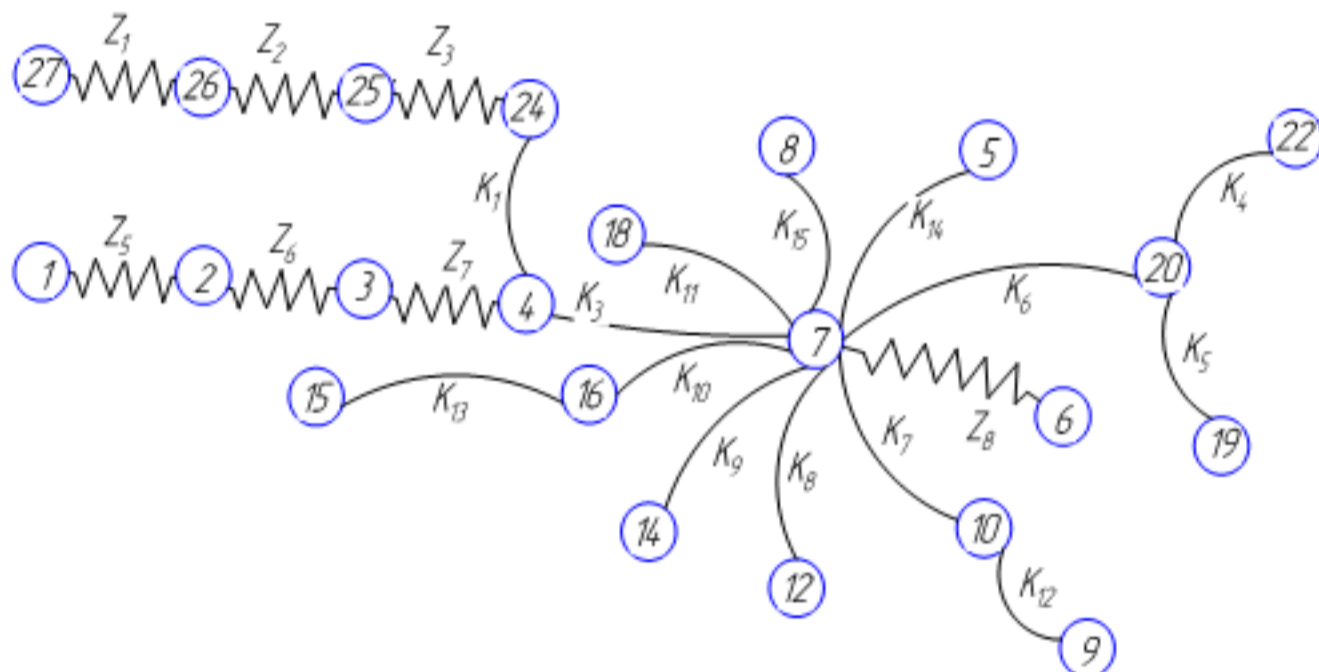


Рисунок 2.5 – Похідний граф-дерево

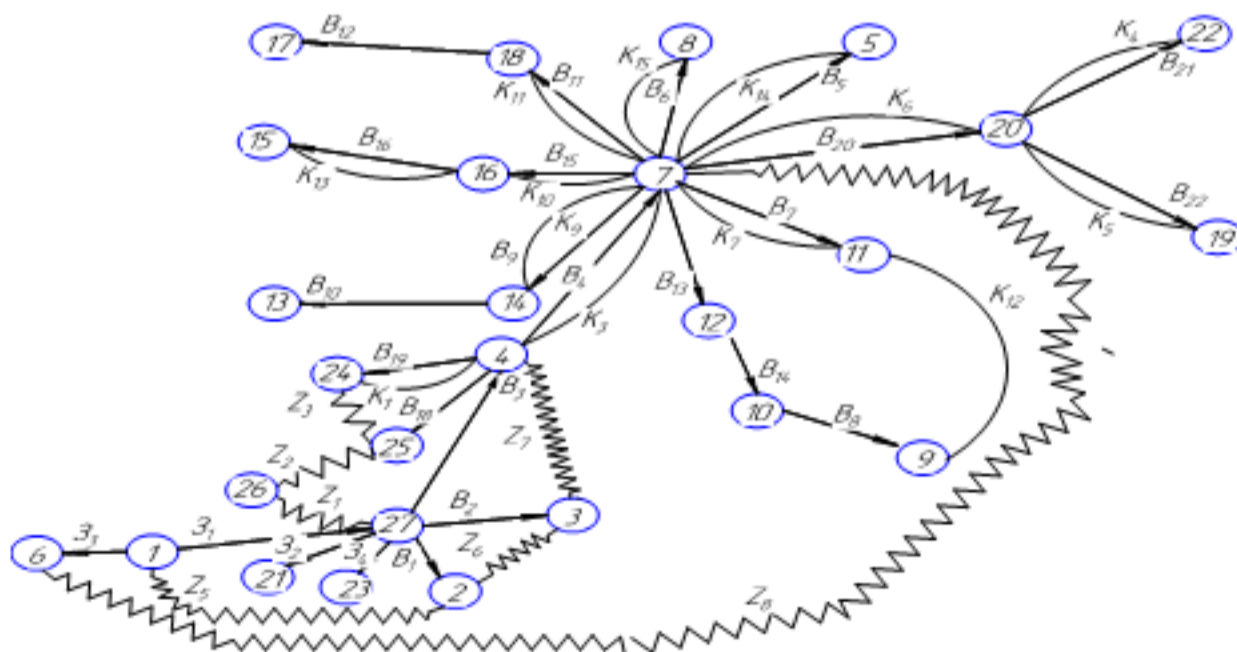


Рисунок 2.6 – Суміщений граф

### 2.8.5 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

Проміжні мінімальні припуски визначаємо нормативним способом згідно [11] і зводимо їх до таблиці 2.23.

Таблиця 2.23 – Проміжні мінімальні припуски

Припуски	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$	$Z_7$	$Z_8$
$Z_{\min}$	1,7	1,2	0,8	1,5	1,7	1,2	0,8	1,5

### 2.8.6 Таблиця рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Таблиця 2.24 – Рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

№	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Невідома ланка
1	$B_{18} - K_1 - Z_3 = 0$	$Z_3 = B_{18} - K_1$	$B_{18}$
2	$B_{17} - B_{18} - Z_2 = 0$	$Z_2 = B_{17} - B_{18}$	$B_{17}$
3	$B_3 - B_{17} - Z_1 = 0$	$Z_1 = B_3 - B_{17}$	$B_3$
4	$B_2 - B_3 - Z_7 = 0$	$Z_7 = B_2 - B_3$	$B_2$
5	$B_1 - B_2 - Z_6 = 0$	$Z_6 = B_1 - B_2$	$B_1$
6	$3_1 - B_1 - Z_5 = 0$	$Z_5 = 3_1 - B_1$	$3_1$
7	$B_{20} - K_6 = 0$	$K = B_{20}$	$B_{20}$
8	$B_3 - 3_2 - Z_4 - B_{20} - K_3 = 0$	$Z_4 = B_3 - 3_2 - B_{20} - K_3$	$3_2$
9	$3_3 + Z_8 - K_3 - Z_5 - Z_6 - Z_7 = 0$	$Z_8 = K_3 + Z_5 + Z_6 + Z_7 - 3_3$	$3_3$
10	$B_4 - K_3 = 0$	$K_3 = B_4$	$B_4$
11	$B_5 - K_{14} = 0$	$K_{14} = B_5$	$B_5$
12	$B_6 - K_{15} = 0$	$K_{15} = B_6$	$B_6$
13	$B_7 - K_7 = 0$	$K_7 = B_7$	$B_7$
14	$B_8 - K_{12} = 0$	$K_{12} = B_8$	$B_8$
15	$B_9 - K_9 = 0$	$K_9 = B_9$	$B_9$
16	$B_{10} - K_{12} = 0$	$K_{12} = B_{10}$	$B_{10}$
17	$B_{11} - K_{11} = 0$	$K_{11} = B_{11}$	$B_{11}$
18	$B_{12} - K_{12} = 0$	$K_{12} = B_{12}$	$B_{12}$
19	$B_{13} - K_8 = 0$	$K_8 = B_{13}$	$B_{13}$
20	$B_{14} - K_{13} = 0$	$K_{13} = B_{14}$	$B_{14}$
21	$B_{15} - K_{10} = 0$	$K_{10} = B_{16}$	$B_{15}$
22	$B_{16} - K_{13} = 0$	$K_{13} = B_{16}$	$B_{16}$
23	$B_{19} - K_1 = 0$	$K_1 = B_{19}$	$B_{19}$
24	$B_{21} - K_4 = 0$	$K_4 = B_{21}$	$B_{21}$
25	$B_{22} - K_5 = 0$	$K_5 = B_{22}$	$B_{22}$

### 2.8.7 Визначення технологічних розмірів

Наведемо значення конструкторських розмірів:

$$K_1 = 157_{-1,00};$$

$$K_2 = 14_{-0,43};$$

$$K_3 = 36 \pm 0,1;$$

$$K_4 = 7_{-0,43};$$

$$K_5 = 3_{-0,25};$$

$$K_6 = 85_{-0,87};$$

$$K_7 = 15,5_{-0,43};$$

$$K_8 = 32,5_{-0,62};$$

$$K_9 = 46,5_{-0,62};$$

$$K_{10} = 63,5_{-0,74};$$

$$K_{11} = 77,5_{-0,74};$$

$$K_{12} = 7_{-0,36};$$

$$K_{13} = 10_{-0,36};$$

$$K_{14} = 7_{-0,36};$$

$$K_{15} = 3_{-0,25};$$

Відповідно до визначених вище технологічних рівнянь визначимо для кожного розміру його межі:

$$1. Z_3 = B_{18} - K_1 \text{ мм}$$

$$Z_{3\text{min}} = B_{18\text{min}} - K_{1\text{max}}$$

$$B_{18\text{min}} = Z_{3\text{min}} + K_{1\text{max}} = 0,8 + 157 = 157,8 \text{ мм}$$

$$B_{18\text{ном}} = B_{18\text{min}} + \delta = 157,8 + 1,0 = 158,8 \text{ мм}$$

$$Z_{3\text{max}} = B_{18\text{max}} - K_{1\text{min}} = 158,8 - 156,0 = 2,8 \text{ мм}$$

$$B_{18\text{ном}} = 158,8_{-1,0}$$

$$2. Z_2 = B_{17} - B_{18}$$

$$Z_{2\text{min}} = B_{17\text{min}} - B_{18\text{max}}$$

$$B_{17\text{min}} = Z_{2\text{min}} + B_{18\text{max}} = 1,2 + 158,8 = 160,0 \text{ мм}$$

$$B_{17\text{max}} = B_{17\text{min}} + \delta = 160,0 + 1,0 = 161,0 \text{ мм}$$



$$Z_{2\max} = B_{17\max} - B_{18\min} = 161.0 - 157.8 = 3.2 \text{ MM}$$

$$B_{17\text{НОМ}} = 161,8_{-1,0}$$

$$3.Z_1 = B_3 - B_{17}$$

$$Z_{1\min} = B_{3\min} - B_{17\max}$$

$$B_{3\min} = Z_{1\min} + B_{17\max} = 1.7 + 161 = 162.7 \text{ MM}$$

$$B_{3\max} = B_{3\min} + \delta = 162.7 + 1.0 = 163.7 \text{ MM}$$

$$Z_{1\max} = B_{3\max} - B_{17\min} = 163.7 - 160.0 = 3.7 \text{ MM}$$

$$B_{3\text{НОМ}} = 163,7_{-1,0}$$

$$4.Z_7 = B_2 - B_3$$

$$Z_{7\min} = B_{2\min} - B_{3\max}$$

$$B_{2\min} = Z_{7\min} + B_{3\max} = 0.8 + 163,7 = 164.5 \text{ MM}$$

$$B_{2\max} = B_{2\min} + \delta = 164.5 + 1.0 = 165.5 \text{ MM}$$

$$Z_{7\max} = B_{2\max} - B_{3\min} = 165.5 - 162.7 = 2.8 \text{ MM}$$

$$B_{2\text{НОМ}} = 165,5_{-1,0}$$

$$5.Z_6 = B_1 - B_2$$

$$Z_{6\min} = B_{1\min} - B_{2\max}$$

$$B_{1\min} = Z_{6\min} + B_{2\max} = 1.2 + 165.5 = 166.7 \text{ MM}$$

$$B_{1\max} = B_{1\min} + \delta = 166.7 + 1.0 = 167.7 \text{ MM}$$

$$Z_{6\max} = B_{1\max} - B_{2\min} = 167.7 - 164.5 = 3.2 \text{ MM}$$

$$B_{1\text{НОМ}} = 167,7_{-1,0}$$

$$6.Z_5 = 3_1 - B_2$$

$$Z_{5\min} = 3_{1\min} - B_{1\max}$$

$$3_{1\min} = Z_{5\min} + B_{1\max} = 1.7 + 167.7 = 169.4 \text{ MM}$$

$$3_{1\max} = B_{1\min} + \delta = 166.7 + 1.0 = 167.7 \text{ MM}$$

$$Z_{5\max} = 3_{1\max} - B_{1\min} = 171.9 - 166.7 = 5.2 \text{ MM}$$

$$3_{1\text{НОМ}} = 171,9_{-2,5}$$

$$7.K_6 = B_{20}; B_{20} = 85 - 0.87 = B_{20\text{НОМ}};$$

$$8. Z_4 = B_4 - 3_2 - B_{20} - K_3;$$

$$Z_{4\min} = B_{3\max} - 3_{2\min} - B_{20\min} - K_{3\min}$$

$$3_{2\min} = B_{3\max} - Z_{4\min} - B_{20\min} - K_{3\min} = 163.7 - 1.5 - 84.13 - 35.9 = 42.17 \text{ MM}$$

$$z_{2\max} = z_{2\min} + \delta = 42.17 + 1.6 = 43.77 \text{ мм}$$

$$z_{4\max} = B_{3\min} - z_{2\max} - B_{20\max} - K_{3\max} = 162.7 - 43.77 - 85 - 36.1 = 2.17 = 5.2 \text{ мм}$$

$$z_{2\text{ном}} = 43,77_{-1,6}$$

$$9. z_8 = K_3 + z_5 + z_6 + z_7 - z_3;$$

$$z_{8\min} = K_{3\max} + z_{5\min} + z_{6\min} - z_{3\min}$$

$$z_{3\min} = K_{3\max} + z_{5\min} + z_{6\min} + z_{7\min} - z_{8\min} = 36.1 + 1.7 + 1.6 + 0.8 - 1.5 = 38.7 \text{ мм}$$

$$z_{3\max} = z_{2\min} + \delta = 38.7 + 1.6 = 40.3 \text{ мм}$$

$$z_{8\max} = K_{3\min} + z_{5\max} + z_{6\max} + z_{7\max} - z_{3\max} = 35.9 + 5.2 + 3.2 + 2.8 - 40.3 = 6.8 \text{ мм}$$

$$z_{3\text{ном}} = 40,3_{-1,6}$$

$$10. K_3 = B_4; B_4 = 36_{+0.1} = B_{4\text{ном}}$$

$$11. K_{14} = B_5; B_5 = 7_{-0.36} = B_{5\text{ном}}$$

$$12. K_{15} = B_6; B_6 = 3_{-0.25} = B_{6\text{ном}}$$

$$13. K_7 = B_7; B_7 = 15,5_{-0.43} = B_{7\text{ном}}$$

$$14. K_{12} = B_8; B_8 = 7_{-0.36} = B_{8\text{ном}}$$

$$15. K_9 = B_9; B_9 = 46,5_{-0.62} = B_{9\text{ном}}$$

$$16. K_{12} = B_{10}; B_{10} = 7_{-0.36} = B_{10\text{ном}}$$

$$17. K_{11} = B_{11}; B_{11} = 77,5_{-0.74} = B_{11\text{ном}}$$

$$18. K_{12} = B_{12}; B_{12} = 7_{-0.36} = B_{12\text{ном}}$$

$$19. K_8 = B_{13}; B_{13} = 32,5_{-0.62} = B_{13\text{ном}}$$

$$20. K_{13} = B_{14}; B_{14} = 10_{-0.36} = B_{14\text{ном}}$$

$$21. K_{10} = B_{15}; B_{15} = 63,5_{-0.74} = B_{15\text{ном}}$$

$$22. K_{13} = B_{16}; B_{16} = 10_{-0.36} = B_{16\text{ном}}$$

$$23. K_1 = B_{19}; B_{19} = 157_{-1,0} = B_{19\text{ном}}$$

$$24. K_4 = B_{21}; B_{21} = 7_{-0.96} = B_{21\text{ном}}$$

$$25. K_5 = B_{22}; B_{22} = 3_{-0.25} = B_{22\text{ном}}$$

Дані розрахунків зводимо до таблиць.

Таблиця 2.25 – Проміжні технологічні розміри, розміри заготовки

Номинальні розміри, мм	Допуски уточнені, мм	Квалітет	Допуски попередні, мм	Технологічні розміри
171.9 <sup>-2,5</sup>	2,5	16	2,5	3 <sub>1</sub>
43.77 <sup>-1,6</sup>	1,6	16	1,6	3 <sub>2</sub>
40.3 <sup>-1,6</sup>	1,6	16	1,6	3 <sub>3</sub>
167.7 <sup>-1,0</sup>	1,0	14	1,0	B <sub>1</sub>
165.5 <sup>-1,0</sup>	1,0	14	1,0	B <sub>2</sub>
167.7 <sup>-1,0</sup>	1,0	14	1,0	B <sub>3</sub>
36 <sup>-0,1</sup>	0,2	12	0,2	B <sub>4</sub>
7 <sup>-0,36</sup>	0,36	14	0,36	B <sub>5</sub>
3 <sup>-0,25</sup>	0,25	14	0,25	B <sub>6</sub>
15.5 <sup>-0,43</sup>	0,43	14	0,43	B <sub>7</sub>
7 <sup>-0,36</sup>	0,36	14	0,36	B <sub>8</sub>
7 <sup>-0,36</sup>	0,62	14	0,62	B <sub>9</sub>
7 <sup>-0,36</sup>	0,36	14	0,36	B <sub>10</sub>
77.5 <sup>-0,74</sup>	0,74	14	0,74	B <sub>11</sub>
7 <sup>-0,36</sup>	0,36	14	0,36	B <sub>12</sub>
32.5 <sup>-0,62</sup>	0,62	14	0,62	B <sub>13</sub>
10 <sup>-0,36</sup>	0,36	14	0,36	B <sub>14</sub>
63.5 <sup>-0,74</sup>	0,74	14	0,74	B <sub>15</sub>
10 <sup>-0,36</sup>	0,36	14	0,36	B <sub>16</sub>
161.0 <sup>-1,0</sup>	1,0	14	1,0	B <sub>17</sub>
158.8 <sup>-1,0</sup>	1,0	14	1,0	B <sub>18</sub>
157.1 <sup>-1,0</sup>	1,0	14	1,0	B <sub>19</sub>
85 <sup>-0,87</sup>	0,87	14	0,87	B <sub>20</sub>
7 <sup>-0,36</sup>	0,36	14	0,36	B <sub>21</sub>
6 <sup>-0,25</sup>	0,25	14	0,25	B <sub>22</sub>

Таблиця 2.26 – Значення максимальних припусків

Припуски	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>5</sub>	Z <sub>6</sub>	Z <sub>7</sub>	Z <sub>8</sub>
Z <sub>min</sub>	1.8	1.2	0.8	1.5	1.7	1.2	0.8	1.5
Z <sub>max</sub>	3.7	3.2	2.8	2.17	5.2	3.2	2.8	6.8

Висновок: 1. На основі розмірного аналізу технологічного процесу деталі наведено лінійні розміри деталі та заготовки, припуски на заготовку, проміжні припуски, технологічні розміри та допуски на них.

2. Проведений розмірний аналіз в принципі показав, що маршрут механічної обробки розроблено вірно і не вимагає доробки.

## 2.9 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів

2.9.1 Розрахунок проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні  $\varnothing 110H8^{(+0,054)}$  [3, 4]

Визначаємо елементи припуску

Визначення значень R і T проводимо відповідно до рекомендацій наведених в [3], враховуючи, що для заготовки дані параметри рівні 100 і 100

мкм. При попередньому розточуванні приймаємо  $R_z = T = 50$  мкм, а при остаточному розточуванні  $R_z = 25$  мкм,  $T = 30$  мкм.

Всі результати проведених розрахунків записано в таблицю 2.27.

Таблиця 2.27 – Розрахунок припусків та граничних розмірів по технологічним переходам на обробку отвору  $\varnothing 110H8^{(+0,054)}$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 110H8^{(+0,054)}$	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск, $2Z_{\min}$	Розрахунковий розмір, $d_p$ , мм	Допуск, $\delta$ мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	$R_z$	$T$	$\rho$				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
Заготовка	100	200	369.2	–	109,905	1400	106,9	108,3	–	–
розточування попереднє	50	50	22,15	2·585	109,4811	870	108,63	109,5	1730	1200
розточування попереднє	50	50	18,46	2·212	109,905	140	109,76	109,9	1120	400
розточування остаточне	25	30	–	2·74	110,054	54	110	110,054	240	154
Всього									2620	2133

Сумарне значення просторових відхилень:

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_{\text{кол}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2} \cdot [\text{МКМ}] \quad (2.15)$$

$$\rho_{\text{кол}} = \sqrt{(\Delta_{\kappa} d)^2 + (\Delta_{\kappa} l)^2} = \sqrt{(0,7 \cdot 110)^2 + (0,7 \cdot 29)^2} = 79,63 \text{ (МКМ)},$$

де  $d$ ,  $l$  – діаметр і довжина оброблювальної поверхні деталі;  $\Delta_{\kappa} = 0,7$  – питома кривизна заготовки [3].

При визначенні  $\rho_{\text{зм}}$  в даному випадку слід брати до уваги точність розміщення базових поверхонь, які використовуються при даній схемі установки і отриманих на попередніх операціях, відносно оброблюваної в даній установці поверхні.

$$\rho_{\text{зм}} = \sqrt{\left(\frac{\delta_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta_2}{2}\right)^2} = \sqrt{400^2 + 600^2} = 360,55 \text{ (МКМ)}.$$

Тоді:

$$\rho_3 = \sqrt{79,63^2 + 360,55^2} = 369,244 \text{ (МКМ)}.$$

При подальших переходах механічної обробки:

$$\begin{aligned}\rho_n &= k \cdot \rho_{n-1} \text{ [мкм];} \\ \rho_1 &= 0.06 \cdot 369,244 = 22,155 \text{ (мкм);} \\ \rho_2 &= 0,05 \cdot 369,244 = 18,462 \text{ (мкм).}\end{aligned}\tag{2.16}$$

Мінімальні значень міжопераційних припусків [3, 4]:

$$2Z_{\min} = 2 \left( R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) \text{ [мкм]},\tag{2.17}$$

де  $\varepsilon_1$  – похибка установки.

Похибка установки при попередньому точінні:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}, \text{ [мкм]}\tag{2.18}$$

де  $\varepsilon_6$  – похибка базування;  $\varepsilon_3$  – похибка закріплення.

При обробці даної поверхні

$$\begin{aligned}\varepsilon_6 &= 0, \varepsilon_3 = 110 \text{ мкм [3];} \\ \varepsilon_1 &= \sqrt{0 + 110^2} = 110 \text{ (мкм).}\end{aligned}$$

$\varepsilon_2$  – похибка установки при чистовому точінні.

$$\varepsilon_2 = 0.05 \cdot \varepsilon_1 + \varepsilon_{i_{\text{ч}}} \text{ [мкм];}\tag{2.19}$$

$\varepsilon_{i_{\text{ч}}} = 0$  – тому що чорнове та чистове точіння проводиться на одному установі.

$$\varepsilon_2 = 0.05 \cdot 110 = 5.5 \text{ (мкм)}.$$

Мінімальний припуск:

$$\text{Попереднє розточування: } 2Z_{1\min} = 2(100 + 100 + \sqrt{369,244^2 + 110^2}) = 2 \cdot 585 \text{ (мкм)}.$$

$$\text{Попереднє розточування: } 2Z_{2\min} = 2(50 + 50 + \sqrt{21,155^2 + 110^2}) = 2 \cdot 212 \text{ (мкм)}.$$

$$\text{Остаточне розточування: } 2Z_{4\min} = 2(25 + 30 + \sqrt{18,462^2 + 7^2}) = 2 \cdot 74 \text{ (мкм)}.$$

При остаточному розточуванні маємо отримати розмір вказаний на креслені:  $D = 110,054 \text{ мм}$ .

Таким чином отримуємо:

$$\text{- для остаточного розточування: } D_1 = 110,054 - 2 \cdot 74 = 109,905 \text{ (мм)};$$

$$\text{- для попереднього розточування: } D_2 = 109,905 - 2 \cdot 212 = 109,481 \text{ (мм)};$$

$$\text{- для попереднього розточування: } D_3 = 109,481 - 2 \cdot 585 = 108,31 \text{ (мм)}.$$

Для остаточного розточування допуск складає 54 мкм, відповідно для 8 квалітету; для попереднього розточування, відповідно для 10 квалітету, допуск складає 140 мкм, і для попереднього розточування 14 квалітету допуск відповідно рівний – 870 мкм та для заготовки, що має 15 квалітет точності, допуск складає 1400 мкм.

Мінімальні граничні розміри:

$$110,054 - 0,054 = 110 \text{ (мм)};$$

$$109,9 - 0,14 = 109,76 \text{ (мм)};$$

$$109,5 - 0,87 = 108,63 \text{ (мм)}.$$

для заготовки

$$D_4 = 108,3 - 1,4 = 106,9 \text{ (мм)}.$$

Отже, для остаточного розточування:

$$2Z_{\min 3} = 110,054 - 109,9 \text{ мм} = 154 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 3} = 25 - 109,76 = 0,152 \text{ мм} = 240 \text{ (мкм)};$$

- для попереднього розточування:

$$2Z_{\min 2} = 109,9 - 109,5 = 0,400 \text{ мм} = 400 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 1} = 109,76 - 108,63 = 0,552 \text{ мм} = 1120 \text{ (мкм)};$$

- для попереднього розточування:

$$2Z_{\min 1} = 109,5 - 108,3 = 1,5 \text{ мм} = 1200 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 1} = 108,63 - 106,9 = 1,916 \text{ мм} = 1730 \text{ (мкм)}.$$

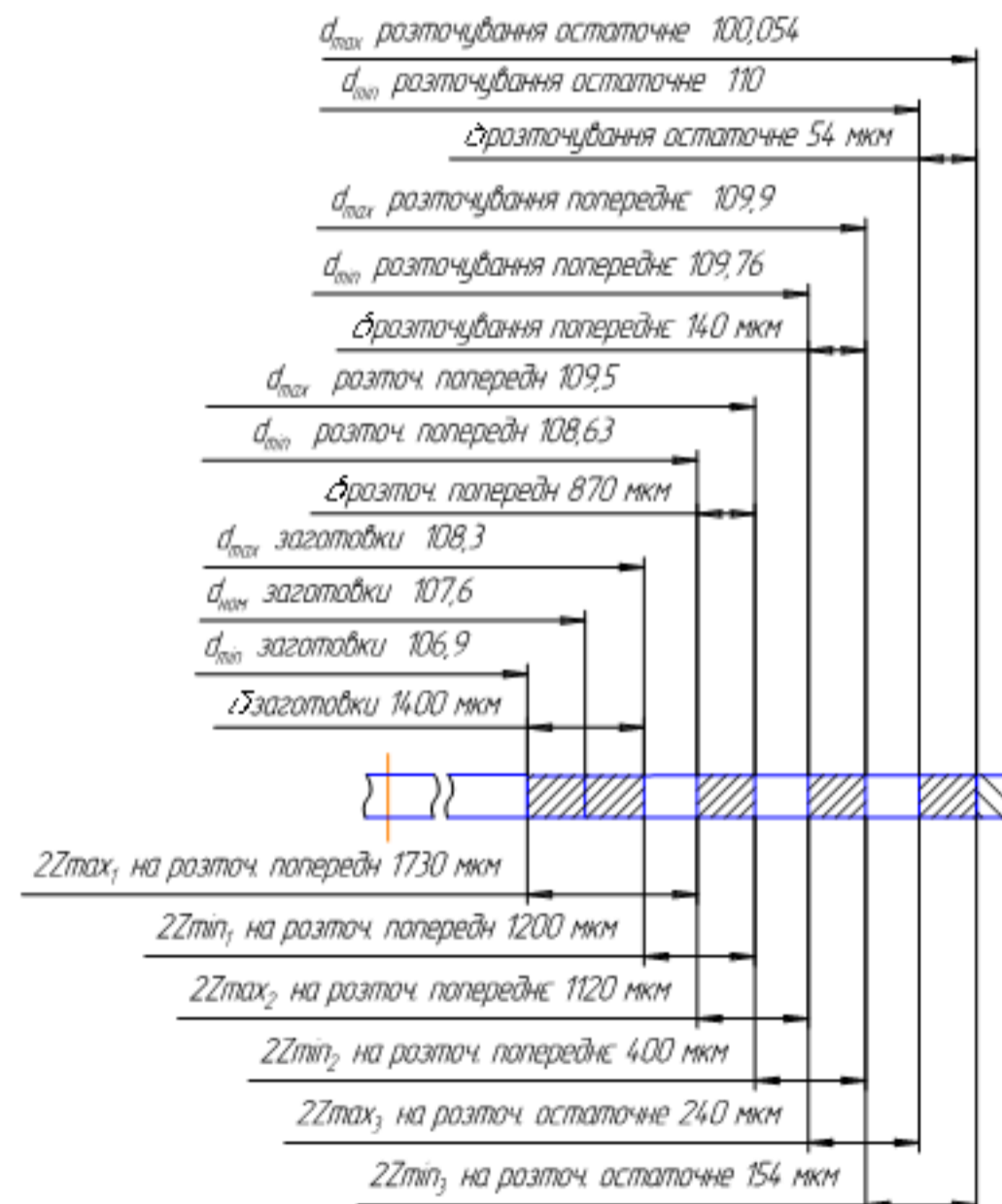


Рисунок 2.7 – Схема графічного розташування припусків і допусків на обробку

$\varnothing 110\text{H}8^{(+0,054)}$

Загальні припуски:

$$2Z_{0\min} = 154 + 400 + 1200 = 1754 \text{ (мкм);}$$

$$2Z_{0\max} = 240 + 1120 + 1730 = 3100 \text{ (мкм).}$$

2.9.2 Визначення проміжних припусків (за нормативами) і розрахунок технологічних розмірів і максимальних припусків на механічну обробку решти циліндричних поверхонь [4]

Таблиця 2.24 – Припуски на обробку циліндричних поверхонь

Поверхня (див табл.3)	Розміри, мм	Допуск, мкм	Технологічні переходи, технологічні проміжні розміри, масимальні припуски
1	2	3	4
Пов. 1 (опер. 005)	160,3 h14 Ra=1.6мкм	1000	1.Попереднє точіння $Z_{\max}=2\text{мм}$ ; $l=161.6\text{мм}$ . 2.Попереднє точіння $Z_{\max}=0,8\text{мм}$ ; $l=160.8\text{мм}$ . 3.Остаточне точіння $Z_{\max}=0,5\text{мм}$ ; $l=160.3\text{мм}$ .
Пов. 2 (опер. 005)	Ø110 H8 Ra=1.6мкм	54	1.Попереднє розточування $Z_{\max}=2,5\text{мм/на бік}$ ; Ø106,8H14. 2.Попереднє розточування $Z_{\max}=1,1\text{мм/на бік}$ ; Ø109 H10 3.Остаточне розточування $Z_{\max}=0,5\text{мм/на бік}$ ; Ø110 H8.
Пов. 1 (опер. 010)	160,3 h14 Ra=1.6мкм	1000	Аналогічно пов. 1 (опер. 005)
Пов. 2 (опер. 010)	Ø65 H8 Ra=1.6мкм	46	1.Попереднє розточування $Z_{\max}=2,5\text{мм/на бік}$ ; Ø161,8H14. 2.Попереднє розточування $Z_{\max}=1,1\text{мм/на бік}$ ; Ø61H10 3.Остаточне розточування $Z_{\max}=0,5\text{мм/на бік}$ ; Ø65H8.
Пов. 3 (опер. 010)	Ø110H8 Ra=1.6мкм	54	Аналогічно пов. 2 (опер. 005)



## Продовження таблиці 2.24

1	2	3	4
Пов. 7 (опер. 010)	7 ± IT14/2 Ø75 H14 Ra=1.6мкм (по діаметру та по ширині)	400 740	1.Попереднє розточування $Z_{\max 1}=3\text{мм/на бік}$ ; Ø71; $Z_{\max 1}=4,8\text{мм}$ (ширина різця); $b=4,8\text{мм}$ . 2.Попереднє розточування $Z_{\max 2}=1.5\text{мм/на бік}$ ; Ø74; $Z_{\max 2}=0,6\text{мм}$ ; $b=6\text{мм}$ . 3.Остаточне розточування $Z_{\max 3}=0.5\text{мм/на бік}$ ; Ø75; $Z_{\max 3}=0,5\text{мм/на бік}$ ; $b=7\text{мм}$ .

Всі інші поверхні підлягають однопрохідній обробці.

## 2.10 Призначення режимів різання

Аналітичний розрахунок [9, 10, 12-14]

Операція 005: 2-ий перехід – точити пов. 1 попередньо.

Вихідні дані:

- інструмент: різець прохідний, підрізний з тригранною пласниною ( $\varepsilon = 80^\circ$ ) з твердого сплаву з  $\varphi = 95^\circ$  ТУ-035-892-82 (MWL NR 2020 K06);
- верстат: токарно-револьверний з ЧПК мод. 1В340Ф30;
- потужність головного приводу  $N_e = 6$  кВт.

1. Глибина різання:  $t = 2$  мм

2. Подача:  $S_{mp} = 0,97$  мм/об

3. Швидкість різання

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

де  $C_v = 292$ ;  $T = 40$  хв;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,2$ ;  $m = 0,2$ .

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{cv} \cdot K_{Uv} = K_r \left(\frac{190}{HB}\right)^{n_v} \cdot K_{1v} \cdot K_{Uv} = 1,0 \left(\frac{190}{195}\right)^{1,25} \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 1,19 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 1,01.$$

Отже:

$$\begin{aligned} V &= \frac{292}{40^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,97^{0,2}} \cdot 1,01 = \\ &= \frac{292}{2,09 \cdot 1,1 \cdot 0,99} \cdot 1,01 \cong 127,14 (\text{і} / \text{д} \hat{a}) \end{aligned}$$

4. частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 127,14}{3,14 \cdot 134} \cong 302,2 \text{ (об/хв.)}$$

За паспортом верстат приймаємо:  $n_{np} = 300$  об/хв.

5. Уточнення швидкості різання:

$$V_{\omega} = \frac{\pi \cdot D_{\text{ш}} \cdot n_{\text{ш}}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 134 \cdot 300}{1000} \cong 126 \text{ (i / } \tilde{\text{d}}\text{)}.$$

6. Сила різання:

$$P_y = 10 C_p t^x S^y V^n K_p \text{ [H]},$$

де  $C_p = 54$ ;  $t = 2$  мм;  $x = 0,9$ ;  $S = 0,97$  мм/об;  $y = 0,75$ ;  $n = 0$ ;

$$\begin{aligned} K_p &= K_{M_p} \cdot K_{\varphi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p} = \left( \frac{\sigma_{\text{сп}}}{190} \right)^n \cdot K_{M_p} \cdot K_{\varphi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p} = \\ &= \left( \frac{180}{190} \right)^n \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,96 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,48 \end{aligned}$$

Отже:

$$D_y = 10 \cdot 54 \cdot 2^{0,9} \cdot 0,97^{0,75} \cdot 126^0 \cdot 0,48 = 540 \cdot 1,87 \cdot 0,98 \cdot 1 \cdot 0,48 = 395,8 \approx 396 \text{ (f)},$$

7. Потужність різання:

$$N = \frac{P_y \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{396 \cdot 126}{1020 \cdot 60} = 0,82 \text{ (кВт)}$$

$N_e < N$  (6 кВт < 0,82 кВт), отже обробка даної поверхні на верстаті можлива.

На інші операції режими різання визначаються аналогічним чином [9, 10].

Всі розрахунки зводимо до таблиці 2.28.

Таблиця 2.28 – Режими різання

	Операції та переходи	t, мм	S, мм/об	S, мм/х в	V, м/хв	n, об/хв	P, Н	N, кВт
Токарно-револьверна з ЧПК								
2	Точити пов.1 попередньо	2	0,97	291	164	300	360(P <sub>v</sub> )	3,8
3	Точити пов.1 попередньо	0,8	0,2	100	273	500	120(P <sub>v</sub> )	3,8
4	Точити пов.1 остаточно	0,5	0,05	40	437	800	80 (P <sub>v</sub> )	3,8
5	Розточити отв. 2 поперньо та	2,5	1,04	520	173	500	890(P <sub>v</sub> )	3,9
	пов. 3 однократно	0,7	1,04	1040	178	1000	360(P <sub>v</sub> )	3,9
6	Розточити отв. 2 попередньо	1,1	0,2	160	276	800	440(P <sub>v</sub> )	3,8
7	Розточити отв. 2 остаточно	0,5	,29	290	345	1000	500(P <sub>v</sub> )	3,8
8	Розточити канавку 4 однократно	2	0,19	133	251	700	120(P <sub>v</sub> )	3,5
9	Розточити канавку 5 однократно	3	0,16	144	266	900	120(P <sub>v</sub> )	3,5
Токарно-револьверна з ЧПК								
2	Точити пов.1 попередньо	2	0,97	291	164	300	360(P <sub>v</sub> )	3,8
3	Точити пов.1 попередньо	0,8	0,2	100	273	500	120(P <sub>v</sub> )	3,8
4	Точити пов.1 остаточно	0,5	0,05	40	437	800	80(P <sub>v</sub> )	3,8
5	Розточити отв. 2 попередньо	2,5	1,04	832	163	800	890(P <sub>x</sub> )	3,9
6	Розточити отв. 2 попередньо	1,1	0,2	240	245	1200	440(P <sub>x</sub> )	3,9
7	Розточити отв. 2 остаточно	0,5	0,29	522	367	1800	500(P <sub>x</sub> )	3,9
8	Розточити пов. 3 поперньо та	2,5	1,04	520	173	500	890(P <sub>x</sub> )	3,9
	пов. 4 однократно	0,7	1,04	1040	178	1000	360(P <sub>v</sub> )	3,9
9	Розточити отв. 3 попередньо	1,1	0,2	160	276	800	440(P <sub>x</sub> )	3,8
10	Розточити отв. 3 остаточно	0,5	0,29	290	345	1000	500(P <sub>x</sub> )	3,8
11	Розточити канавку 5 однократно	2	0,19	133	251	700	120(P <sub>v</sub> )	3,5
12	Розточити канавку 6 однократно	3	0,16	144	266	900	120(P <sub>v</sub> )	3,5
13	Розточити 3 канавки 7 попередньо	3	1,04	728	165	700	360(P <sub>v</sub> )	3,9
	2 канаки 8 однократно	5,5	0,8	560	165	700	360(P <sub>v</sub> )	3,9
14	Розточити 3 канавки 7 попередньо	1,5	0,2	140	65	700	120(P <sub>v</sub> )	3,9
15	Розточити 3 канавки 7 остаточно	0,5	0,07	126	424	1800	120(P <sub>v</sub> )	3,9
Вертикально-свердлильна								
2	Свердлити 4 отв. 1 однократно	5,5	0,3	189	21,76	630	260	1,2
Вертикально-свердлильна з ЧПК								
2	Центрувати 8 отв. 1 однократно	3	0,18	180	18,84	1000	1060	0,44
3	Свердлити 8 отв. 1 однократно	2,5	0,18	252	22	1400	1060	0,44
4	Нарізати різь в отв. 1	1	1	250	4,71	250	1,5	0,05
Вертикально-свердлильна з ЧПК								
Установ А								
2	Центрувати 2 отв. 1 однократно	3	0,16	160	18,84	1000	1060	0,44
3	Свердлити 2 отв. 1 однократно	5	0,16	113,6	22,29	710	1510	0,55
4	Розсвердлити 2 отв. 1 однократно	3,25	1,24	440,2	18,39	355	1351	0,79
5	Цекувати пов. 3 однократно	5,75	0,15	18,75	11	125	1765	3,74
6	Зенкувати фаски отв. 2	1,5	0,17	42,5	14,13	250	188	0,44
7	Нарізати різь 4 в отв. 2	1,5	1,5	375	14,13	250	23	0,38
Установ Б								
	Центрувати 2 отв. 5 однократно	3	0,16	160	18,84	1000	1060	0,44
	Свердлити 2 отв. 5 однократно	5	0,16	113,6	22,29	710	1510	0,55
	Розсвердлити 2 отв. 6 однократно	3,25	1,24	440,2	18,39	355	1351	0,79
	Цекувати пов. 7 однократно	5,75	0,15	18,75	11	125	1765	3,74
	Зенкувати фаски отв. 6	1,5	0,17	42,5	14,13	250	188	0,44
	Нарізати різь 8 в отв. 6	1,5	1,5	375	14,13	250	23	0,38

## 2.11 Математичне моделювання ТП та оптимізація режимів різання

Оптимізацію режимів різання виконано за допомогою програми (рис. 2.8) [4].

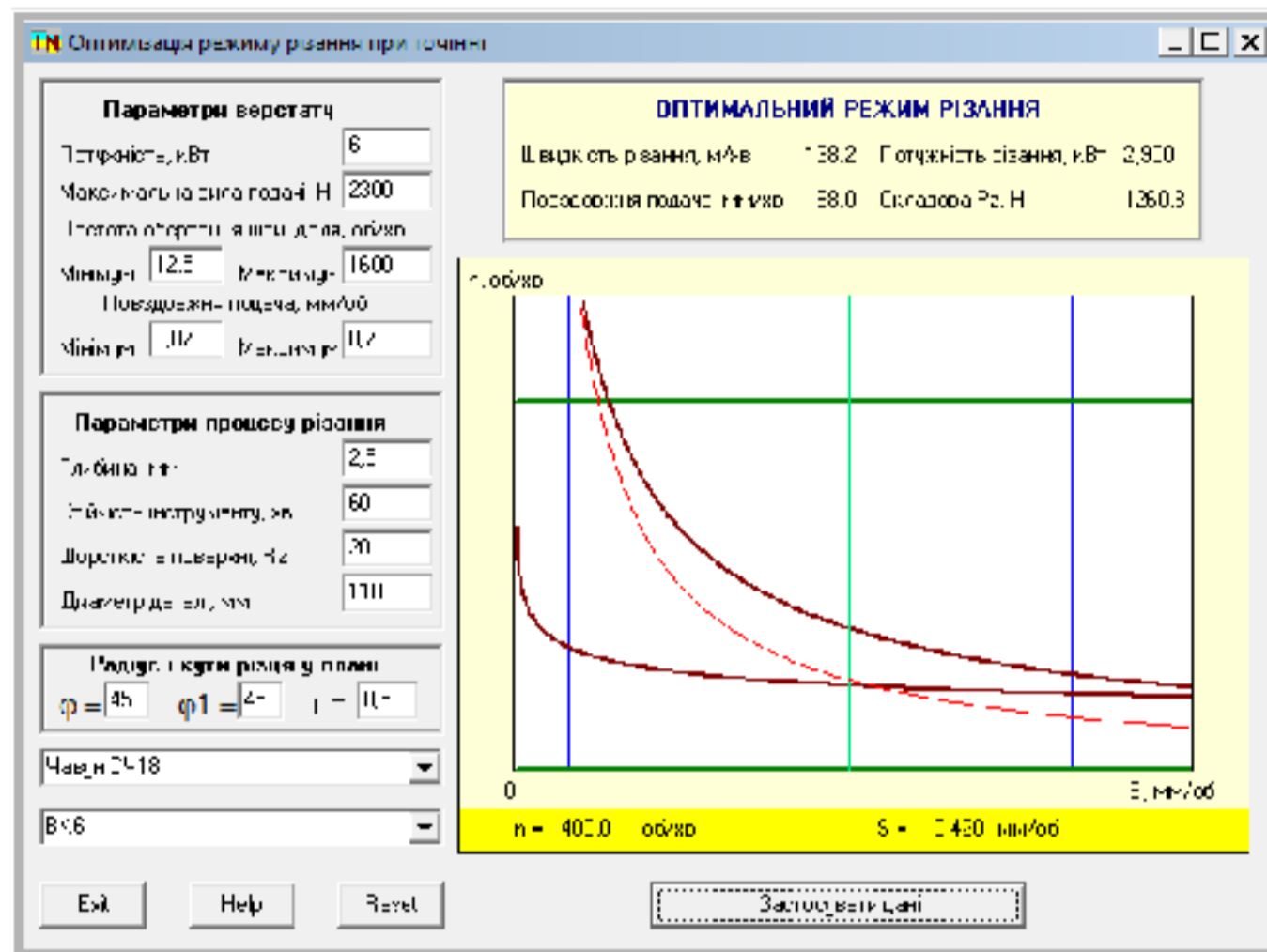


Рисунок 2.8 – Результати роботи оптимізація режимів різання для розточування попереднього  $\varnothing 110H8^{(+0,054)}$

Оптимальні режими різання для розточування попереднього  $\varnothing 110H8^{(+0,054)}$ :  
 $n = 400$  об/хв.;  $S = 0,42$  мм/об.

## 2.12 Визначення технічних норм часу

Розрахунок норм основного часу здійснено з врахуванням прийнятих режимів різання [3, 4, 9, 10].

Всі данні для розрахунку та результати зведено до таблиці 2.29.

Таблиця 2.29 – Зведена таблиця витрат основного часу обробки

Операції та переходи	S, мм/об	S, мм/хв	V, м/хв	n, об/хв	l, мм	l <sub>1</sub> , мм	l <sub>2</sub> , мм	L, мм	T <sub>0</sub> , хв	
Токарно-револьверна з ЧПК										
2	Точити пов.1 попередньо	0,97	291	164	300	16,7	5	1	22,7	0,078
3	Точити пов.1 попередньо	0,2	100	273	500	16,7	5	1	22,7	0,227
4	Точити пов.1 остаточно	0,05	40	437	800	16,7	5	1	22,7	0,568
5	Розточити отв. 2 попередньо	1,04	832	163	800	79	4	1	84	0,1
6	Розточити отв. 2 попередньо	0,2	240	245	1200	79	2	1	82	0,342
7	Розточити отв. 2 остаточно	0,29	522	367	1800	79	2	1	82	0,157
8	Розточити пов. 3 поперньо та	1,04	520	173	500	36	4	-	40	0,077
	пов. 4 однократно	1,04	1040	178	1000	11,25	4	-	15,25	0,0147
9	Розточити отв. 3 попередньо	0,2	160	276	800	36	4	-	40	0,25
10	Розточити отв. 3 остаточно	0,29	290	345	1000	36	4	-	40	0,138
11	Розточити канавку 5 однократно	0,19	133	251	700	2	3	-	5	0,0376
12	Розточити канавку 6 однократно	0,16	144	266	900	7,25	3	-	10,5	0,073
13	Розточити 3 канавки 7 попередньо	1,04	728	165	700	5	4	-	9	0,037
	2 канаки 8 однократно	0,8	560	165	700	5,5	4	-	9,5	0,034
14	Розточити 3 канавки 7 попередньо	0,2	140	65	700	5	4	-	9	0,193
15	Розточити 3 канавки 7 остаточно	0,07	126	424	1800	5	4	-	9	0,214
Токарно-револьверна з ЧПК										
2	Точити пов.1 попередньо	0,97	291	164	300	36,1	5	1	42,1	0,145
3	Точити пов.1 попередньо	0,2	100	273	500	36,1	5	1	42,1	0,421
4	Точити пов.1 остаточно	0,05	40	437	800	36,1	5	1	42,1	1,053
5	Розточити отв. 2 поперньо та	1,04	520	173	500	36	4	-	40	0,077
	пов. 3 однократно	1,04	1040	178	1000	11,25	4	-	15,25	0,0147
6	Розточити отв. 2 попередньо	0,2	160	276	800	36	4	-	40	0,25
7	Розточити отв. 2 остаточно	,29	290	345	1000	36	4	-	40	0,138
8	Розточити канавку 4 однократно	0,19	133	251	700	2	3	-	5	0,0376
9	Розточити канавку 5 однократно	0,16	144	266	900	4,75	3	-	10,75	0,0747
2	Свердли 4 отв. 1 одноразово	0,3	189	21,7 6	630	14	5	5	19	0,402
Вертикально-свердлильна з ЧПК										
2	Центрувати 8 отв. 1	0,18	180	18,8 4	1000	3	4	7	0,311	
3	Свердли 8 отв. 1 одноразово	0,18	252	22	1400	15	2	17	0,539	
4	Нарізати різь 2 в отв. 1	10	250	4,71	250	10	3	13	0,416	
Вертикально-свердлильна з ЧПК										
Установ А										
2	Центрувати 2 отв. 1 однократно	0,16	160	18,8 4	1000	3	L <sub>1</sub> + l <sub>2</sub> = 4	7	0,087 5	
3	Свердли 2 отв. 1 однократно	0,16	113,6	22,2 9	710	27	L <sub>1</sub> + l <sub>2</sub> = 5	32	0,563	
4	Розсвердли 2 отв. 1 одноразово	1,24	440,2	18,3 9	355	18	L <sub>1</sub> + l <sub>2</sub> = 4	22	0,1	
5	Цекувати пов. 3 однократно	0,15	18,75	11	125	2,5	L <sub>1</sub> + l <sub>2</sub> = 3	5,5	0,587	
6	Зенкувати фаски отв. 2	0,17	42,5	14,1 3	250	1,5	L <sub>1</sub> + l <sub>2</sub> = 4	4,5	0,211	
7	Нарізати різь 4 в 2-х отв. 2	1,5	375	14,1 3	250	14	L <sub>1</sub> + l <sub>2</sub> = 3P = 4,5	18,5	0,987	

## Продовження таблиці 2.29

Установ Б									
8	Центрувати 2 отв. 5	0,16	160	$\frac{18,8}{4}$	1000	3	$L_1 + l_2 = 4$	7	$\frac{0,087}{5}$
9	Свердлити 2 отв. 5 одноразово	0,16	113,6	$\frac{22,2}{9}$	710	27	$L_1 + l_2 = 5$	32	0,563
10	Розсвердлити 2 отв. 6 одноразово	1,24	440,2	$\frac{18,3}{9}$	355	18	$L_1 + l_2 = 4$	22	0,1
11	Цекувати 2 пов. 7	0,15	18,75	11	125	2,5	$L_1 + l_2 = 3$	5,5	0,587
12	Зенкувати фаски в отв. 6	0,17	42,5	$\frac{14,1}{3}$	250	1,5	$L_1 + l_2 = 3$	4,5	0,211
13	Нарізати різь 8 в 2-х отв. 6	1,5	375	$\frac{14,1}{3}$	250	14	$L_1 + l_2 = 3P = 4,5$	18,5	0,987

Детальне визначення технічних норм часу на операцію 025 [9, 10].

Визначаємо склад підготовчо-заключного часу:

- час, який витрачається на комплекс прийомів – 12 хв.

- час на допоміжні роботи: на встановлення пристосування підйомником – 10 хв.; на встановлення одного інструмента до магазину – 0,25 хв.

$$T_{п-з} = 12 + 10 + 6 \cdot 0,25 = 23,5 \text{ (хв.)}$$

Допоміжний час:

$$T_{п-з} = T_{ч.в} + T_{м.д}$$

де  $T_{ч.в} = 0,086$  хв. – час на встановлення та зняття заготовки;  $T_{м.д}$  – машинно-допоміжний час:

час на переміщення столу по вісям X та Y;

- прискорене – 0,03 хв, на довжині 300 мм;

- установне – 0,1 хв.;

- час на автоматичну заміну інструмента (11 замін) -  $11 \cdot 0,025 = 0,275$  (хв.)

$$T_{м.д} = 0,03 + 0,1 + 0,275 = 0,405 \text{ (хв.)}$$

Тоді:

$$T_{д} = 0,086 + 0,405 = 0,491 \text{ (хв.)}$$

Оперативний час:

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_{\text{ч.в}} + T_{\text{м.д}}, [\text{хв.}] \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} T_{\text{оп}} &= (0,0875 \cdot 2 + 0,563 \cdot 2 + 0,1 \cdot 2 + 0,587 \cdot 2 + 0,211 \cdot 2 + 0,978 \cdot 2) + 0,086 + 0,405 = \\ &= (2 + 3,598 + 0,2 + 1,174 + 0,422 + 1,974) + 0,491 = 9,859 \text{ (хв.)} \end{aligned}$$

Час на обслуговування робочого місця та особисті потреби у % від оперативного часу:

$$T_{\text{обсл.п}} = 9,859 \cdot 16/100 = 1,577 \text{ (хв.)}$$

Час роботи верстата над програмою керування:

$$T_{\text{п.к}} = T_o + T_{\text{м.д}} = 9,368 + 0,405 = 9,773 \text{ (хв.)}$$

Штучно-калькуляційний час на операцію 025:

$$\begin{aligned} T_{\text{шт-к025}} &= T_o + T_{\text{д}} + T_{\text{обсл.п}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{m} = 9,368 + 0,491 + 1,577 + \frac{23,5}{95} = 11,863 \text{ (хв.)} \\ n &= \frac{N \cdot 12}{254} = 95 \text{ (шт.)} \end{aligned}$$

Детальне визначення технічних норм часу на операцію 020.

Визначасмо склад підготовчо-заключного часу:

- час, який витрачається на комплекс прийомів – 12 хв.
- час на допоміжні роботи: на встановлення пристосування підйомником – 10 хв.; на встановлення одного інструмента до магазину – 0,25 хв.

$$T_{\text{п-з}} = 12 + 10 + 3 \cdot 0,25 = 22,75 \text{ (хв.)}$$

Допоміжний час:

$$T_{\text{п-з}} = T_{\text{ч.в}} + T_{\text{м.д}}, [\text{хв.}] \quad (2.22)$$

де  $T_{ч.в} = 0,086$  хв. – час на встановлення та зняття заготовки;  $T_{м.д}$  – машинно-допоміжний час:

- час на переміщення столу по вісям X та Y;
- прискорення – 0,19 хв, (з розрахунку 0.03 хв. на 300 мм);
- встановлення – 0,1 хв.;
- час на автоматичну заміну інструмента (2 заміни) –  $2 \cdot 0,025 = 0,05$  хв.

$$T_{м.д} = 0,19 + 0,1 + 0,05 = 0,34 \text{ (хв.)}$$

Тоді:

$$T_{д} = 0,086 + 0,34 = 0,426 \text{ (хв.)}$$

Оперативний час:

$$\begin{aligned} T_{оп} &= T_o + T_{ч.в} + T_{м.д}, [\text{хв.}] \\ T_{оп} &= (0,311 + 0,539 + 0,416) + 0,086 + 0,34 = \\ &= 1,266 + 0,426 = 1,692 \text{ (хв.)} \end{aligned}$$

Час на обслуговування робочого місця та особисті потреби у % від оперативного часу:

$$T_{обсл.п} = 1,692 \cdot 16 / 100 = 0,27 \text{ (хв.)}$$

Час роботи верстата над програмою керування:

$$T_{п.к} = T_o + T_{м.д} = 1,266 + 0,34 = 1,606 \text{ (хв.)}$$

Штучно-калькуляційний час на операцію 020:

$$T_{шт-к025} = T_o + T_{д} + T_{обсл.п.} + \frac{T_{п-з}}{m} = 1,266 + 0,426 + 0,426 + 0,27 + \frac{22,75}{95} = 2,2 \text{ хв.}$$

На всі інші операції норми часу розраховуємо аналогічно і результати всіх розрахунків зводимо до таблиці 2.30.



Таблиця 2.30 – Зведена таблиця норм часу

№	Найменування операції	$T_{o,}$ ХВ	$T_{д,}$ ХВ	$T_{оп,}$ ХВ	$T_{обсл.п}$	$T_{відп.}$ ХВ	$T_{п-з,}$ ХВ	$T_{шт-к,}$ ХВ
005	Токарно-револьверна з ЧПК	2,324	0,521	2,845	0,455		23,6	3,547
010	Токарно-револьверна з ЧПК	2,54	0,568	3,108	0,497		24,11	3,859
015	Вертикально-свердлильна	0,402	0,83	1,23	1,075		18,0	2,496
020	Вертикально-свердлильна з ЧПК	1,266	0,426	1,692	0,27		22,75	2,2
025	Вертикально-свердлильна з ЧПК	9,368	0,491	9,859	1,577		23,5	11,863

### 2.13 Висновки

Проведено удосконалення ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001». При цьому:

- виконано аналіз технологічності конструкції деталі і встановлено, що деталь «Корпус гідромуфти 12.00.001» технологічна;

- за розрахунками  $K_{з.о.}$  встановлено, що тип виробництва дрібносерійний, групова форма організації роботи;

- вибрано два найбільш доцільних способи виготовлення заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001» – лиття в оболонкові форми та в піщано-глинисті форми. При розрахунку собівартості заготовки виявлено, що вартість заготовки виготовленої литтям в оболонкові форми складає 56,44 грн., що менше у порівнянні з литтям в піщано-глинисті форми – 56,9 грн.; тоді як коефіцієнт точності маси при литті в оболонкові форми (0,76) більший, ніж при литті в піщано-глинисті форми (0,72);

- розроблено удосконалений ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001» на основі використання верстатів з ЧПК, виконане його розмірно-точнісне моделювання;

- розраховано припуски та міжопераційні розміри, режими різання та норми часу.

### **3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІДРОПРИВОДОМ ЗМІШУВАЛЬНОГО БАРАБАНА АВТОБЕТОНОЗМІШУВАЧА**

#### **3.1 Огляд типових виконань приводу обертання змішувального барабана автобетонозмішувача**

Автобетонозмішувачі (АБЗ) застосовують для приготування бетонної суміші на шляху проходження від живлячих дозованими сухими компонентами спеціалізованих установок до місця укладання, для приготування бетонної суміші безпосередньо на будівельному об'єкті, а також для транспортування готової якісної суміші із збудженням при її перевезенні. АБЗ є гравітаційними реверсивними бетонозмішувачами з грушоподібним змішувальним барабаном, встановленим на шасі вантажних автомобілів [15–19].

Змішувальні барабани мають постійний кут нахилу осі ( $10...15^\circ$ ) до горизонту. Всередині змішувальних барабанів встановлені двозаходні гвинтові лопаті, що забезпечують завантаження і перемішування бетонної суміші при обертанні барабана в один бік і вивантаження готової суміші при обертанні барабана у зворотному напрямі (реверсі).

Для завантаження змішувального барабана компонентами суміші або бетонною сумішшю, а також вивантаження суміші зі змішувального барабана на місце укладання АБЗ обладнуються лотковими завантажувально-розвантажувальними пристроями. Для забезпечення технологічного процесу приготування бетонної суміші з сухих компонентів, заздалегідь завантажених в змішувальний барабан, а також промивання барабана і вузлів АБЗ від залишків бетонної суміші АБЗ оснащений системою водопостачання з баками для води, апаратурою для подачі води під тиском і її дозування.

В АБЗ можна перевозити суміш практично на необмежені відстані, однак найбільша ефективність досягається при транспортуванні на відстань до 70-90 км. Технологічне устаткування АБЗ максимально уніфіковане і здатне

працювати при температурі навколишнього повітря  $-30^{\circ}\dots+40^{\circ}\text{C}$ . Максимальна швидкість завантажених АБЗ при русі по дорогах в технологічному режимі складає не більше 60 км/год.

Головним параметром АБЗ є місткість змішувального барабана за виходом готової суміші ( $\text{м}^3$ ). Сучасний модельний ряд АБЗ містить типорозміри з номінальною місткістю барабанів 4-16  $\text{м}^3$  бетонної суміші, які є найбільш затребуваними на різних будівельних об'єктах.

Привід обертання змішувального барабана може бути:

- механічним з відбором потужності від автономного двигуна через систему механічних передач, що включають реверсивний редуктор і ланцюгову передачу з зубчатим вінцем, закріпленим на барабані;

- гідромеханічним з відбором потужності через гідромеханічну передачу від автономного двигуна, двигуна базового шасі або від коробки відбору потужності трансмісії шасі.

В сучасних АБЗ використовується гідромеханічний відбір потужності приводу барабана, який, в порівнянні з механічним приводом, більш прогресивний та замінює важку й складномеханічну трансмісію, що для мобільних робочих машин є визначальним фактором.

Гідромеханічна передача містить гідронасос з регульованою подачею, реверсивний гідромотор і планетарний редуктор. Гідронасос нагнітає робочу рідину в гідромотор, який через планетарний редуктор приводить в обертання змішувальний барабан. Гідромеханічний привід дозволяє безступінчасто плавно регулювати частоту обертання барабана. Робочий тиск в гідросистемі складає 18...25 МПа.

Сьогодні в Україні використовується переважно два типи виконання гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана – ДА та ДО. Буквами ДА (двигун автономний) позначається привід змішувального барабана від автономного дизельного двигуна, ДО (двигун основний) – привід від основного двигуна шасі через коробку відбору потужності (КВП).

Розгорнута схема приводу обертання барабана (рис. 3.1):

1. Привід ДО: двигун шасі – КВП – регульованій гідронасос – гідромотор – редуктор – змішувальний барабан;

2. Привід ДА: автономний двигун – регульованій гідронасос – гідромотор – редуктор – змішувальний барабан.

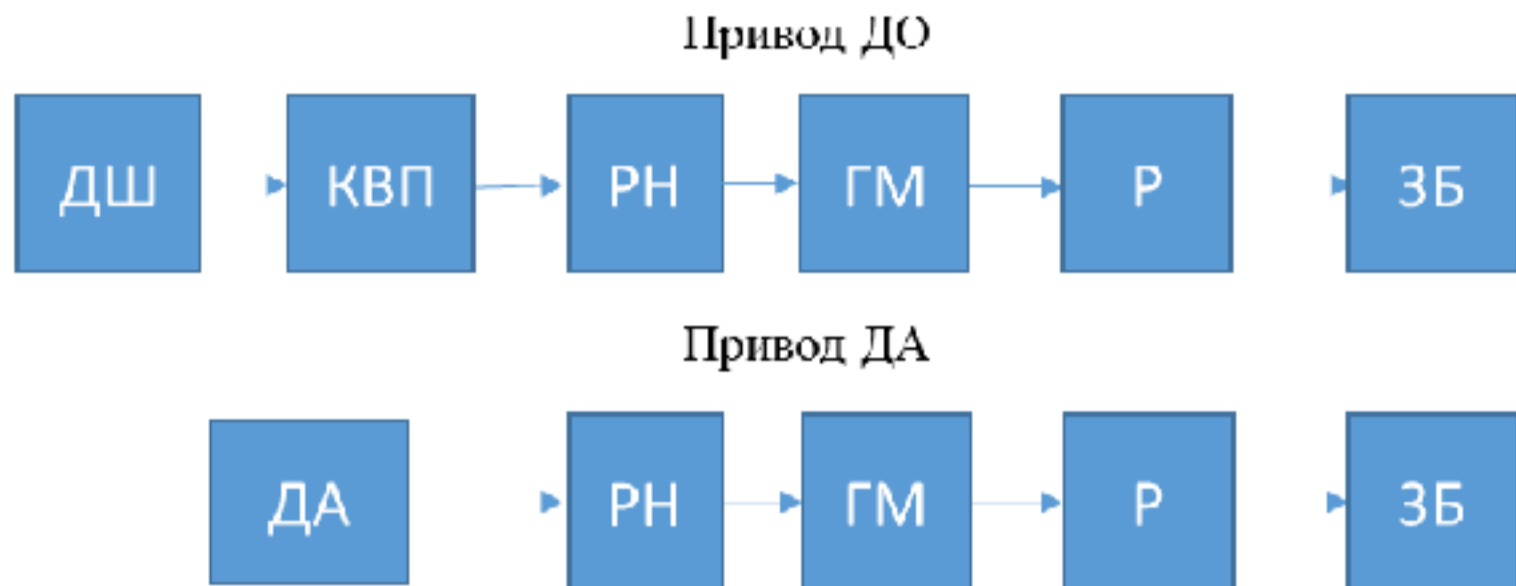


Рисунок 3.1 – Типові виконання гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана АБЗ:

ДШ – двигун шасі; КВП – коробка відбору потужності; РН – регульованій гідронасос; ГМ – гідромотор; Р – редуктор; ЗБ – змішувальний барабан; ДА – двигун автономний

В обох виконаннях обертання змішувального барабана здійснюється завдяки об'ємному гідроприводу та планетарному редуктору, що дозволяє безступінчасто регулювати швидкість обертання барабана.

Недоліком приводу обертання змішувального барабана, який побудований за схемою ДО з відбором потужності від основного двигуна шасі через КВП, що встановлена на коробці зміни передач автомобіля, є залежність частоти обертання вала гідронасоса від обертів двигуна при русі АБЗ і, відповідно, залежність швидкості обертання змішувального барабана в робочому режимі від динаміки руху АБЗ. Частота обертання вала відбору потужності КВП в залежності від режиму роботи двигуна може змінюватися в межах  $\pm 300$  об/хв. від необхідної номінальної частоти обертання вала гідронасоса – 1500 об/хв.

Усувається зазначений негативний вплив режиму роботи двигуна шасі на швидкість обертання змішувального барабана шляхом використання на АБЗ приводу обертання змішувального барабана, побудованого за схемою ДА з відбором потужності гідронасоса від автономного дизельного двигуна. Привід від автономного двигуна також зазвичай виконують у разі нестачі потужності двигуна шасі. Але таке рішення супроводжується додатковими витратами на придбання укомплектованого автономного дизельного двигуна, додатковою витратою палива, що споживається автономним двигуном, і збільшенням сумарної маси АБЗ.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що в АБЗ з гідромеханічним відбором потужності приводу змішувального барабана не використовуються сучасні можливості керування регульованого насоса за рахунок використання пропорційної електрогідравліки [20–23], що дозволить значно покращити техніко-економічні характеристики будівельних машин, зокрема АБЗ.

*Метою роботи* є розробка математичної моделі системи керування гідроприводом змішувального барабана автобетонозмішувача, яка описує основні закономірності та зв'язки властиві складовим частинам системи і дозволить представляти входи, виходи і внутрішні стани системи.

### 3.2 Гідромеханічний привід обертання змішувального барабана автобетонозмішувача

На рис. 3.2 показано принципову схему приводу обертання змішувального барабана АБЗ з пропорційною електрогідравлічною системою керування регульованого насоса [20–25].

Відбір потужності для приводу обертання змішувального барабана 13 здійснюється від основного двигуна шасі 1 через КВП 3, що приєднується до коробки зміни передач 2 автомобіля через спеціальний боковий люк.

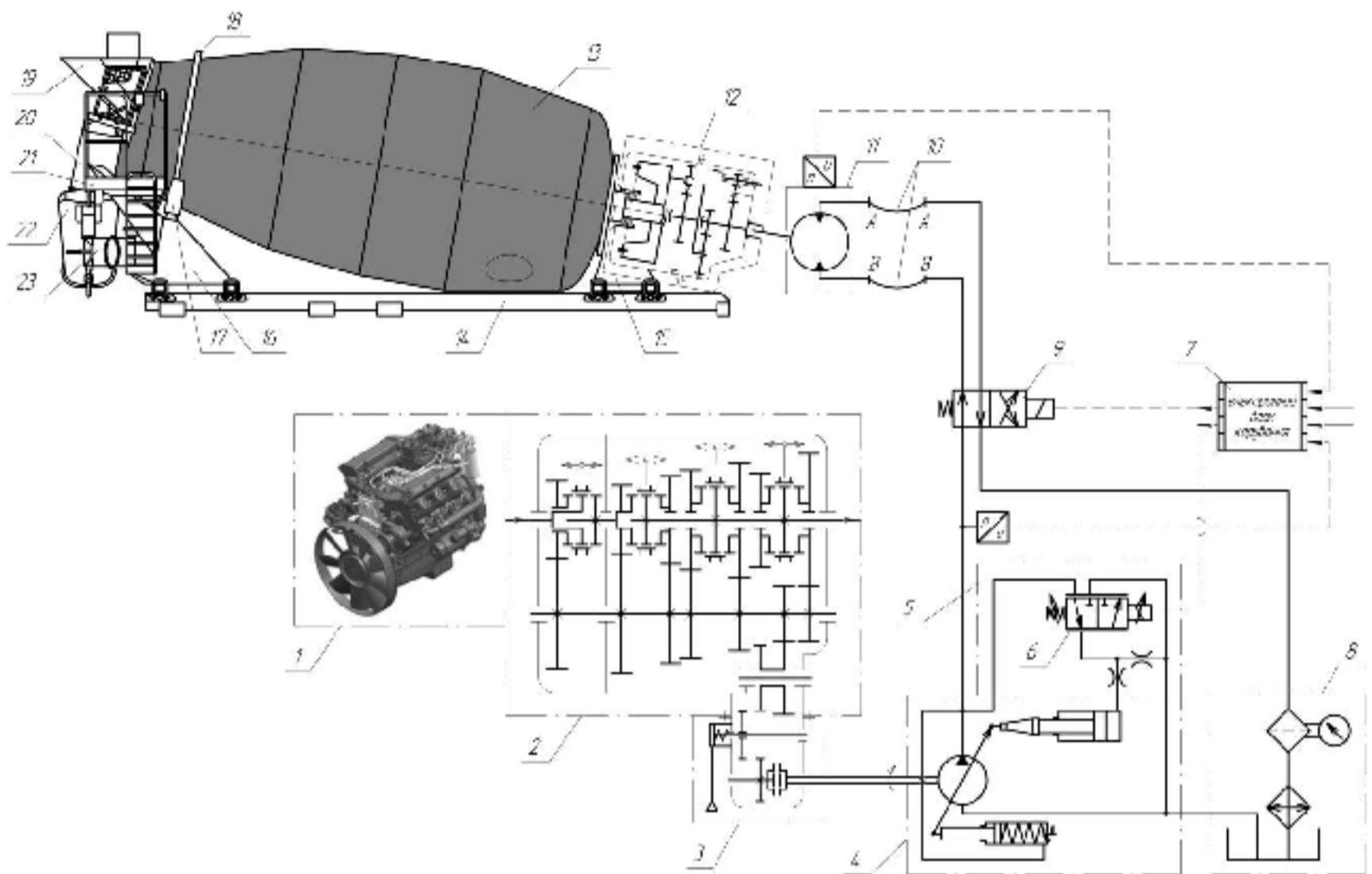


Рисунок 3.2 – Принципова схема гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана АБЗ:

1 – двигун автомобіля; 2 – коробка зміни передач автомобіля; 3 – коробка відбору потужності; 4 – регульований аксіально-поршневий насос; 5 – пропорційний об'ємний регулятор насоса; 6 – золотник регулятора; 7 – електронний блок керування (контролер); 8 – маслоохолоджувач з фільтром; 9 – гідророзподільник; 10 – гнучкі рукави високого тиску; 11 – гідромотор; 12 – планетарний редуктор приводу барабана; 13 – змішувальний барабан; 14 – лонжерон (лівий і правий); 15 – опора передня; 16 – опора задня; 17 – опорний ролик барабана; 18 – бандажне кільце барабана; 19 – завантажувальна лійка; 20 – розвантажувальна лійка; 21 – драбина з майданчиком; 22 – розвантажувальний поворотний лоток з відкидним жолобом; 23 – опора лотка

Гідромеханічний привід обертання змішувального барабана містить регульований аксіально-поршневий насос 4 з пропорційним електрогідравлічним керуванням, реверсивний гідромотор 11, гідророзподільник 9, маслоохолоджувач з фільтром 8 і планетарний редуктор 12. Насос 4 нагнітає робочу рідину в

гідромотор 11, який через планетарний редуктор 12 приводить в обертання змішувальний барабан 13.

Пропорційна електрогідравлічна система керування регульованого насоса містить пропорційний об'ємний регулятор 5 з направляючим золотником 6, електронний блок керування (контролер) 7, який отримує сигнали від датчика частоти обертання гідромотора, датчика тиску робочої рідини на виході насоса, а також сигнали від пульта керування.

Система керування забезпечує дистанційне керування продуктивністю і реверсом змішувального барабана, підтримує постійну частоту обертання змішувального барабана або забезпечує роботу регульованого насоса в режимі постійної потужності.

### 3.3 Розрахункова схема системи електрогідравлічного керування регульованим АПН

На рисунку 3.3 показаний регульований аксіально-поршневий насос (АПН) з розробленою системою пропорційного електрогідравлічного керування (ЕГК) робочого об'єму, що забезпечує роботу насоса в режимі постійної подачі [20–23].

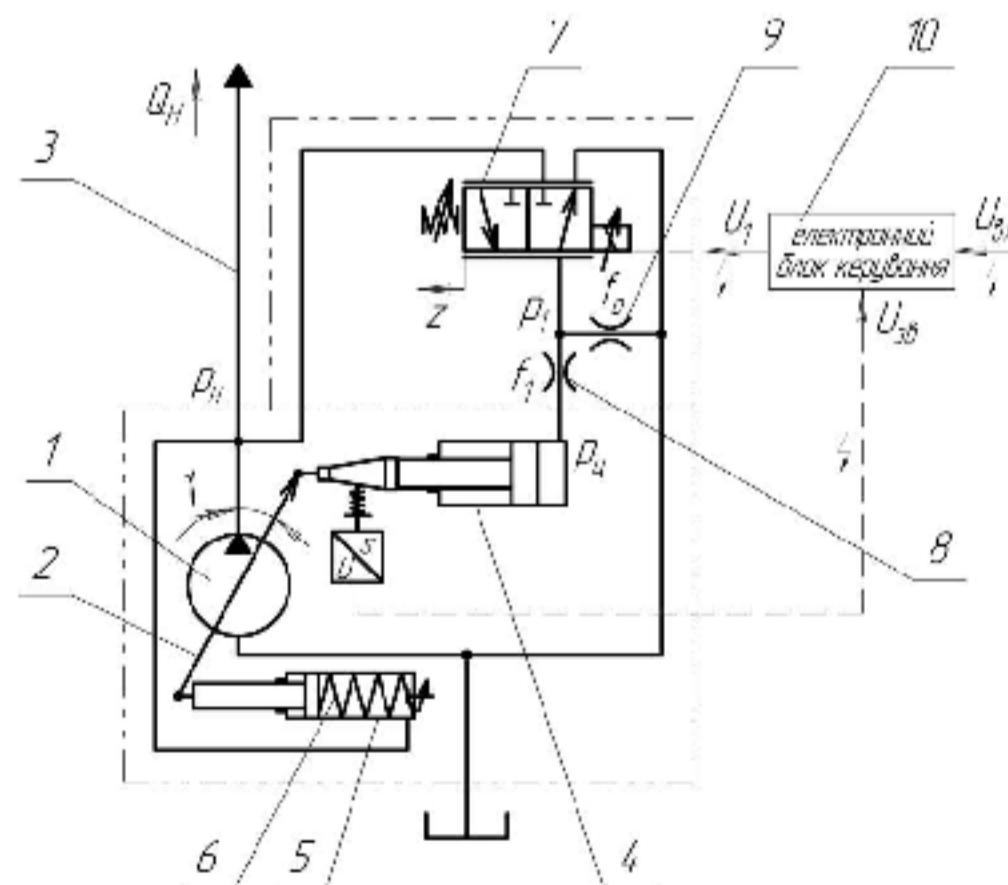


Рисунок 3.3 – Схема гідравлічного контуру регульованого насоса, який оснащений системою електрогідравлічного керування

Регулювання робочого об'єму регульованого АПН здійснюється пропорційним регулятором 7. Індуктивний датчик положення контролює поточну величину робочого об'єму (кут нахилу планшайби насоса) і подає вимірний сигнал в електронний блок керування 10. Електронна схема цього блока порівнює сигнал зворотного зв'язку з сигналом керування і приводить в дію пропорційний електромагнітний клапан для узгодження обох сигналів.

### 3.4 Математична модель системи ЕГК регульованим АПН

Схема включає регульований АПН 1, пропорційний направляючий гідророзподільник 7, підключений до гідролінії нагнітання 3 та керує потоком, що надходить з гідролінії нагнітання 3 через дросель 8 в циліндр керування 4. Планшайба 2 насоса знаходиться під впливом дії циліндрів 4, 5 і пружини 6. На зливні з циліндра керування 4 встановлений дросель 9.

Математична модель системи ЕГК регульованим АПН розроблена за таких припущень:

- параметри елементів системи керування зосереджені;
- об'єм гідроліній системи керування за час перехідного процесу не змінюється;
- довжини гідроліній системи керування відносно малі, тому хвильові процеси не враховуються;
- коефіцієнти витрати через дросельні і золотникові елементи постійні;
- режим течії робочої рідини в системі керування безкавітаційний;
- втрати тиску в гідролініях системи керування не враховуються, оскільки вони незначні у порівнянні з втратами в місцевих опорах;
- гідродинамічні сили на золотнику регулятора подачі не враховуються, оскільки потоки через робочі вікна золотників незначні;
- коефіцієнт податливості робочої рідини та гідроліній враховувався як величина, залежна від тиску.



Згідно зі схемою (див. рис. 3.3), математична модель включає наступні рівняння.

Рівняння нерозривності потоку на виході регульованого АПН:

$$\frac{\pi d_7^2}{4} \cdot d_8 \cdot k_1 \cdot n \cdot \operatorname{tg} \gamma = Q_H + \mu \cdot f(z) \cdot \sqrt{\frac{2|p_H - p_1|}{\rho}} \cdot \operatorname{sign}(p_H - p_1) + \beta(p) \cdot W_H \cdot \frac{dp_H}{dt}; \quad (3.1)$$

де  $d_7$  – діаметр поршнів насоса;

$d_8$  – діаметр розміщення поршнів в роторі насоса;

$k_1$  – кількість поршнів насоса;

$n$  – частота обертання вала насоса;

$\gamma$  – кут повороту планшайби насоса;

$Q_H$  – подача до виконавчого гідродвигуна;

$\mu$  – коефіцієнт витрати;

$f(z)$  – площа робочого вікна золотника пропорційного розподільника, що апроксимується виразом

$$f(z) = \begin{cases} 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2, & \text{якщо } 0 \leq z \leq (1,0 \cdot 10^{-3}) \text{ м}, \\ k_z \cdot z, & \text{якщо } (1,0 \cdot 10^{-3}) < z \leq (10 \cdot 10^{-3}) \text{ м}; \end{cases} \quad (3.2)$$

де  $z$  – поточна координата переміщення золотника пропорційного розподільника;

$k_z$  – коефіцієнт підсилення вікна золотника пропорційного розподільника.

$p_H$  – тиск на виході насоса;

$p_1$  – тиск в регуляторі подачі;

$\rho$  – густина робочої рідини;

$\beta(p)$  – коефіцієнт, що враховує сумарну деформацію робочої рідини та гідроліній, є величиною змінною і залежить від тиску

$$\beta = \begin{cases} (1 - 0,03 \cdot p) \cdot 2 \cdot 10^{-9}, & \text{якщо } 0,3 \leq p \leq 3 \text{ МПа}, \\ 0,6 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 / \text{Н}, & \text{якщо } p > 3 \text{ МПа}. \end{cases} \quad (3.3)$$

$W_H$  – об’єм робочої рідини у нагнітальній частині системи керування;

Рівняння моментів, що діють на планшайбу регульованого АПН:

$$I \frac{d^2 \gamma}{dt^2} = p_H \cdot F_5 \cdot \ell - p_{Ц} \cdot F_4 \cdot \ell + M_C(p_H, Q_H, t^0) - b_\gamma \frac{d\gamma}{dt}; \quad (3.4)$$

де  $I$  – момент інерції планшайби насоса;

$F_4, F_5$  – площі циліндрів керування;

$\ell$  – плече дії циліндрів керування на планшайбу насоса;

$p_{Ц}$  – тиск в циліндрі керування положенням планшайби насоса;

$M_C(p_H, Q_H, t^0)$  – момент опору планшайби насоса [26];

$$M_C = 28,39 - 7,42 \frac{p_H - 7 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^6} - 7,64 \frac{Q_H - 0,417 \cdot 10^{-3}}{0,25 \cdot 10^{-3}} - 2,99 \frac{t^0 - 40}{20} - \\ - 6,64 \left( \frac{p_H - 7 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^6} \right) \left( \frac{Q_H - 0,417 \cdot 10^{-3}}{0,25 \cdot 10^{-3}} \right); \quad (3.5)$$

де  $t^0$  – температура робочої рідини.

$b_\gamma$  – коефіцієнт демпфування планшайби насоса.

Рівняння сил, що діють на золотник пропорційного об’ємного регулятора:

$$m_p \frac{d^2 z}{dt^2} = P_s - c_p(z_p + z) - b_p \frac{dz}{dt} - T_p \cdot \text{sign} \frac{dz}{dt}; \quad (3.6)$$

де  $m_p$  – маса золотника пропорційного розподільника;

$P_s$  – штовхаюче зусилля електромагніта;

$$P_s = k_{Fi} \cdot i; \quad (3.7)$$

де  $k_{Fi}$  – коефіцієнт, що враховує залежність штовхаючого зусилля електромагніта від сили струму в обмотці керування

$$k_{Fi} = \frac{P_{s \max}}{i_{\max}}; \quad (3.8)$$

$i$  – сила струму в обмотці керування електромагніта.

$c_p$  – жорсткість пружини золотника пропорційного розподільника;

$z_p$  – початкове стиснення пружини золотника пропорційного розподільника;

$b_p$  – коефіцієнт демпфування золотника пропорційного розподільника;

$T_p$  – сила сухого тертя золотника пропорційного розподільника.

Рівняння нерозривності потоку для зливної гідролінії з циліндра керування 4:

$$\begin{aligned} \mu \cdot f(z) \cdot \sqrt{\frac{2|p_H - p_1|}{\rho}} \cdot \text{sign}(p_H - p_1) = \mu \cdot f_1 \cdot \sqrt{\frac{2|p_1 - p_{II}|}{\rho}} \cdot \text{sign}(p_1 - p_{II}) + \\ + \mu \cdot f_0 \cdot \sqrt{\frac{2p_1}{\rho}} + \beta(p) \cdot W_1 \cdot \frac{dp_1}{dt}; \end{aligned} \quad (3.9)$$

де  $f_1$  – площа робочого вікна дроселя на вході до циліндра керування положенням планшайби насоса;

$f_0$  – площа робочого вікна дроселя в зливній гідролінії;

$W_1$  – об'єм робочої рідини в циліндрі керування 4 і на ділянці гідролінії, прилеглій до нього.

Рівняння сил, що діють на циліндр керування положенням планшайби регульованого АПН:

$$m_{ц} \cdot \frac{d^2 s}{dt^2} = p_{ц} \cdot F_4 - P_{np} - b_{ц} \cdot \frac{ds}{dt} - T_{рц} \cdot \text{sign} \frac{ds}{dt}; \quad (3.10)$$

де  $m_{ц}$  – сумарна маса циліндрів керування положенням планшайби насоса та приєднаних частин;

$s$  – поточна координата переміщення циліндра керування положенням планшайби насоса;

$P_{np}$  – приведене зусилля на циліндрі керування положенням планшайби насоса;

$b_{ц}$ , – коефіцієнт демпфування циліндра керування;

$T_{рц}$  – сила сухого тертя циліндра керування.

Рівняння струму в електричному колі електромагніта пропорційного розподільника:

$$U_1 = L_m \cdot \frac{di}{dt} + R_m \cdot i + C_{пЕ} \cdot \frac{dz}{dt}; \quad (3.11)$$

де  $U_1$  – напруга керування електромагнітом, яка визначається роботою електронного блоку керування

$$U_1 = U_{вх} - U_{зв}; \quad (3.12)$$

де  $U_{вх}$  – напруга вхідного сигналу керування;

$U_{зв}$  – напруга датчика зворотного зв'язку

$$U_{зв} = k_s \cdot s; \quad (3.13)$$

де  $k_s$  – коефіцієнт, що враховує залежність напруги датчика зворотного зв'язку від переміщення циліндра керування положенням планшайби насоса

$$k_s = \frac{U_{ze\max}}{s_{\max}}; \quad (3.14)$$

$L_m$  – індуктивність обмотки керування електромагніта;

$R_m$  – активний опір обмотки керування електромагніта;

$C_{IE}$  – коефіцієнт проти-ЕРС

$$C_{IE} = L_m \cdot \frac{l_{\text{я}}^2}{\delta^2} \cdot i; \quad (3.15)$$

де  $l_{\text{я}}$  – довжина середньої лінії якоря;

$$\delta = 3 \cdot \delta_0; \quad (3.16)$$

де  $\delta_0$  – повітряний зазор між якорем і осердям.

Система рівнянь (3.1), (3.4), (3.6), (3.9) – (3.11) з урахуванням залежностей (3.2), (3.3), (3.5) є нелінійною математичною моделлю, що описує процеси в системі пропорційного ЕГК регульованим АПН.

### 3.5 Математичне моделювання та розв'язання рівнянь математичної моделі

Розв'язання системи рівнянь математичної моделі виконується за допомогою програмного пакета MATLAB Simulink.

Основна блок-схема розв'язання, що показана на рис. 3.4, містить шість підсистем, які є відображенням диференціальних рівнянь математичної моделі у програмі MATLAB Simulink.

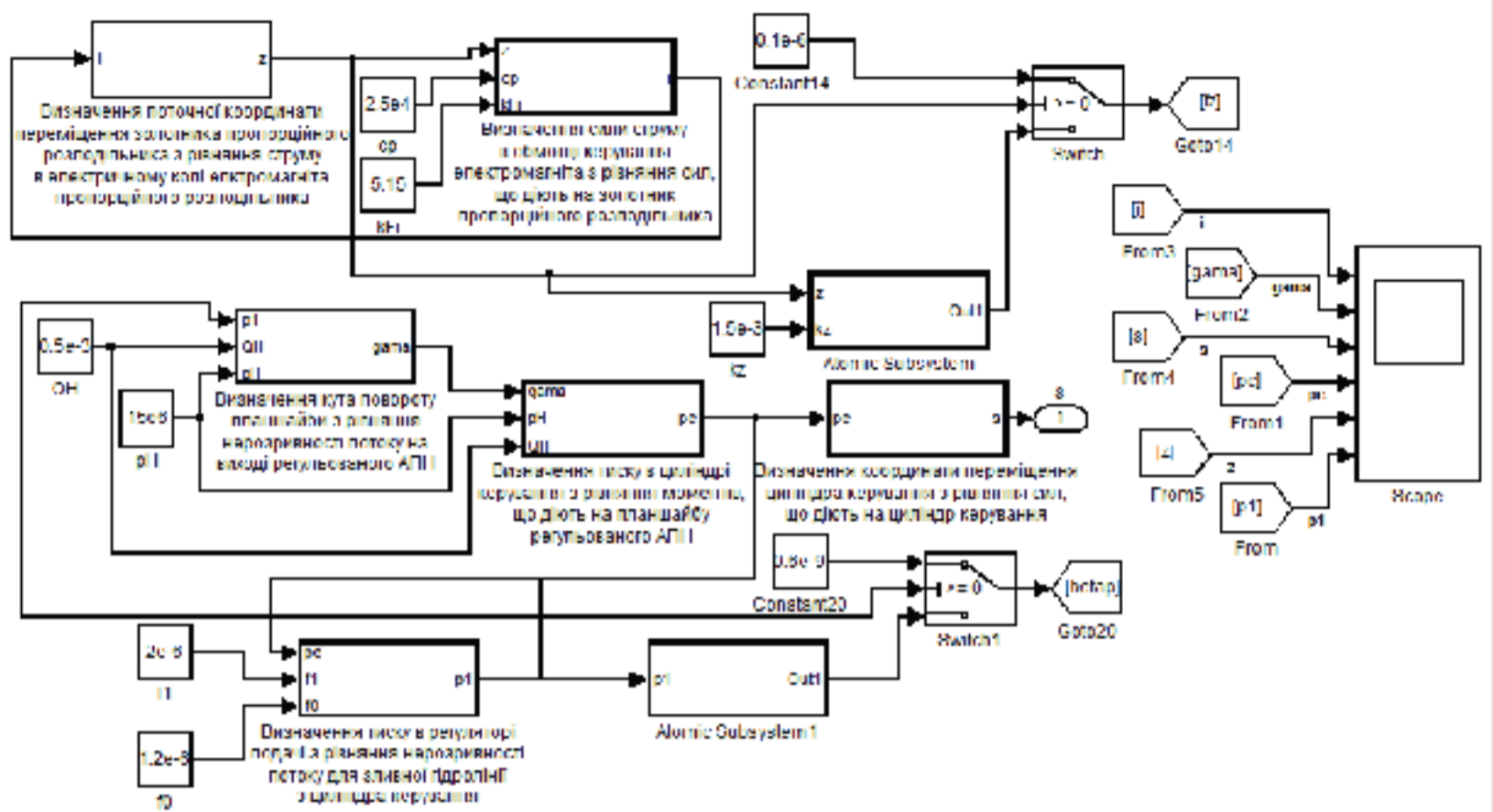


Рисунок 3.4 – Блок-схема розв’язання системи рівнянь в середовищі MatLab Simulink

Змінні, що описують стан системи керування, та їх початкові значення такі:

- тиск в регуляторі подачі  $p_1(0) = 0,01$  МПа;
- тиск в циліндрі керування положенням планшайби насоса  $p_{ц}(0) = 0,01$  МПа;
- кут повороту планшайби насоса  $\gamma(0) = 0,05$  рад;
- координата переміщення золотника пропорційного розподільника  $z(0) = 0$  м;
- координата переміщення циліндра керування положенням планшайби насоса  $s(0) = 0$  м;
- сила струму в обмотці керування електромагніта  $i(0) = 0$  А.

Постійні параметри системи пропорційного ЕГК регульованим АПН та їх значення наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Постійні параметри системи керування

Параметр	Значення	Одиниця вимірювання	Параметр	Значення	Одиниця вимірювання
$F_4$	$4,15 \cdot 10^{-4}$	$\text{м}^2$	$W_H$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$\text{м}^3$
$F_5$	$1,13 \cdot 10^{-4}$	$\text{м}^2$	$W_1$	$0,06 \cdot 10^{-3}$	$\text{м}^3$
$I$	0,2	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	$m_p$	0,02	кг
$d_7$	$12 \cdot 10^{-3}$	м	$m_{II}$	3	кг
$d_8$	$68 \cdot 10^{-3}$	м	$P_{np}$	200	Н
$k_1$	7	шт.	$L_m$	0,2	Гн
$n$	25	$\text{с}^{-1}$	$R_m$	2,2	Ом
$\ell$	$64 \cdot 10^{-3}$	м	$C_{IIIE}$	0,5	–
$\mu$	0,6	–	$l_{я}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	м
$z_p$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	м	$\delta_0$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	м
$T_p$	0,4	Н	$k_s$	600	В/м
$T_{pII}$	0,4	Н	$k_{F1}$	5,15	Н/А
$\rho$	900	$\text{кг}/\text{м}^3$			

Параметри системи керування, які змінювалися в процесі дослідження, та їх діапазон зміни наведено в табл. 3.2.

Для обробки моделі на ПК введені обмеження на переміщення рухомих елементів у системі пропорційного ЕГК регульованим АПН:

- кут повороту планшайби регульованого АПН  $0 \leq \gamma \leq 0,4$  рад;
- координата переміщення золотника пропорційного розподільника  $0 \leq z \leq 4 \cdot 10^{-3}$  м;
- координата переміщення циліндра керування положенням планшайби насоса  $0 \leq s \leq 20 \cdot 10^{-3}$  м.

Якщо за розрахунком математичної моделі в даний момент модельного часу величина змінної стану системи виходить за верхню або нижню границю обмеження змінної, то при розрахунку в наступний момент модельного часу, що визначається заданим кроком модельного часу, значення змінної приймає відповідно верхнє або нижнє граничне обмеження.

Таблиця 3.2 – Діапазон зміни параметрів

Параметр	Діапазон зміни	Початкове значення	Одиниця вимірювання
1	2	3	4
$p_H$	$(0...25) \cdot 10^6$	–	Па
$Q_H$	$(0...1,0) \cdot 10^{-3}$	–	м <sup>3</sup> /с
$U_{\alpha}$	0...12	–	В
$\beta(p)$	$(0,6...2,0) \cdot 10^{-9}$	–	м <sup>2</sup> /Н
$M_c(p_H, Q_H, t^0)$	0...45	–	Н·м
$f_1$	$(1,0...4,0) \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	м <sup>2</sup>
$f_0$	$(0,5...1,5) \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	м <sup>2</sup>
$c_p$	$(0,8...10,0) \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$	Н/м
$k_z$	$(0,5...4,0) \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	м
$b_p$	5...1000	50	Н·с/м
$b_{II}$	5...1000	50	Н·с/м
$b_\gamma$	10...50	30	Н·м·с
$t^0$	20...80	50	°С

Розроблена нелінійна математична модель дозволяє досліджувати систему пропорційного ЕГК регульованим АПН як в статичних, так і в динамічних режимах, а також може бути використана для дослідження її стійкості.

### 3.6 Динамічні характеристики системи керування регульованого АПН

При роботі математичної моделі отримано перехідні процеси в системі, які дозволяють визначити динамічні характеристики змінних, що описують стан системи керування. В ході моделювання для спостереження за процесами, що проходять в системі керування, використовуються спеціальні пристрої спостереження, що входять до складу бібліотеки Simulink. На рис. 3.5 – 3.7 показано перехідні процеси змінних стану системи у вікні осцилографа Scope, який будує графіки досліджуваних сигналів в функції від часу і дозволяє спостерігати за змінами сигналів в процесі моделювання.



Початкові значення змінних стану системи, постійні параметри системи керування та їх значення, а також введені обмеження на переміщення рухомих елементів у системі керування наведені нижче.

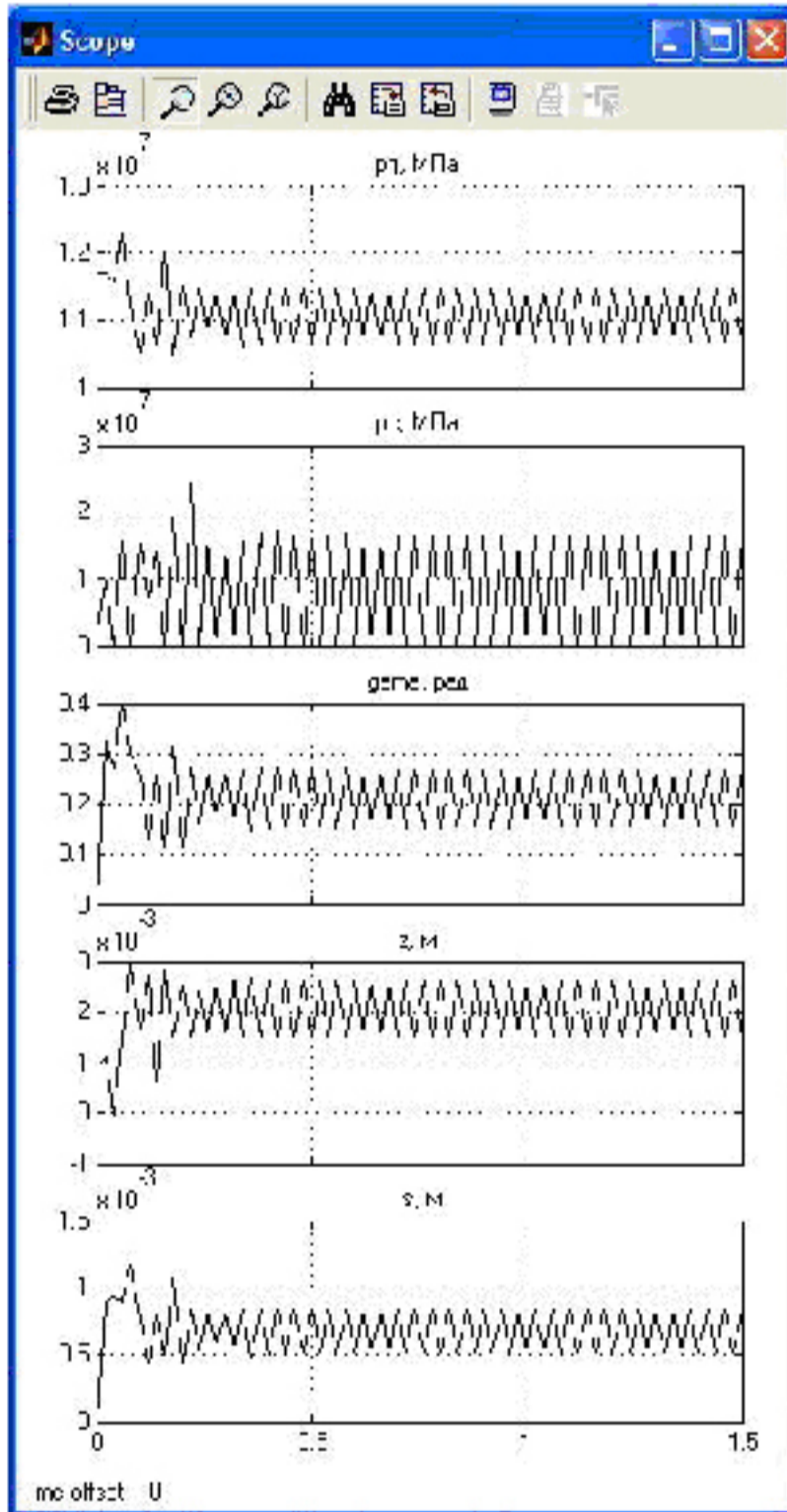


Рисунок 3.5 – Перехідні процеси змінних стану системи керування при нестійкій роботі

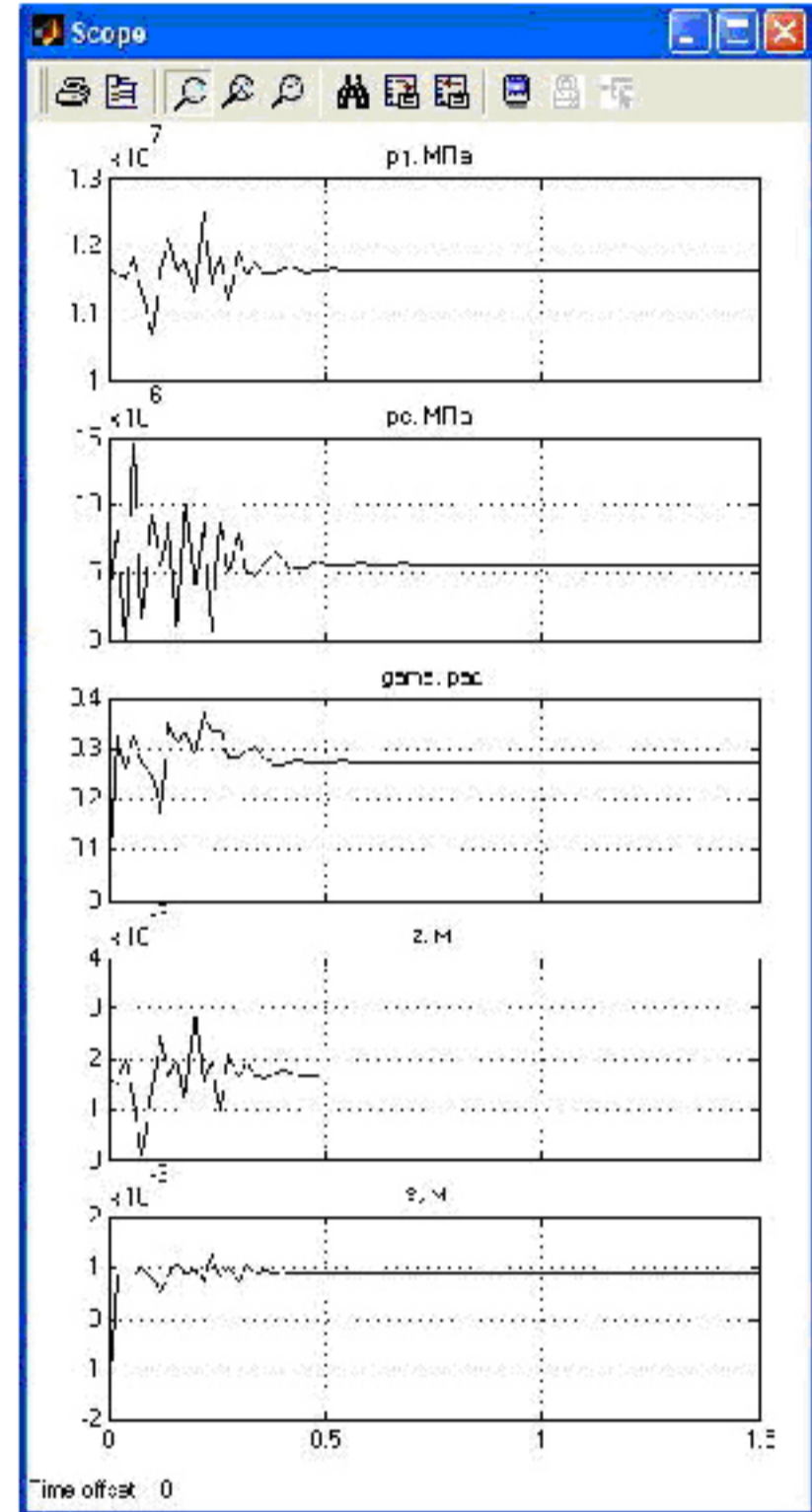


Рисунок 3.6 – Перехідні процеси змінних стану системи керування при стійкій роботі

Наявність ЕГК в системі керування регульованого АПН суттєво ускладнює динаміку перехідних процесів змінних стану системи. При роботі системи керування з несприятливими конструктивними параметрами ЕГК може виявитися

недостатня швидкодія системи керування і схильність системи до автоколивань (див. рис. 3.5).

Покращити динамічні характеристики системи керування регульованого АПН з ЕГК, що працює в автоматичному режимі, можна за рахунок раціонального вибору конструктивних параметрів ЕГК на стадії його проектування.

На рис. 3.7 показано перехідні процеси змінних стану системи, які отримані в результаті роботи математичної моделі при поєднанні параметрів ЕГК, що забезпечує високу швидкодію системи керування регульованого АПН.

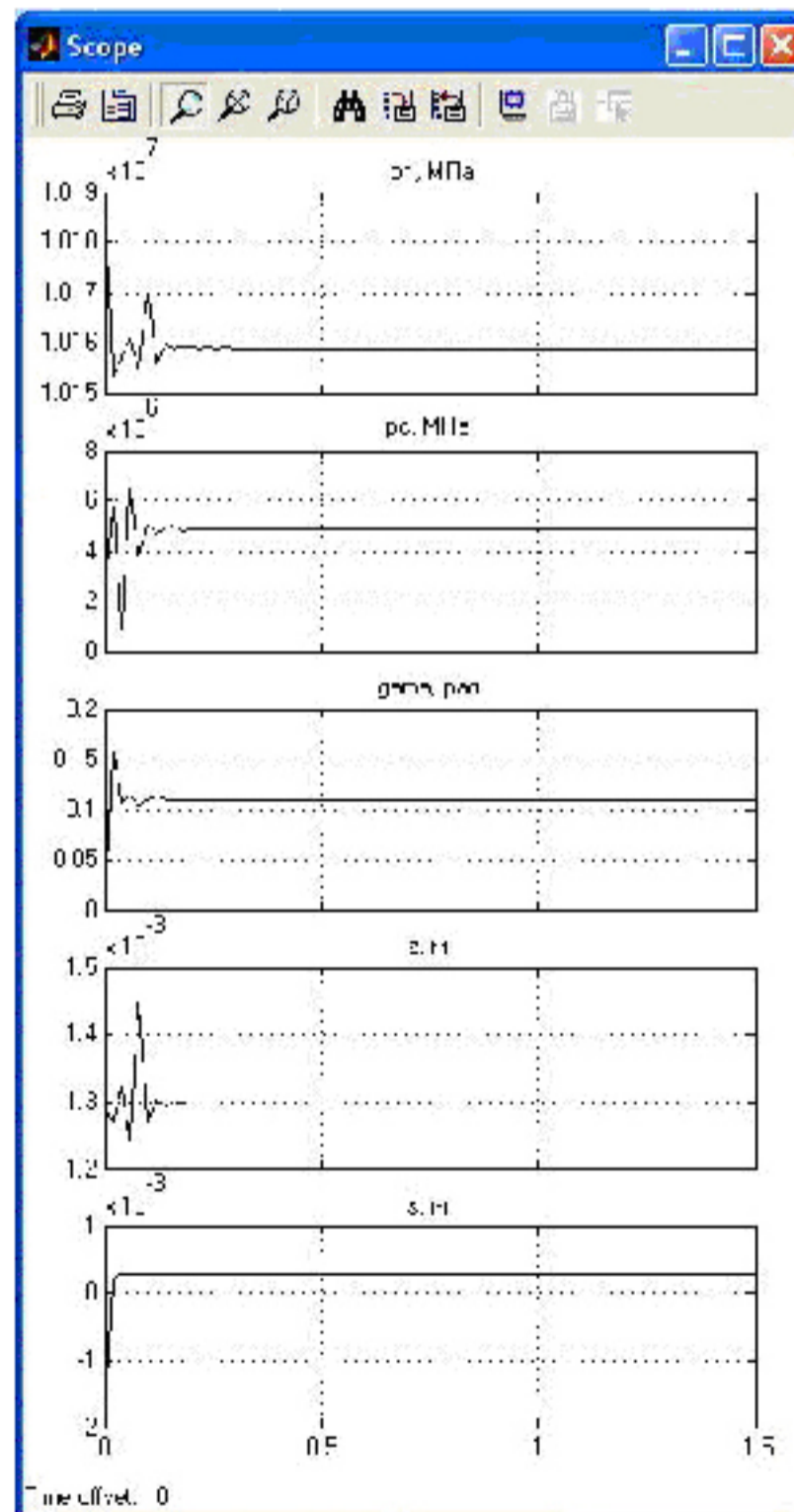


Рисунок 3.7 – Перехідні процеси змінних стану системи при поєднанні параметрів ЕГК, що забезпечує високу швидкодію

При дослідженні перехідних процесів змінних стану системи розглядалися такі показники якості перехідного процесу, як час регулювання, коливальність і перерегулювання.

У процесі дослідження розробленої системи керування регульованого АПН визначено вплив основних конструктивних параметрів системи керування і ЕГК на динамічні характеристики змінних, що описують стан системи керування. Ці результати несуть інформацію про основні властивості досліджуваних об'єктів і необхідні для організації процесу оптимізації конструктивних параметрів ЕГК.

Досліджувався вплив таких основних параметрів системи керування і ЕГК:

$c_p$  – жорсткість пружини золотника пропорційного розподільника;

$k_z$  – коефіцієнт підсилення вікна золотника пропорційного розподільника;

$b_p$  – коефіцієнт демпфування золотника пропорційного розподільника;

$b_\gamma$  – коефіцієнт демпфування планшайби насоса;

$f_0$  – площа відкриття робочого вікна дроселя в зливній гідролінії циліндра керування положенням планшайби насоса.

В процесі дослідження параметри системи керування і ЕГК змінювалися в діапазонах, вказаних в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Діапазон зміни параметрів

Параметр	Діапазон зміни	Початкове значення	Одиниця вимірювання
$c_p$	$(0,8...4,0) \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	Н/м
$k_z$	$(0,5...4,0) \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	м
$b_p$	5...200	50	Н·с/м
$b_\gamma$	10...50	30	Н·м·с
$f_0$	$(0,5...1,5) \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	м <sup>2</sup>
$f_1$	$(1,0...4,0) \cdot 10^{-6}$	–	м <sup>2</sup>
$Q_H$	$(0...1,0) \cdot 10^{-3}$	–	м <sup>3</sup> /с
$P_H$	$(0...25) \cdot 10^6$	–	Па

На рис. 3.8 показаний вплив площі відкриття робочого вікна  $f_0$  дроселя в зливній гідролінії циліндра керування планшайбою насоса на перехідні процеси змінних стану системи  $p_1$  і  $p_{II}$ . Перехідний процес 1 отриманий при  $f_0=0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ; перехідний процес 2 – при  $f_0=1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  та незмінних інших параметрах системи керування і ЕГК. Величина  $f_0=1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  забезпечує час регулювання  $t_p$  змінних стану системи в межах до 0,5 с. При зменшенні  $f_0$  до  $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  час регулювання  $t_p$  зменшується до 0,25 с. Характер впливу  $f_0$  на коливальність  $k$  і перерегулювання  $\sigma$  такий самий, як і на час регулювання  $t_p$ . При зменшенні  $f_0$  коливальність  $k$  і перерегулювання  $\sigma$  змінних стану зменшується.

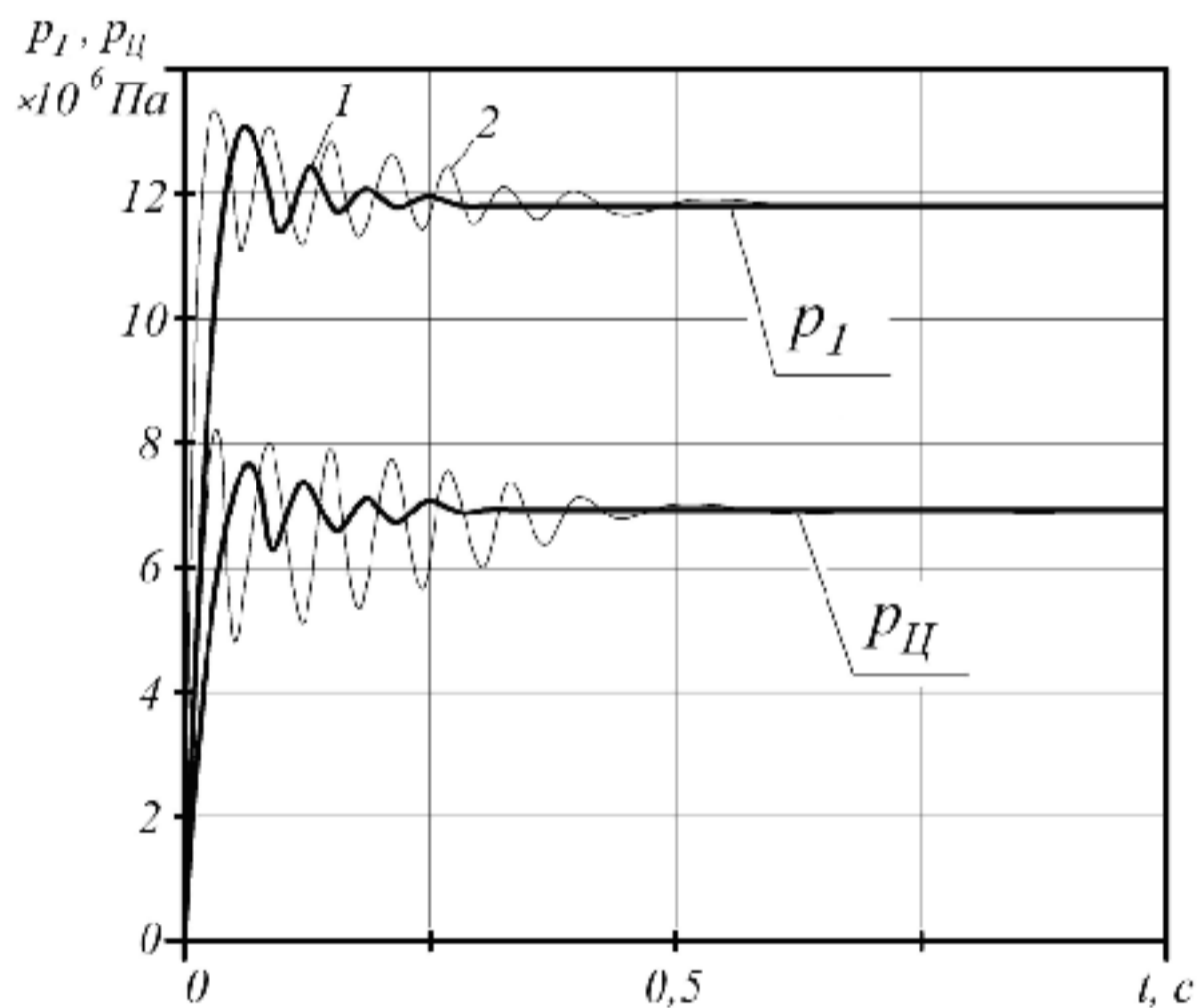


Рисунок 3.8 – Вплив  $f_0$  на перехідні процеси змінних стану системи  $p_1$  і  $p_{II}$

На рис. 3.9 наводиться залежність часу регулювання  $t_p$  тиску на виході насоса  $p_H$  від площі відкриття робочого вікна дроселя в зливній гідролінії циліндра керування положенням планшайби насоса.

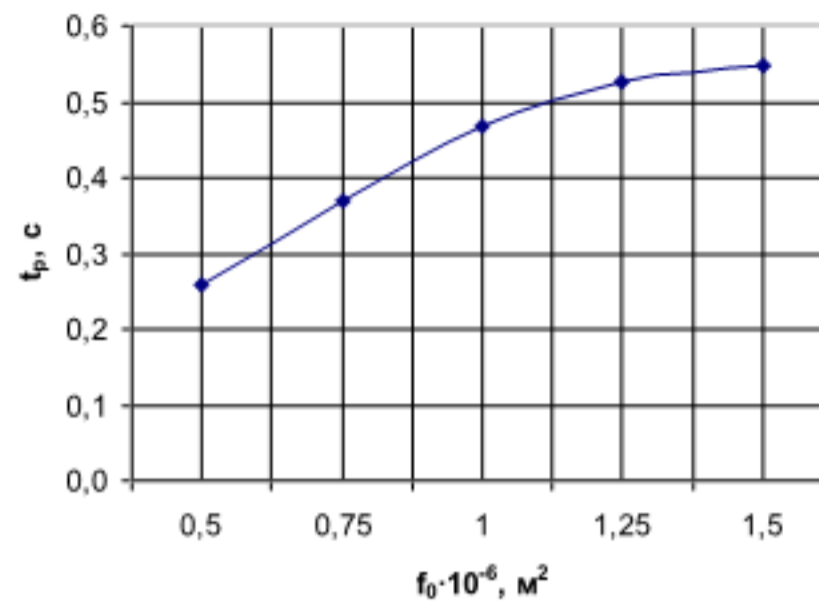


Рисунок 3.9 – Вплив  $f_0$  на час регулювання  $t_p$

Вплив параметру  $f_0$  на час регулювання  $t_p$  достатньо значний. За рахунок зменшення площі відкриття  $f_0$  робочого вікна дроселя в зливній гідролінії циліндра керування планшайбою насоса можна забезпечити час регулювання  $t_p$  в межах 0,3 с.

Аналогічно наводяться залежності інших показників якості перехідного процесу, а саме: коливальності  $k$  і перерегулювання  $\sigma$  за тиском  $p_H$  від площі відкриття робочого вікна  $f_0$  в режимі стабілізації подачі регульованого АПН (рис. 3.10 – 3.11).

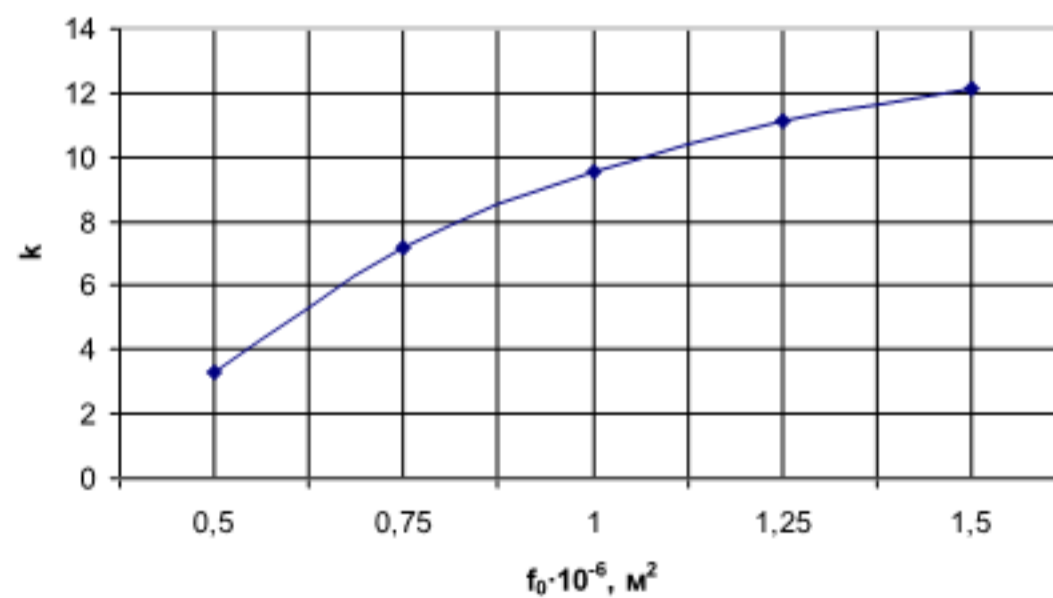


Рисунок 3.10 – Вплив  $f_0$  на коливальність  $k$

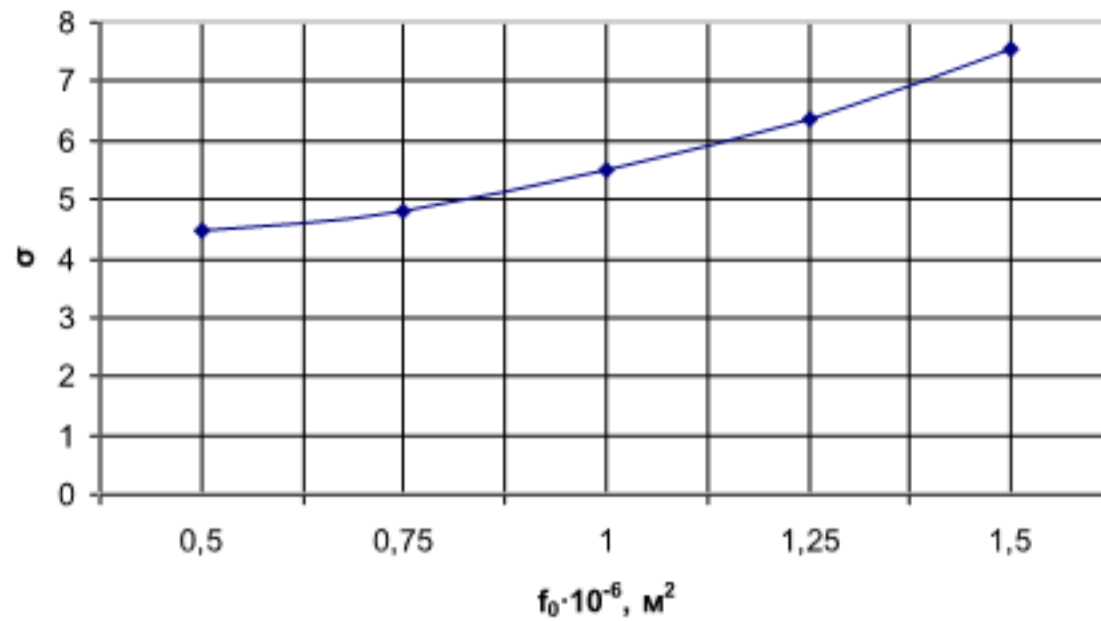


Рисунок 3.11 – Вплив  $f_0$  на перерегулювання  $\sigma$

Характер впливу  $f_0$  на коливальність  $k$  і перерегулювання  $\sigma$  за тиском однаковий. При зменшенні  $f_0$  коливальність  $k$  і перерегулювання  $\sigma$  за тиском зменшуються. При відповідному виборі вказаних конструктивних параметрів ЕГК можна забезпечити перерегулювання за тиском  $\sigma < 30\%$ .

Наведені результати можуть бути використані при проектуванні системи керування регульованого АПН в режимі стабілізації подачі з заданими динамічними характеристиками (час регулювання  $t_p < 0,3$  с і перерегулювання за тиском  $\sigma < 30\%$ ). Так, за підвищених вимог до швидкодії можна рекомендувати зменшення площі відкриття  $f_0$  робочого вікна дроселя в зливній гідролінії циліндра керування планшайбою насоса.

Отримані залежності дали можливість визначити значення  $f_0$ , що змінюється в межах  $f_0 = (0,8 \dots 1,2) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  і забезпечує задані динамічні характеристики у всьому діапазоні функціонування.

### 3.7 Висновки

1. Розглянуто типові виконання гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана АБЗ. Запропоновано використати в приводі обертання

змішувального барабана АБЗ пропорційну електрогідравлічну систему керування регульованого насоса.

2. Використання пропорційної електрогідравлічної системи керування регульованого насоса в гідромеханічному приводі обертання змішувального барабана значно покращує техніко-економічні характеристики АБЗ.

Зокрема незалежно від швидкості пересування АБЗ (в умовах міста або шосе) змішувальний барабан завжди обертається із заданою частотою обертання, навіть при зміні крутного моменту чи зниженні ККД гідроприводу. Це підвищує якість перевезених сумішей.

В режимі перевантаження, завдяки слідкувальній електронній системі, регульований насос відбирає від основної трансмісії тільки необхідну потужність. Це зменшує навантаження на основний двигун і трансмісію шасі, тим самим збільшується їх ресурс і зменшується витрата палива.

3. Розроблено розрахункову схему системи пропорційного ЕГК регульованим АПН, яка забезпечує стабілізацію подачі насоса, характеризується високою точністю і роздільною здатністю регулювання продуктивності АПН та швидкою реакцією на керуючий вплив.

4. Складено нелінійну математичну модель системи пропорційного ЕГК регульованим АПН, яка розв'язується за допомогою програмного пакета MATLAB Simulink.

5. Математична модель може бути використана для визначення статичних та динамічних характеристик і дослідження стійкості розробленої системи пропорційного ЕГК регульованим АПН.

#### 4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ГІДРОМУФТИ 12.00.001»

##### 4.1 Розрахунок приведеної програми

Приведена програма [5, 27]:

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

де  $N_i$  – програма випуску по кожному з найменувань деталей, зібраних у групу, шт.;

$K_{np,i}$  – коефіцієнт приведення по кожному з найменувань деталей, що зібрані у групу;

$n$  – кількість найменувань деталей, що зібрані в групу.

Рекомендації по визначенню коефіцієнтів приведення наведені в [5, 27].

Таблиця 4.1 – Характеристика деталей для довантаження верстатів

Номер деталі	m, кг.	N, шт.	K <sub>пр.м</sub>	K <sub>пр.с</sub>	K <sub>прив.</sub>
Деталь N=1	8.0	2000	0.96	1.0	0.96
Деталь N=2	7.5	1800	0.92	1.015	0.93
Деталь N=3	7.2	2000	0.895	1.0	0.895
Деталь N=4	7.8	1900	0.944	1.0	0.944
Деталь N=5	8.2	2000	0.976	1.0	0.976
Деталь N=6	8.1	2000	0.968	1.0	0.968

Визначимо величину приведеної програми:

$$\begin{aligned} N_{прив.} &= N_{пр.} + K_{прив1} \cdot N_1 + \dots + K_{пр6} \cdot N_6 = 2000 + 0.96 \cdot 2000 + 0.93 \cdot 1800 + 0.895 \cdot 2000 + \\ &+ 0.944 \cdot 1900 + 0.976 \cdot 2000 + 0.968 \cdot 2000 = 2000 + 1920 + 1674 + 1790 + 1794 + 1952 + 193 = \\ &= 13066 \text{ (шт.)} \end{aligned}$$



#### 4.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

Кількість необхідного обладнання при роботі з річною програмою [5, 27]:

$$C_{p005} = \frac{N \cdot T_{\text{ном-к}005}}{60 \cdot F_{\delta} \cdot m} = \frac{2000 \cdot 3.859}{60 \cdot 3890} = 0.033; \quad C_{\text{пр}005} = 1 \text{ верстат};$$

$$C_{p010} = \frac{N \cdot T_{\text{ном-к}010}}{60 \cdot F_{\delta} \cdot m} = \frac{2000 \cdot 3.547}{60 \cdot 3890} = 0.0303; \quad C_{\text{пр}010} = 1 \text{ верстат};$$

$$C_{p015} = \frac{N \cdot T_{\text{ном-к}015}}{60 \cdot F_{\delta} \cdot m} = \frac{2000 \cdot 2.496}{60 \cdot 4029} = 0.0206; \quad C_{\text{пр}015} = 1 \text{ верстат};$$

$$C_{p020} = \frac{N \cdot T_{\text{ном-к}020}}{60 \cdot F_{\delta} \cdot m} = \frac{2000 \cdot 2.045}{60 \cdot 3890} = 0.0175; \quad C_{\text{пр}020} = 1 \text{ верстат};$$

$$C_{p025} = \frac{N \cdot T_{\text{ном-к}025}}{60 \cdot F_{\delta} \cdot m} = \frac{2000 \cdot 11.683}{60 \cdot 3890} = 0.1; \quad C_{\text{пр}025} = 1 \text{ верстат}.$$

Визначаємо коефіцієнти завантаження обладнання по операціям:

$$\eta_{z005} = \frac{C_{p005}}{C_{\text{пр}005}} = \frac{0.033}{1} = 0.033;$$

$$\eta_{z010} = \frac{C_{p010}}{C_{\text{пр}010}} = \frac{0.0303}{1} = 0.0303;$$

$$\eta_{z015} = \frac{C_{p015}}{C_{\text{пр}015}} = \frac{0.0206}{1} = 0.0206;$$

$$\eta_{z020} = \frac{C_{p020}}{C_{\text{пр}020}} = \frac{0.0175}{1} = 0.0175;$$

$$\eta_{z025} = \frac{C_{p025}}{C_{\text{пр}025}} = \frac{0.1}{1} = 0.1.$$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{з\text{сер.}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{рi}}{\sum_{i=1}^n C_{нi}} = \frac{0.033 + 0.0303 + 0.0206 + 0.0175 + 0.1}{1+1+1+1+1} = \frac{0.0214}{5} \cong 0.04 \text{ (4\%)}.$$

Визначимо кількість обладнання, яке працює з  $N_{прив.}$ :

$$C_{005+010} = \frac{13066 \cdot 7.406}{60 \cdot 3890 \cdot 0.8} = 0.518, \quad C_{пр\ 005+010} = 1 \text{ верстат};$$

$$C_{015} = \frac{13066 \cdot 2.496}{60 \cdot 4029 \cdot 0.8} = 0.168, \quad C_{пр\ 015} = 1 \text{ верстат};$$

$$C_{020+025} = \frac{13066 \cdot 13.728}{60 \cdot 3890 \cdot 0.8} = 0.98, \quad C_{пр\ 020+025} = 1 \text{ верстат}.$$

Визначимо коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{з\ 005+010} = \frac{0.518}{1} = 0.518;$$

$$\eta_{з\ 015} = \frac{0.168}{1} = 0.168;$$

$$\eta_{з\ 020+025} = \frac{0.96}{1} = 0.96.$$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання при обробці 6 найменувань деталей:

$$\eta_{з\text{сер.}} = \frac{0.518 + 0.168 + 0.96}{3} = \frac{1.646}{3} \cong 0.548 \text{ (54.8\%)}.$$

Визначимо коефіцієнти використання обладнання за основним часом:

$$\eta_o = \frac{T_o}{T_{ит} - \kappa},$$

$$\eta^{0_{005+010}} = \frac{4.864}{7.406} \cong 0.657;$$

$$\eta^{0_{015}} = \frac{0.402}{2.496} \cong 0.16;$$

$$\eta^{0_{020+025}} = \frac{10.634}{13.728} \cong 0.77.$$

Середній коефіцієнт використання обладнання по основному часу:

$$\eta^{0_{\text{ср.}}} = \frac{0.657 + 0.16 + 0.77}{3} = \frac{1.587}{3} \cong 0.529 \text{ (52.9\%).}$$

#### 4.3 Побудова графіків завантаження обладнання

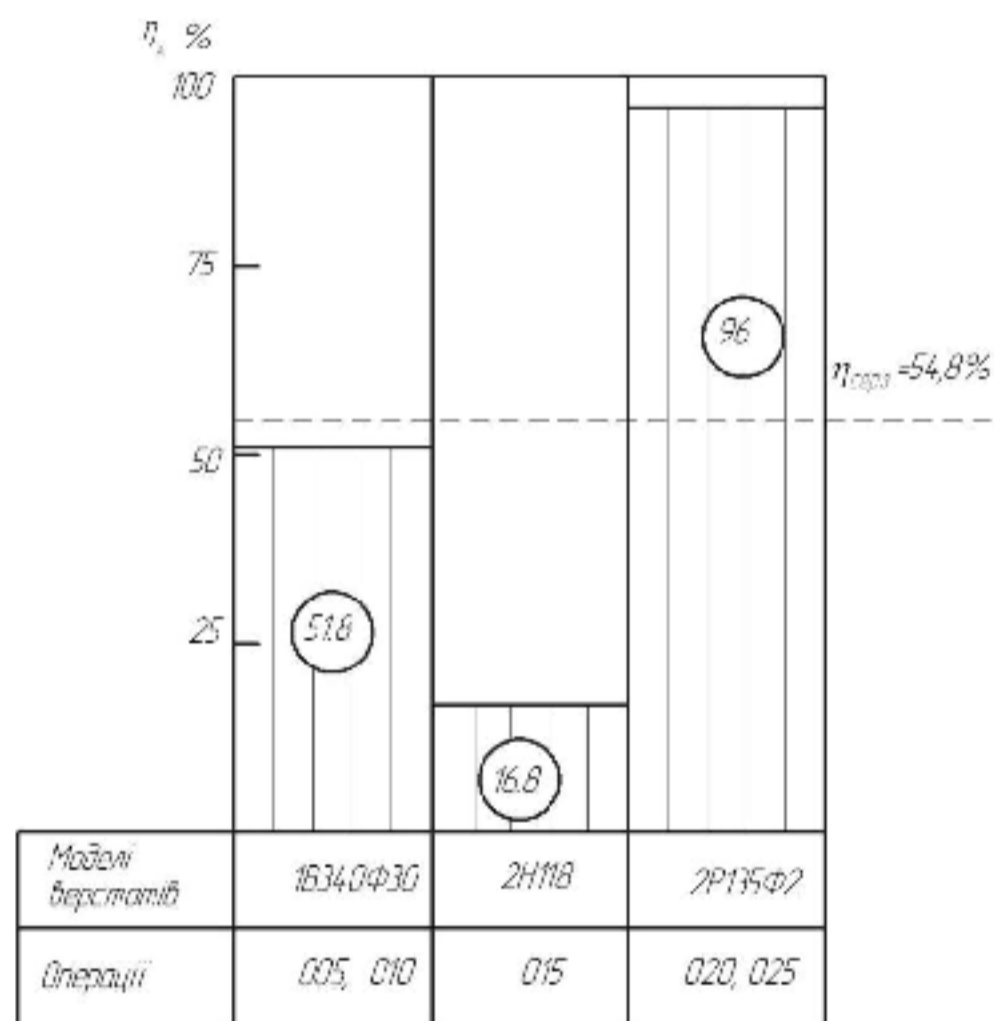


Рисунок 4.1 – Графік завантаження обладнання

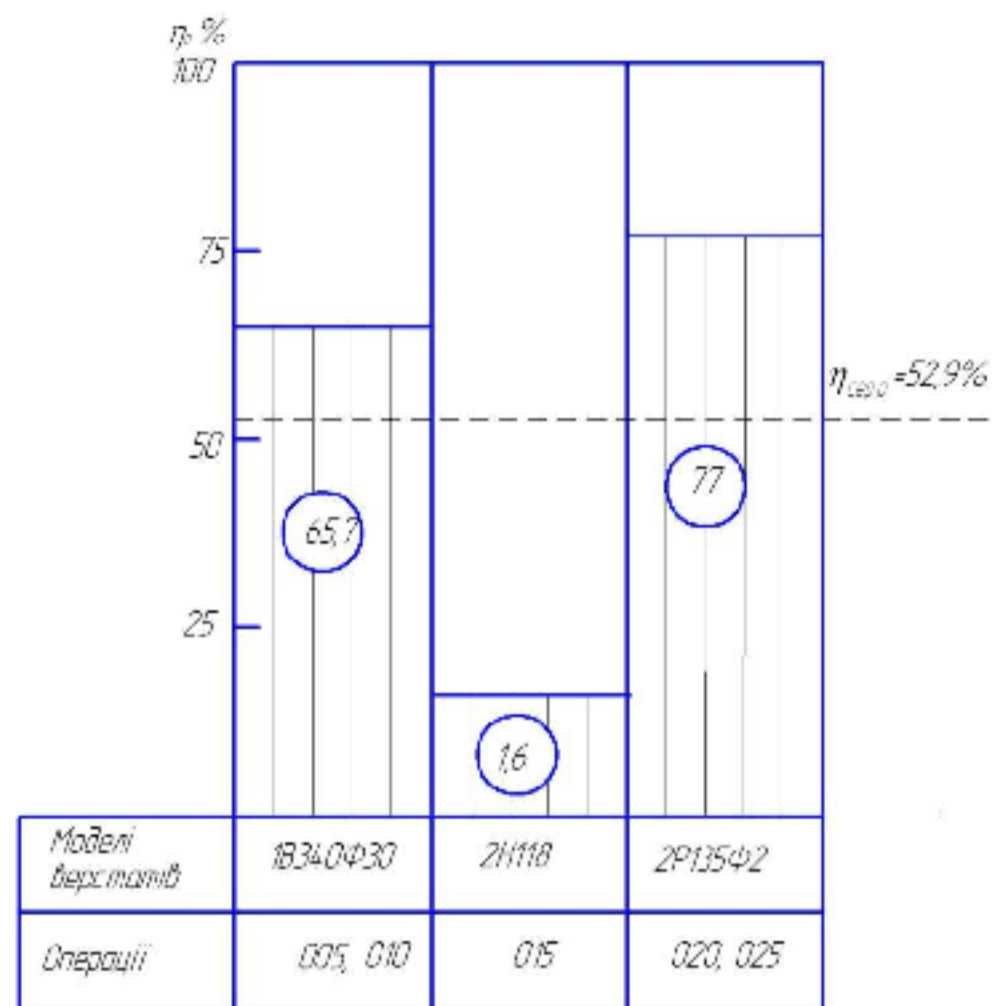


Рисунок 4.2 – Графік використання обладнання за основним часом

Для розглянутої групи деталей типу «Корпус гідромунфти 12.00.001» середні коефіцієнти завантаження обладнання менші за величину рекомендованих. Потрібно довантажувати обладнання ще іншими деталями.

#### 4.4 Розрахунок кількості працівників на дільниці

Кількість основних робітників (верстатників) [5, 27]:

$$P_{\text{верст.}} = \frac{T_{\text{шт.} - \kappa}}{F_p \cdot K_m} = \frac{\sum T_{\text{шт.} - \kappa} \cdot N_{\text{при}}}{F_p \cdot K_m} \quad [\text{чол.}] \quad (4.2)$$

- токарів – револьверників верстатів з ЧПК:

$$P_{\text{т-р}005,010} = \frac{13066 \cdot 7.406}{60 \cdot 1860 \cdot 1.1} = 0.789 \quad (\text{чол.})$$

Приймаємо 1 – го робітника,  $P_{np_{m-p005,010}} = 1$  для однієї робочої зміни  
- свердлильник – універсальщик:

$$P_{св.015} = \frac{13066 \cdot 2.496}{60 \cdot 1860 \cdot 1.1} \cong 0.26 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1-го робітника,  $P_{np_{св.015}} = 1$  для однієї робочої зміни  
- свердлильник верстата з ЧПК:

$$P_{св.чпк} = \frac{13066 \cdot 13.728}{60 \cdot 1860 \cdot 1.1} \cong 1.46 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1-го робітника,  $P_{np_{св.чпк}} = 1$  для однієї робочої зміни.  
- Кількість допоміжних робітників:

$$P_{доп.} = 0.20 \cdot \sum P_{верст.пр.} = 0.20 \cdot (1+1+1) = 0.6 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1-го робітника,  $P_{np_{доп.}} = 1$  (працює в одну зміну)  
- Кількість ІТР:

$$P_{доп.} = 0.2 \cdot \sum P_{верст.пр.} = 0.20 \cdot 3 = 0.6 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1-го робітника,  $P_{imp_{пр.}} = 1$  для однієї робочої зміни  
- Кількість службовців

$$P_{сл.} = 0.2 \cdot \sum P_{верст.пр.} = 0.20 \cdot 3 = 0.6 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1-го робітника,  $P_{сл_{пр.}} = 1$  для однієї робочої зміни  
-Кількість МОП:

$$P_{\text{МОП}} = 0.02 \cdot 6 = 0.12. \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1-го робітника,  $P_{\text{МОПпр}} = 1$  (працює в одну зміну)

Таким чином робочий штат дільниці такий:

- верстатники – 6 чоловік (по 3 в зміну);
- допоміжні робітники – 1 чоловік (працює в першу зміну);
- ІТР – 2 чоловіки (по 1-у в зміну);
- Службовці – 2 чоловіки (працює в першу зміну)
- МОП – 1 чоловік (працює в першу зміну)

Загальна кількість робітників: 12 чоловік.

#### 4.5 Висновки

Для удосконаленого ТП механічної обробки розраховано елементи дільниці механічної обробки; розраховано приведену програму для роботи дільниці в великосерійному виробництві, яка складає 13066 шт.; дільниця складається з 3 верстатів, кількість основних робітників, що їх обслуговують – 3 чол.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ГІДРОМУФТИ 12.00.001»

5.1 Розрахунок кошторису капітальних витрат на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001»

### 5.1.1 Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу

Капітальні вкладення на удосконалення технологічного процесу  $K$ , складаються з відповідних витрат і розраховують за такою формулою [2]:

$$K = Z_o + Z_{доd} + Z_n + B_{бyд} + B_{обл} + B_{тp} + B_{осн} + B_{инв} + B_{пу} + B_{не} + B_{оз} \text{ [грн.]}, \quad (5.1)$$

де  $Z_o$  – основна заробітна плата розробників, грн.;  $Z_{доd}$  – додаткова заробітна плата розробників, грн.;  $Z_n$  – нарахування на заробітну плату розробників, грн.;  $B_{бyд}$  – вартість будівлі, що її займає діляниця, грн.;  $B_{обл}$  – початкова вартість технологічного обладнання, грн.;  $B_{тp}$  – початкова вартість транспортних засобів, грн.;  $B_{осн}$  – початкова вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів, грн.;  $B_{инв}$  – вартість виробничого та господарчого інвентарю, грн.;  $B_{пу}$  – вартість програм управління, грн.;  $B_{не}$  – передвиробничі витрати, грн.;  $B_{оз}$  – вартість оборотних засобів, грн.

### 5.1.2 Основна заробітна плата розробників

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

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p} \text{ [грн.]}, \quad (5.2)$$

де  $k$  – кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

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

$t_i$  – число днів роботи конкретного розробника, грн.;

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

Таблиця 5.1 – Витрати на заробітну плату розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.	Прим.
Керівник проекту	9000	409,1	10	4091	
Інженер-технолог	8000	363,64	8	2909,12	
Інженер-конструктор	8000	363,64	5	1818,2	
Економіст	8000	363,64	2	727,28	
Всього				$3_o$	9545,6

### 5.1.3 Додаткова заробітна плата розробників

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

$$Z_{\text{доп}} = H_{\text{доп}} \cdot Z_o \text{ [грн.]}, \quad (5.3)$$

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

$$Z_{\text{доп}} = 0,1 \cdot 9545,6 = 954,56 \text{ (грн.)}$$

### 5.1.4 Єдиний страховий внесок розробників (ЄСВ)

Єдиний страховий внесок розробників  $Z_n$  розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати розробників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_{\text{доп}}) \cdot H_{\text{зн}} \text{ [грн.]}, \quad (5.4)$$



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

$$Z_n = (9545,6 + 954,56) \cdot 0,22 = 2310 \text{ (грн.)}$$

### 5.1.5 Вартість будівлі, що її займає дільниця

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

$$B_{\text{буд.}} = C_{\text{пл}} \cdot S_{\text{заг}} \text{ [грн.]}, \quad (5.5)$$

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

$S_{\text{заг}}$  – загальна площа виробничої дільниці, м<sup>2</sup>.

$$B_{\text{буд.}} = 600 \cdot 50 = 30000 \text{ (грн.)}$$

### 5.1.6 Початкова вартість технологічного обладнання

Балансову вартість нового обладнання розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{обл.}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i \text{ [грн.]}, \quad (5.6)$$

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

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

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

$k$  – кількість найменувань обладнання встановленого на дільниці.

Таблиця 5.2 – Вартість обладнання

№	Найменування обладнання	Ціна, грн.	Кількість	$K_i$	Вартість, грн.
1	Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30	400000	1	1,1	440000
2	Вертикально-свердлильний з ЧПК 2Р135Ф2	300000	1	1,1	330000
Всього					770000

Придбані верстати були у використанні.

Реалізуємо верстати, що були на базовій ділянці:

- 2 верстати 16К20Ф3 –  $2 \cdot 100000 = 200000$  (грн.);
- 3 верстати 2Н118 –  $3 \cdot 20000 = 60000$  (грн.)

Всього реалізовано верстатів на 260000 грн.

Отже, витрати на обладнання

$$B_{обл} = 770000 - 260000 = 510000 \text{ (грн.)}$$

#### 5.1.7 Початкова вартість транспортних засобів

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

#### 5.1.8 Початкова вартість інструменту, оснащення великої вартості, вимірювальних та регулювальних приладів

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

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

$$B_{мо} = B_{обл} \cdot \frac{K_n}{100\%} \text{ [грн.],} \quad (5.7)$$

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

$K_n$  – нормативний відсоток витрат в залежності від типу виробництва;

$$B_{то} = 510000 \cdot 0,10 = 51000 \text{ (грн.)}$$

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

$$B_{осн} = (0,2...0,3) \cdot B_{то} \text{ [грн.]}; \quad (5.8)$$

$$B_{осн} = 51000 \cdot 0,25 = 12750 \text{ (грн.)}$$

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

$$B_{квл} = (0,06...0,12) \cdot B_{то} \text{ [грн.]}; \quad (5.9)$$

$$B_{квл} = 0,1 \cdot 51000 = 5100 \text{ (грн.)}$$

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

$$B_{осн} = B_{то} + B_{осн} + B_{квл} \text{ [грн.]}; \quad (5.10)$$

$$B_{осн} = 51000 + 12750 + 5100 = 68850 \text{ (грн.)}$$

### 5.1.9 Вартість виробничого та господарчого інвентарю

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

### 5.1.10 Вартість програм керування

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

$$B_{пу} = (0,05...0,1) \cdot B_{обл} \text{ [грн.];} \quad (5.11)$$

$$B_{пу} = 0,1 \cdot 510000 = 51000 \text{ (грн.)}$$

### 5.1.11 Величина передвиробничих витрат

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

### 5.1.12 Величина оборотних засобів

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

Отже, величина капітальних вкладень на удосконалення технологічного процесу складе:

$$K = 9545,6 + 954,56 + 2310 + 30000 + 510000 + 68850 + 51000 = 672660,16 \text{ (грн.)}$$

## 5.2 Розрахунок виробничої собівартості одиниці продукції

### 5.2.1 Сировина та матеріали

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

Вартість витрат на матеріал заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001» складає 56,44 грн. (див. розділ 2).

### 5.2.2 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію ( $B_e$ ) розраховують за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{\text{еи}}}{\eta_i} \text{ [грн.]}, \quad (5.12)$$

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

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

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії,  $C_e = 2,99$  грн.;

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

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

Проведені розрахунки бажано звести до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Витрати на електроенергію

Найменування операції, верстат	Встановлена потужність, кВт	Тривалість обробки, год.	Сума, грн.
005, Токарно-револьверна з ЧПК, 1В340Ф30	6	0,039	0,58
010, Токарно-револьверна з ЧПК, 1В340Ф30	6	0,042	0,63
015, Вертикально-свердлильна, 2Н118	1,5	0,007	0,03
020, Вертикально-свердлильна з ЧПК, 2Р135Ф2	4	0,021	0,21
020, Вертикально-свердлильна з ЧПК, 2Р135Ф2	4	0,156	1,56
Всього			Σ 3,01

### 5.2.3 Основна заробітна плата робітників

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

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i \text{ [грн.]}, \quad (5.13)$$

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

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

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

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{zm}} \text{ [грн.]}, \quad (5.14)$$

де  $M_M$  – розмір мінімальної місячної заробітної плати,  $M_M = 5000$  грн. (на 01.11.2020 р.);

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

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

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

$t_{zm}$  – тривалість зміни, год.

$$C = (5000 \cdot 1,35 \cdot 1,5) / (22 \cdot 8) = 57,53 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.4 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування операцій, верстат	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
005, Токарно-револьверна з ЧПК, 1В340Ф30	0,039	3	1,35	57,53	2,24
010, Токарно-револьверна з ЧПК, 1В340Ф30	0,042	3	1,35	57,53	2,42
015, Вертикально-свердлильна, 2Н118	0,007	3	1,35	57,53	0,4
020, Вертикально-свердлильна з ЧПК, 2Р135Ф2	0,021	3	1,35	57,53	1,21
020, Вертикально-свердлильна з ЧПК, 2Р135Ф2	0,156	3	1,35	57,53	8,98
Всього					Σ 15,25

#### 5.2.4 Додаткова заробітна плата робітників

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

$$Z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}} \cdot Z_p \text{ [грн.]}, \quad (5.15)$$

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

$$Z_{\text{дод}} = 0,1 \cdot 15,25 = 1,53 \text{ (грн.)}$$

#### 5.2.5 Єдиний страховий внесок робітників (ЄСВ)

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

$$Z_n = (Z_o + Z_{\text{дод}}) \cdot H_{\text{zn}} \text{ [грн.]}, \quad (5.16)$$

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

$$z_n = (15,25 + 1,53) \cdot 0,22 = 3,69 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.6 Розрахунок загальновиробничих статей витрат

Величину загальновиробничих витрат розраховують за формулою:

$$B_{zag} = H_{zg} \cdot z_p \text{ [грн.];} \quad (5.17)$$

$$B_{zag} = 2,5 \cdot 15,25 = 38,13 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Таблиця 5.5 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.	Примітка
Витрати на матеріали на одиницю продукції, грн.	$M$	56,44	
Витрати на силову електроенергію, грн.	$B_e$	3,01	
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	$z_p$	15,25	
Витрати на додаткову заробітну плату робітників, грн.	$z_{dod}$	1,53	
Витрати на єдиний соціальний внесок, грн.	$z_n$	3,69	
Загальновиробничі витрати, грн.	$B_{zag}$	38,13	
Всього	$S_g$	118,05	

## 5.3 Розрахунок ціни реалізації нового виробу

### 5.3.1 Нижня межа ціни

Ціна реалізації виробу розраховується за формулою:



$$C_{\text{нп}} = S_e \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{w}{100}\right) \text{ [грн.],} \quad (5.18)$$

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

$S_e$  – виробнича собівартість виробу, грн.;

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

$w$  – ставка податку на додану вартість, за станом на 01.11.2020 року,  $w = 20\%$ .

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

$$C_{\text{нп}} = 118,05 \cdot (1+0,2) \cdot (1+0,2) = 169,99 \text{ (грн.)}$$

### 5.3.2 Верхня межа ціни

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

Параметри якості продукції закладено в конструкторській документації, тому, при удосконаленні технологічного процесу, якість кінцевого продукту не змінюється  $C_{\text{вп}} = 169,99$  грн.

### 5.4 Розрахунок величини чистого прибутку

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

$$\Pi = \left\{ \left[ C_{\text{дог}} - \frac{(C_{\text{дог}} - M) \cdot f}{100} - S_B - \frac{q \cdot S_B}{100} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{h}{100} \right] \right\} \cdot N \text{ [грн.],} \quad (5.19)$$

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

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

$S_e$  – виробнича собівартість виробу, грн.;

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \Pi &= \left\{ \left[ 169,99 - \frac{(169,99 - 56,44) \cdot 16,67}{100} - 118,05 - \frac{10 \cdot 118,05}{100} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{18}{100} \right] \right\} \cdot 13066 = \\ &= 227205,93 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

## 5.5 Оцінювання ефективності інноваційного рішення

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

### 5.5.1 Розрахунок чистого дисконтного доходу

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

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\Pi_t}{(1+d)^t} - K \text{ [грн.]}, \quad (5.20)$$

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

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

$d$  – норма дисконту, величина якої залежить від рівня ризику, рівня банківської ставки по вкладам, рівня інфляції;

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

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

$$NPV = \frac{227205,93}{(1+0,2)^1} + \frac{227205,93}{(1+0,2)^2} + \frac{227205,93}{(1+0,2)^3} + \frac{227205,93}{(1+0,2)^4} + \frac{227205,93}{(1+0,2)^5} - 672660,16 =$$

$$= 6824,65 \text{ (грн.)}$$

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

### 5.5.2 Розрахунок внутрішньої норми доходності

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

$$IRR_{MIN} = \sqrt[n]{\frac{\sum_{t=1}^n (\Pi_t + A_t)}{K}} - 1, \quad (5.21)$$

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

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

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

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

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

$$IRR_{MIN} = \sqrt[5]{\frac{227205,93 + 227205,93 + 227205,93 + 227205,93 + 227205,93}{672660,16}} - 1 = 0,11.$$

### 5.5.3 Розрахунок терміну окупності

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

$$T_o = \frac{\Delta K(K)}{П} \text{ [років]}, \quad (5.22)$$

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

$\Delta K$  – величина додаткових капітальних вкладень для модернізації технології, грн.,

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

$$T_o = \frac{672660,16}{227205,93} = 2,96 \text{ (року)}.$$

## 5.6 Висновки

В даному розділі визначено капітальні витрати на удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001», які включають витрати на основну і додаткову заробітну плату розробників та робітників, амортизацію обладнання, витрати на електроенергію, матеріали тощо.

За результатами всіх розрахунків виявлено, що для впровадження удосконаленого технологічного процесу потрібно 672660,16 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 227205,93 грн., термін окупності 2,96 року.

Отже, удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001» доцільне для впровадження.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 6.1 Аналіз умов праці [28, 29]

В даному розділі розглядаються умови роботи на механічній дільниці, де проводиться удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001». Дільниця розташована безпосередньо в механічному цеху.

Будівля є залізобетонною конструкцією та має один поверх. Освітлення на дільниці природне бокове та штучне комбіноване.

Обладнання живиться напругою 380 В від трифазної чотирипровідної мережі з заземленою нейтраллю.

На дільниці використовується природна вентиляція та механічна приточно-витяжна система.

Обладнання живиться напругою 380 В від трифазною чотирипровідної мережі з заземленою нейтраллю. На робітників можуть діяти небезпечні та шкідливі фізичні виробничі фактори [28, 29]:

- високий рівень шуму та вібрацій на робочому місці;
- підвищена напруга в електричній мережі;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищена концентрація пилу;
- виліт матеріалу з зони обробки;
- гострі кромки, заусениці і шорсткість на поверхнях заготовок, інструмента, обладнання.

Хімічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: токсичні; подразнюючі.

Ці фактори виникають внаслідок застосування у виробництві ЗОР для нормальної роботи ріжучого інструменту і можуть бути причиною хронічних та гострих отруєнь.

Психофізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що можуть бути на дільниці: фізичні перевантаження, монотонність роботи.

## 6.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

## 6.2.1 Мікроклімат

Показники мікроклімату в виробничих приміщеннях нормуються для теплого та холодного періодів року згідно категорій робіт. Роботи, які виконуються відносяться до категорії Пб (табл. 6.1).

Інтенсивність теплового випромінювання працівників від нагрітих поверхонь технологічного обладнання, освітлювальних пристроїв на постійних робочих місцях не повинна перевищувати  $100 \text{ Вт/м}^2$  при опроміненні 25% поверхні тіла.

Таблиця 6.1 – Показники мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура $t$ , °C				Відносна вологість, %		Швид. повітря, м/с		
		Оптимальна	На робочих місцях		Оптимальна	Допустима на роб. місці	Оптимальна	Допустима на роб. місці		
			Верхня межа	Нижня межа					пост.	непост.
Холодний	П б	17...19	21	23	15	13	40...60	75	0,2	>0,4
Теплий		20...22	27	29	16	15	40...60	70(1=25°C)	0,3	0,2...0,5

Оптимальні параметри мікроклімату підтримувати економічно недоцільно, тому підтримують допустимі параметри.

В повітрі робочої зони в результаті технологічних процесів та роботи обладнання виділяються шкідливі речовини.

Таблиця 6.2 – Питома кількість шкідливих речовин, що виділяються в зоні обробки  $m_s$

Технологічний процес	Шкідлива речовина	$m_s$ , мг/м <sup>3</sup>
Обробка різанням	Пари мастил	15
	Окис заліза FeO	8,0
	Двоокис кремнію SiCb	16

Таблиця 6.3 – Гранично-допустимі концентрації шкідливих речовин

Речовина	Агрегатний стан	Клас безпеки	Величина ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Дія на організм
Пари мастил	Аерозоль	II	6,0	Ф
Окис заліза FeO (пил)	Аерозоль	III	6,0	Ф
Двоокис кремнію SiO <sub>2</sub> (пил)	Аерозоль	III	1,0	Ф

Примітка. «Ф» – аерозоль фіброгенної дії.

Як видно з таблиці 6.2, величина виділення шкідливих речовин перевищує допустиму, тому потрібно вживати слідуючі заходи: застосування приточно-витяжної вентиляційної системи; застосування природної вентиляції.

У механічному цеху застосовують промислову витяжну загальну обмінну вентиляцію.

### 6.2.2 Виробниче освітлення

Роботи на механічній дільниці відносяться до розряду 2.

Освітлення робочої зони дільниці:

- штучне освітлення – освітленість 150 лк;
- природне освітлення – освітленість 300 лк.

Таблиця 6.4 – Нормування освітленості

Характер зорової роботи	Найменший розмір об'єкту розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкту розрізнення	Характер фону	Штучне, лм	Природне, %
						Комб.	Комб.
Високоточне	Більше 0,15 до 0,3	2	в	Середній	Середній	750	2,5

Для освітлення приміщення буде використовуватись суміщене освітлення. Природне освітлення буде здійснюватись комбінованим світлом-через вікна в зовнішніх стінах і ліхтар у перекриттях. Штучне освітлення буде комбінованим. Джерелами загального штучного освітлення будуть газорозрядні лампи, а місцевого – лампи розжарення.

Стосовно природного освітлення: освітлення бічне; географічна широта 48°; орієнтація вікон – на захід.

Так як маємо одностороннє бічне природне освітлення, то мінім значення КПО нормується в точці, розміщеній на відстані 1 м від стіни, найбільш віддаленої від світлових проїомів, на перетині вертикальної площини характерного перерізу приміщення та умовної робочої поверхні (пола).

Нормоване значення КПО,  $e_H$  для будівлі, що знаходиться в IV поясі світлового клімату, знаходимо по формулі:

$$e_H^{IV} = e_H^{III} \cdot m \cdot c, \quad (6.1)$$

де  $e_H^{III} = 2,5$  для природнього освітлення;  $e_H^{III} = 4,5$  для суміщеного освітлення;

$$m = 0,9; c = 0,75;$$

$$e_H^{IV} = 2,5 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 1,7\%; e_H^{IV} = 4,5 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 3,0\%.$$

Отже, освітленість робочої зони діляниці відповідає нормам.

На верстатах використовуємо для місцевого освітлення лампи розжарювання.

### 6.2.3 Виробничий шум

Основним джерелом шуму на діляниці є: приводи пристроїв та процес обробки. Допустимі рівні звукового тиску наведені в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні звукового тиску

Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньо геометричними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівнів звуку, дБ(А)
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	80
107	95	87	82	78	75	73	71	69	



Для зниження шуму у виробничих приміщеннях застосовують різні методи: зменшення рівня шуму в джерелі його виникнення; звукопоглинання і звукоізоляція; установка глушників шуму; раціональне розміщення обладнання; застосування засобів індивідуального захисту.

#### 6.2.4 Виробничі вібрації

На дільниці діє вібрація, джерелом якої є працююче обладнання. В механічному цеху має місце локальна вібрація, яка передається через руки робітника, що працює за верстатом.

Напрямок дії: Хл, Ул, Зл. Нормовані наведені в таблиці 6.6 для локальної вібрації Хл, Ул, Зл – напрямках.

Таблиця 6.6 – Рівень вібрації

Середньо геометрична частота октавних смуг, Гц	Нормативні значення			
	віброприскорення		віброшвидкість	
	м/с <sup>2</sup>	дБ	м/с×10 <sup>-2</sup>	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,7	129	1,4	109
63	5,4	136	1,4	109
125	10,7	141	1,4	109
250	21,3	147	1,4	109
500	42,5	153	1,4	109
1000	85	150	1,4	109

Загальні методи боротьби з вібрацією у виробничих умовах класифікуються наступним чином:

- зниження вібрацій в джерелі виникнення шляхом зниження або усунення збуджувальних сил;
- відлагодження від резонансних режимів раціональним вибором приведеної маси або жорсткості системи, котра коливається;
- вібродемпфування – зниження вібрацій за рахунок тертя демпферного пристрою, тобто переведення коливної енергії в тепло;

- динамічне гасіння – введення в коливну систему додаткові мас або збільшення жорсткості системи

- віброізоляція – введення в коливну систему додаткового пружного зв'язку, з метою послаблення передавання вібрацій, суміжному елементу конструкції або робочому місцю;

- використання індивідуальних засобів захисту.

### 6.3 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи

Виробниче обладнання на ділянці механічної обробки повинно відповідати нормам. Робітники ділянці обробку різання повинні проводити згідно стандартів, мати засоби індивідуального захисту: спецодяг, взуття, які повинні відповідати вимогам.

Розглянемо заходи, що необхідно провести для захисту робочих на ділянці від небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Розглянемо питання електробезпеки та захисту робочих від ураження електричним струмом. Для цього визначимо клас приміщення по ступеню небезпеки ураження електричним струмом. Ділянка відноситься до особливо небезпечних приміщень, що характеризуються наявністю наступних умов, що чинять особливу небезпеку:

- струмопровідні поли (залізобетонні);
- можливість одночасного дотику людини до маючих з'єднання з землею механізмів з одного боку та металевим корпусом електрообладнання з іншого.

В електроустановках змінного струму в мережах з заземленою нейтраллю повинно бути застосоване занулення та повторне заземлення нульового провідника.

#### 6.4 Пожежна безпека

За ступенем вогнестійкості приміщення відносяться до I ступеню – приміщення з несучими і огорожуючими конструкціями з природних чи штучних матеріалів, бетону, залізобетону з використанням листових чи плитних перегороджуючи матеріалів.

Дільниця механічної обробки відноситься до категорії виробництва «Д» – виробництва, в якому оброблюються негорючі речовини і матеріали в холодному стані (табл. 6.7).

Таблиця 6.7 – Визначення категорії приміщення

Категорія будівлі	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості	Площа поверхів в межах пожежного відділення, м <sup>2</sup>
Д	6	I	не обмежується

Границі вогнестійкості наведені в таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 – Мінімальні границі вогнестійкості і максимальні границі розповсюдження вогню, см

Стіни				Колони	Поверхові площадки, косоури, балки, марші сходові клітин	Елементи покриття
Несучі та сходових клітин	Само-несучі	Зовнішні не несучі	Внутрішні не несучі (перегородки)			
2,5/0	1,25/0	0,5/0	0,5/0	2,5/0	1/0	0,5/0

Для запобігання пожеж в механічному цеху необхідно провести ряд заходів: встановити пожежні сповісники; навчити робітників елементарним правилам та основам вогнегасіння; проводити своєчасні профілактичні огляди і випробовування обладнання; підвести на дільницю аварійне водопостачання; встановити повний комплекс пожежного щита.

## 6.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях

6.5.1 Оцінка безпеки роботи системи ЧПК токарно-револьверного верстата 1В340Ф30 в умовах дії електромагнітних та іонізуючих випромінювань

- Оцінка безпеки роботи системи ЧПК токарно-револьверного верстата 1В340Ф30 в умовах дії електромагнітних випромінювань.

Оцінити безпеку роботи системи ЧПК в умовах дії електромагнітних можна за допомогою коефіцієнта безпеки

$$K_B = 20 \lg \frac{U_D}{U_{B(\Gamma)}},$$

де  $U_D$  – допустиме коливання напруги живлення системи, В;

$U_{B(\Gamma)}$  – напруга створена електромагнітним випромінюванням, відповідно, у вертикальних чи горизонтальних струмопровідних частинах системи ЧПК, В.

Безпечною робота системи ЧПК в умовах дії електромагнітних випромінювань буде у випадку, коли  $K_{B\min} \geq 40$  дБ.

Допустиме коливання напруги живлення для системи ЧПК складає

$$U_D = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N = 18 + \frac{18}{100} \cdot 2 = 18,36(\text{В}),$$

де  $U_{ж} = 18$  В – номінальна напруга живлення системи;

$N = 5\%$  – допустимі відхилення напруги.

Основна частина струмопровідних елементів системи ЧПК розміщена в горизонтальній площині, їх максимальна довжина між елементами становить близько 0,5 м.

Допустима величина наведеної електромагнітним полем напруги в горизонтальних струмопровідних частинах системи ЧПК

$$K_{B\Gamma} = 20 \lg \frac{U_D}{U_{\Gamma}},$$

Тоді

$$40 = 20 \lg \frac{U_d}{U_r}; \quad \frac{U_d}{U_r} = 10^{\frac{40}{20}};$$

$$U_r = \frac{U_d}{10^{\frac{40}{20}}} = \frac{18,36}{100} = 0,1836(\text{В}).$$

Звідки максимально допустиме значення вертикальної складової напруженості електричного поля

$$E_v = \frac{U_r}{l_r} = \frac{0,1836}{0,5} = 0,3672 \text{ В/м}$$

Отже, безпечна робота системи ЧПК токарно-револьверного верстата 1В340Ф30 в умовах дії електромагнітних випромінювань буде забезпечена, якщо значення вертикальної складової напруженості електричного поля не перевищуватиме 0,3672 В/м.

6.5.2 Оцінка безпеки роботи системи ЧПК токарно-револьверного верстата 1В340Ф30 в умовах дії іонізуючих випромінювань.

Критерієм, що дозволяє оцінити безпеку роботи системи ЧПК в умовах дії іонізуючих випромінювань, є максимальне значення потужності дози, яка може зумовити виникнення змін в елементній базі системи не порушуючи її працездатність в цілому.

Аналіз принципової схеми системи ЧПК показав, що елементами без яких неможливе її нормальне функціонування є: інтегральні схеми, транзистори, конденсатори, резистори, діоди, діелектричні матеріали, кварцові елементи, магнітні матеріали, мікросхеми індуктивності та напівпровідники.

Граничне значення потужності дози гамма-випромінювання для системи за довідниковими даними складає  $p_{sp} = 10^4 \text{ Р/с}$ .

Граничне значення потужності дози іонізуючого випромінювання визначається за формулою

$$P_{гр} = P_{зв} \cdot K_{нос} \cdot K_{над} = 10^4 \cdot 10 \cdot 0,95 = 9,5 \cdot 10^4 \text{ (P/c)},$$

де  $P_{зв}$  – мінімальне значення рівня радіації, що може спричинити початок зворотних змін в елементах системи ЧПК;

$K_{нос} = 10$  – коефіцієнт послаблення радіації;

$K_{над} = 0,9 \cdot 0,95$  – коефіцієнт надійності роботи.

Таблиця 6.9 – Визначення граничної дози іонізуючих випромінювань для системи ЧПК токарно-револьверного верстата 1В340Ф30

Елементи і матеріали системи ЧПК	Границя стійкості елементів системи ЧПК, $P_{гр.i}$ , P/c	Границя стійкості для системи ЧПК в цілому, $P_{гр}$ , P/c
Транзистори, діоди	$10^5$	10 <sup>4</sup>
Інтегральні схеми, напівпровідники	$10^4$	
Конденсатори, індуктивності	$10^5$	
Резистори	$10^6$	
Діелектричні матеріали	$10^4$	
Мікросхеми	$10^4$	
Магнітні матеріали	$10^7$	
Кварцові елементи	$10^{10}$	

Проведений розрахунок показав, що безпечна робота системи ЧПК токарно-револьверного верстата 1В340Ф30 в умовах дії іонізуючих випромінювань буде забезпечена, якщо в умовах експлуатації потужність дози іонізуючих випромінювань не перевищуватиме  $9,5 \cdot 10^4$  P/c.

6.5.3 Розробка заходів захисту системи ЧПК верстатного обладнання від дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Оскільки стовідсотково запобігти можливості впливу іонізуючих випромінювань на обладнання неможливо, то необхідним є введення в дію

заходів захисту, які якщо не усунуть можливі наслідки взагалі, то принаймні зменшать їх масштаби.

Ефективним заходом захисту електронної техніки від іонізуючих випромінювань може стати екранування покриттями чи безпосередньо різними екранами, що екранують високочастотні і низькочастотні випромінювання працюючих вузлів і блоків обладнання. Ці ж заходи можуть бути ефективними і для захисту від дії електромагнітного імпульсу.

Крім того, для захисту системи ЧПК верстатного обладнання можна вжити такі заходи:

- використання стійких до радіації елементів і матеріалів;
- застосування загальних екранів за рахунок будівельних конструкцій та оздоблення;
- застосування активного захисту від дії радіації;
- використання схем малочутливих до зміни електричних параметрів;
- застосування пристроїв та елементів схем, що вимикають радіотехнічні схеми на час дії радіації або стрибків напруги, що може також бути наведена електромагнітним імпульсом;
- збільшення відстані між елементами, які знаходяться під навантаженням або додаткова їх ізоляція і зменшення довжини струмопровідних частин обладнання та ін.

## 6.6 Висновки

В розділі розглянуто умови роботи при виконанні технологічного процесу механічної обробки на спроектованій дільниці, висвітлені організаційно технічні рішення з гігієни праці, виробничої санітарії та щодо забезпечення безпечної роботи, виконано оцінку безпеки роботи системи ЧПК токарно-револьверного верстата 1В340Ф30 в умовах дії електромагнітних та іонізуючих випромінювань.

## ВИСНОВКИ

В МКР удосконалено ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001».

1. Розглянуто технологію виготовлення деталі типу «Корпус», а також характеристики та особливості деталі «Корпус гідромуфти 12.00.001». Запропоновано шляхи удосконалення дільниці та ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001».

2. Вибрано два найбільш доцільних способи виготовлення заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001» – лиття в оболонкові форми та в піщано-глинисті форми. При розрахунку собівартості заготовки виявлено, що вартість заготовки виготовленої литтям в оболонкові форми складає 56,44 грн., що менше у порівнянні з литтям в піщано-глинисті форми – 56,9 грн.; тоді як коефіцієнт точності маси при литті в оболонкові форми (0,76) більший, ніж при литті в піщано-глинисті форми (0,72).

3. Розроблено удосконалений ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001» на основі верстатів з ЧПК, виконане його розмірно-точнісне моделювання.

4. В науковій частині роботи запропоновано схему гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана автобенозмішувача з пропорційною електрогідравлічною системою керування регульованого аксіально-поршневого насоса. Розроблено розрахункову схему та створено нелінійну математичну модель запропонованої системи керування регульованого насоса, яка розв'язується за допомогою програмного пакета MATLAB Simulink. Математична модель може бути використана для визначення статичних та динамічних характеристик і дослідження стійкості розробленої системи керування регульованим аксіально-поршневим насосом.

5. Для удосконаленого ТП механічної обробки розраховано елементи дільниці механічної обробки; розраховано приведену програму для роботи дільниці в дрібносерійному виробництві, яка складає 13066 шт.; дільниця



складається з 3 верстатів, кількість основних робітників, що їх обслуговують – 3 чол.

6. Проведені економічні розрахунки доцільності впровадження удосконаленого ТП та дільниці механічної обробки заготовки деталі «Корпус гідромуфти 12.00.001», капітальні вкладення – 672660,16 грн., прибуток – 227205,93 грн., термін окупності вкладень – 2,96 року.

7. Розроблено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях на дільниці механообробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм [и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
2. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в машинобудуванні : навчальний посібник / В. В. Кавецький, В. О. Козловський. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 100 с.
3. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения : учебное пособие / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – М. : ООО ИД «Альянс», 2007. – 256 с.
4. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.
5. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : практикум / Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, В. В. Савуляк, О. В. Сердюк. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 148 с.
6. Руденко П. А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении / П. А. Руденко, Ю. А. Харламов, В. М. Плескач. – К. : Вища школа, 1991. – 247 с.
7. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки: навчальний посібник / Ж. П. Дусанюк, О. П. Шиліна, С. В. Репінський, С. В. Дусанюк. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 199 с.
8. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку : ГОСТ 26645-85. – [Чинний від 1987-07-01] М. : Изд-во стандартов, 1987. – 53 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / В. Б. Борисов, Е. И. Борисов, В. Н. Васильев [и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.

10. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / Ю. А. Абрамов, В. Н. Андреев, Б. И. Горбунов [и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

11. О. В. Дерібо Основи технології машинобудування. Частина 2. Практикум : навчальний посібник / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 116 с.

12. Барановський Ю. В. Режимы резания металлов: Справочник. Ю. В. Барановський, Л. А. Брахман, Ц. З. Бродский [и др.] ; / под ред. Ю. В. Барановського. – М. : Машиностроение, 1972. – 407 с.

13. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с программным управлением. Часть I. Нормативы времени. – М. : Экономика, 1990. – 206 с.

14. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с программным управлением. Часть II. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 473 с.

15. Sauer-Danfoss : Series TM Transit Mixer Drive System, Catalogue 520L0482, Rev. DC (December 2010).

16. Каталоги Liebherr [Електронний ресурс] / Liebherr // – Режим доступу : [http://www.liebherr.com/MT/ru-RU/region-UK/default\\_mt.wfw/measure-metric](http://www.liebherr.com/MT/ru-RU/region-UK/default_mt.wfw/measure-metric).

17. Автобетоносмесители. Руководство по эксплуатации 3101. РЭ / ЗАО «КОМЗ-Єкспорт», TIGARBO, 2006. – 48 с.

18. Белецкий Б. Ф. Строительные машины и оборудование : справочное пособие [для инженерно-технических работников строительных организаций, студентов строительных вузов, факультетов и техникумов] / Б. Ф. Белецкий, И. Г. Булгакова. [Изд. второе, переработ. и дополн.]. – Ростов н/Д : Феникс, 2005. – 608 с.

19. Добронравов С. С. Строительные машины и основы автоматизации : учеб. для строит. вузов. / С. С. Добронравов, В. Г. Дронов – М. : Высш. шк., 2001. – 575 с.

20. Буренніков Ю. А. Огляд електрогідравлічних систем керування насосами змінної продуктивності / Ю. А. Буренніков, Л. Г. Козлов, С. В. Репінський // Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». – 2016. – № 2(235). – С. 202–206.

21. Репінський С. В. Керування регульованих насосів в гідроприводах, чутливих до навантаження : монографія / С. В. Репінський, Л. Г. Козлов, Ю. А. Буренніков. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 199 с. – ISBN 978-966-641-673-8.

22. Буренніков Ю. А. Аналіз переваг та недоліків існуючих регуляторів подачі та потужності в системі керування аксіально-поршневого регульованого насоса / Ю. А. Буренніков, Л. Г. Козлов, С. В. Репінський, О. В. Поліщук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 5. – С. 107–113.

23. Репінський С. В. Математична модель пропорційної електрогідравлічної системи керування регульованим насосом / С. В. Репінський, Д. О. Лозінський, М. П. Кучеренко, О. О. Ланова // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 2. – С. 105–109.

24. Ревега С. С. Привод обертання барабана автобетонозмішувача на базі регульованого насоса з електрогідравлічною системою керування робочого об'єму [Електронний ресурс] / С. С. Ревега, С. В. Репінський // Матеріали XLV Науково-технічної конференції ВНТУ, Вінниця, 23-24 березня 2016 р. – Електрон. текст. дані. – 2016. – Режим доступу : <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2016/paper/view/1327>.

25. Розробка математичної моделі системи керування гідроприводом змішувального барабана автобетонозмішувача [Електронний ресурс] / С. В. Репінський, О. В. Паславська, В. Ю. Губницький, Д. С. Зарудняк // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)», м. Вінниця, 01-14 травня

2021 р. – 2021. – Режим доступу :  
<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/paper/view/11001>.

26. Репінський С. В. Визначення моменту опору планшайби аксіально-поршневого насоса засобами математичного планування експерименту / С. В. Репінський // Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». – 2009. – № 5. – С. 46–51.

27. Мельников Г. Н. Проектирование механосборочных цехов. Учебник для студентов машиностроит. специальностей вузов / Г. Н. Мельников, В. П. Вороненко ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Машиностроение, 1990. – 352 с.

28. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» в дипломних проектах і роботах студентів технічних спеціальностей / Уклад. І. В. Віштак. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 45 с.

29. Безопасность труда в промышленности / К. Н. Ткачук, П. Я. Галушко, Р. В. Саборно [и др.] – К. : Техника, 1982. – 228 с.

## ДОДАТКИ

Додаток А

ВНТУ

ЗАТВЕРДЖЕНО

завідувач кафедри ТАМ  
назва кафедри (скорочено)

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Л. Г. Козлов  
підпис науковий ступінь, наукове звання, ПІБ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ  
на магістерську кваліфікаційну роботу

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ  
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ  
«КОРПУС ГІДРОМУФТИ 12.00.001»

08-26.МКР.007.00.000 ТЗ

Керівник роботи: к.т.н., доц. каф. ТАМ

Репінський С. В. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ р.

Виконавець: ст. гр. 1ПМ-19м  
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

Губницький В. Ю. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ р.

Вінниця ВНТУ 2020

## **1 Підстави для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)**

а) актуальність розробки обумовлена тим, що в сучасних умовах розвитку машинобудівної галузі необхідно приймати прогресивні інженерні рішення при проектуванні технологічних процесів механічної обробки деталей виробів з метою забезпечення їх точності, надійності, довговічності, економічності;

б) наказ про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

## **2 Мета і призначення МКР**

а) мета – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідromуфти 12.00.001» на основі використання більш сучасного металорізального обладнання, оснащення, інструменту, що забезпечує зменшення кількості операції, їх концентрацію, а отже меншу кількість верстатів, робітників, площ, що призводить до зниження собівартості обробки, продукції, підвищення продуктивності праці, якості оброблюваних деталей;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

**3 Джерела розробки:** завдання на МКР, дане технічне завдання, довідникова та технічна література, існуючий аналог.

## **4 Вхідні дані для виконання МКР**

При виконанні МКР в якості вхідних даних було задано:

- деталь типу «Корпус гідromуфти 12.00.001»;
- річна програма випуску розрахункового представника – 2000 шт.;
- приведена програма – 13066 шт.;
- матеріал деталі – СЧ18 ГОСТ 1412-85;
- серійність виробництва – дрібносерійне;
- необхідність розгляду альтернативних варіантів виготовлення заготовки деталі та вибору найбільш оптимальної;
- необхідність проектування альтернативних варіантів технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Корпус гідromуфти 12.00.001» на базі автоматизованого обладнання з вибором оптимального варіанту.

## **5 Вимоги до виконання МКР**

МКР повинна бути виконана в задані терміни згідно завдання, затвердженого кафедрою ТАМ та замовником (якщо тема виконана за завданням підприємства).

При виконанні МКР забезпечити прийняття прогресивних інженерних рішень, що забезпечать досягнення поставленої мети.

Магістерська кваліфікаційна робота повинна складатися з 2-х частин:

1-а частина – розрахунково-пояснювальна записка;

2-а частина – графічна.



Склад кожного розділу (частини) наведений у рекомендованому змісті та основних вимогах до оформлення МКР, розроблених та затверджених кафедрою технологій та автоматизації машинобудування (ТАМ) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ).

### **6 Етапи та стадії розробки**

Магістерська кваліфікаційна робота складається з 4 основних частин:

- спеціальна;
- економічна частина;
- охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях;
- графічна.

На кожну частину, завдання видає викладач відповідної кафедри, контролює процес роботи та візує виконану роботу підписом у бланку завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Основні теоретичні та практичні дослідження проведені попередниками	01.09.20 р.	22.10.20 р.	Формування задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
2	Огляд технології виготовлення деталі типу «Корпус»	01.09.20 р.	22.10.20 р.	Об'єкт дослідження, розділ 1
3	Спеціальна частина Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001». Математичне моделювання системи керування гідроприводом змішувального барабана автобетонозмішувача. Розрахунок елементів ділянки механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001»	05.10.20 р.	25.11.20 р.	розділ 2, 3, 4 публікація результатів
4	Підготовка економічної частини	05.10.20 р.	25.11.20 р.	розділ 5, апробація
5	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях	05.10.20 р.	25.11.20 р.	розділ 6
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації	05.10.20 р.	04.12.20 р.	пояснювальна записка

Загальне керівництво магістерською кваліфікаційною роботою здійснює викладач випускної кафедри, він же керує виконанням спеціальної частини.

**7 Економічні показники:** термін окупності; мінімальна ціна; річна потреба в продукції; економічна перевага в порівнянні з іншими.

### **8 Матеріали, що подаються до захисту МКР**

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, рецензія.

### **9 Порядок контролю виконання та захисту МКР**

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, яка затверджена наказом ректора.

### **10 Вимоги до оформлення МКР**

Вимоги викладені в «Положенні про порядок підготовки магістрів у Вінницькому національному технічному університеті» з урахуванням змін, що подані у бюлетені ВАК України № 9-10, 2011 р.

### **11 Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом**

Відсутні.

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту

ЗАТВЕРЖДУЮ  
керівник МКР: к.т.н., доцент каф. ТАМ

\_\_\_\_\_ Репінський С. В.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ р.

**Технічне завдання**

на удосконалення технології та дільниці механічної обробки

**Найменування та область застосування**

Удосконалений технологічний процес та дільниця механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідromуфти 12.00.001» призначена для механічної обробки поверхонь деталі згідно з кресленням, а також забезпечувати вимоги до точності деталі, що вказані в розділі «Технічні вимоги».

Дільниця механічної обробки повинна відповідати умовам безпечної роботи, передбаченими ГОСТ 12.2.029-77. Обладнання дільниці передбачається експлуатувати в приміщенні механоскладального цеху.

**Підстава для проектування**

Проектування дільниці механічної обробки деталі і удосконалення існуючого ТП механічної обробки на підставі технічного завдання до МКР, складеного керівником і затвердженого кафедрою ТАМ.

**Мета і призначення розробки**

Метою МКР є удосконалення існуючого базового ТП механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідromуфти 12.00.001» і проектування дільниці механічної обробки на базі сучасних технологій, обладнання і на основі наукової організації праці.

**Джерела розробки**

- Дійсне технічне завдання.
- Креслення деталі і заготовки.
- Базова маршрутна технологія механічної обробки деталі «Корпус гідromуфти 12.00.001».
- Єдина система конструкторської та технічної документації.
- Загальні правила по розробці технологічних процесів вибір засобів технологічної оснастки згідно ГОСТ 14.301-83.

**Технічні показники**

Вхідні дані для проектування дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус гідромуфти 12.00.001»:

- річний об'єм випуску деталей –  $N_p = 2000$  шт.;
- маса деталі –  $m_d = 8,5$  кг;
- матеріал заготовки – СЧ18 ГОСТ 1412-85.

Технічні вимоги на деталь вказані в робочому кресленні, що додається до дійсного технічного завдання.

Виробнича дільниця служить для розміщення на ній верстатів, транспортних ліній, завантажувальних пристроїв, пристосувань та іншого допоміжного обладнання.

Верстати в лінії повинні бути розташовані у відповідності з технологічним процесом механічної обробки.

Дільниця повинна бути спроектована відповідно до вимог безпеки праці і пожежної безпеки.

Вимоги до забезпеченості використання дільниці механічної обробки, спроектованої на основі розробленого технологічного процесу

Спроектована дільниця механічної обробки повинна передбачати безпечність праці. Верстати, та пристосування на дільниці мають бути розташовані таким чином, щоб вони не заважали роботі працівників, тобто рухомі елементи верстатів (затискні ручки, захисні щити, які відокремлюють працівника від небезпечних зон верстатів) не повинні перекривати зону руху працівників. Проходи між верстатами повинні бути спроектовані з врахуванням того, що там можуть бути тимчасові склади для заготовок та напівфабрикатів, та візків, які транспортують заготовки в процесі обробки деталей, але це не повинно заважати рухатись робітнику.

Умови експлуатації, вимоги до технічного обслуговування і ремонту

Дільниця механічної обробки має цехову ремонтну базу і технічне обслуговування та ремонт здійснювати згідно правил ППР. Кінцеву підналадку і регулювання виконувати після обробки пробних заготовок.

Економічні показники.

До економічних показників входять:

- термін окупності;
- собівартість одиниці продукції;
- величина капітальних вкладень;
- економічна перевага в порівнянні з іншими.

Стадії та етапи розробки.

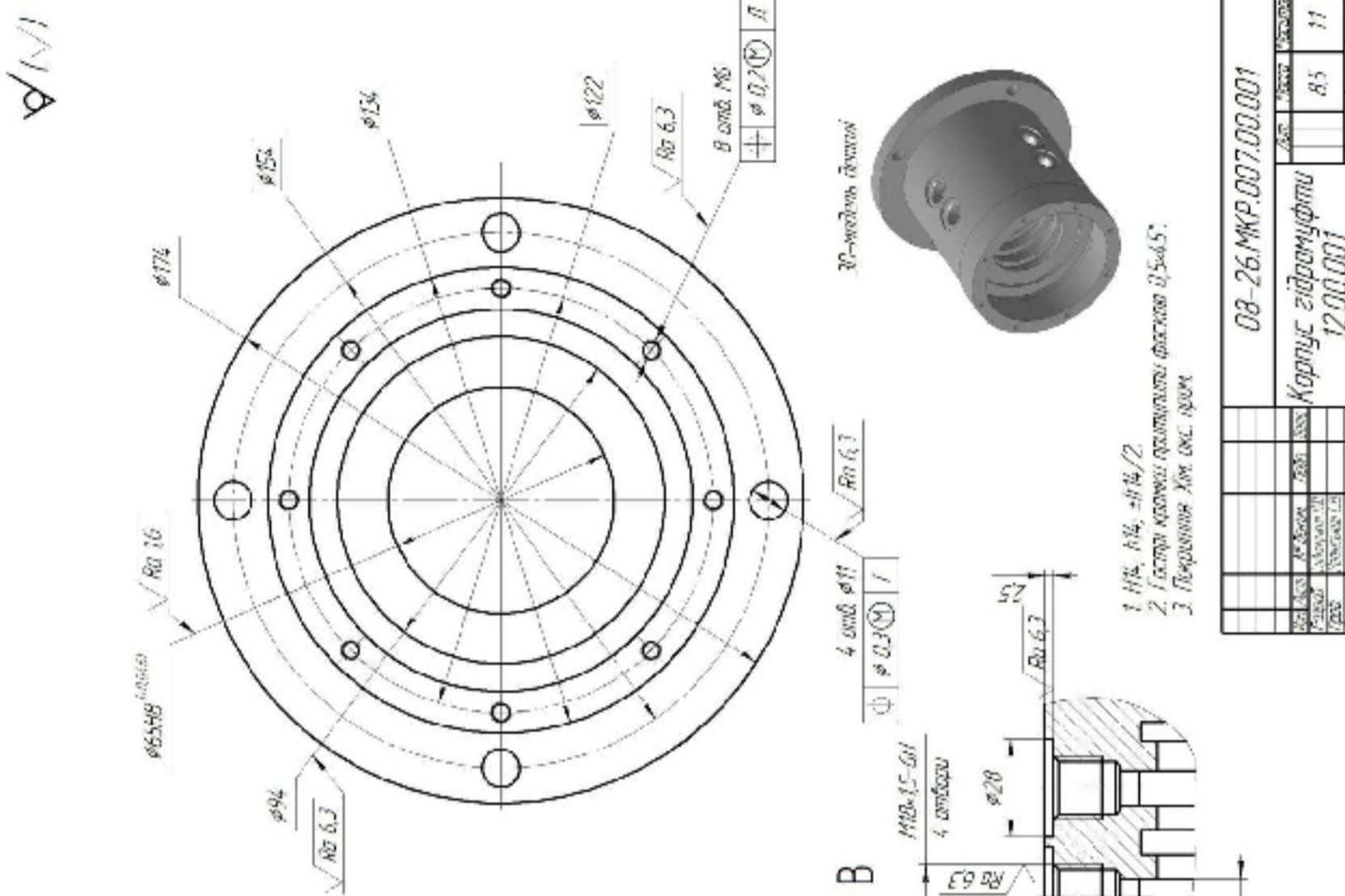
Зміст розділів МКР і терміни їх виконання згідно дійсного ТЗ і положення кафедри по оцінці рівня і ритмічності виконання роботи.

## Додаток Б

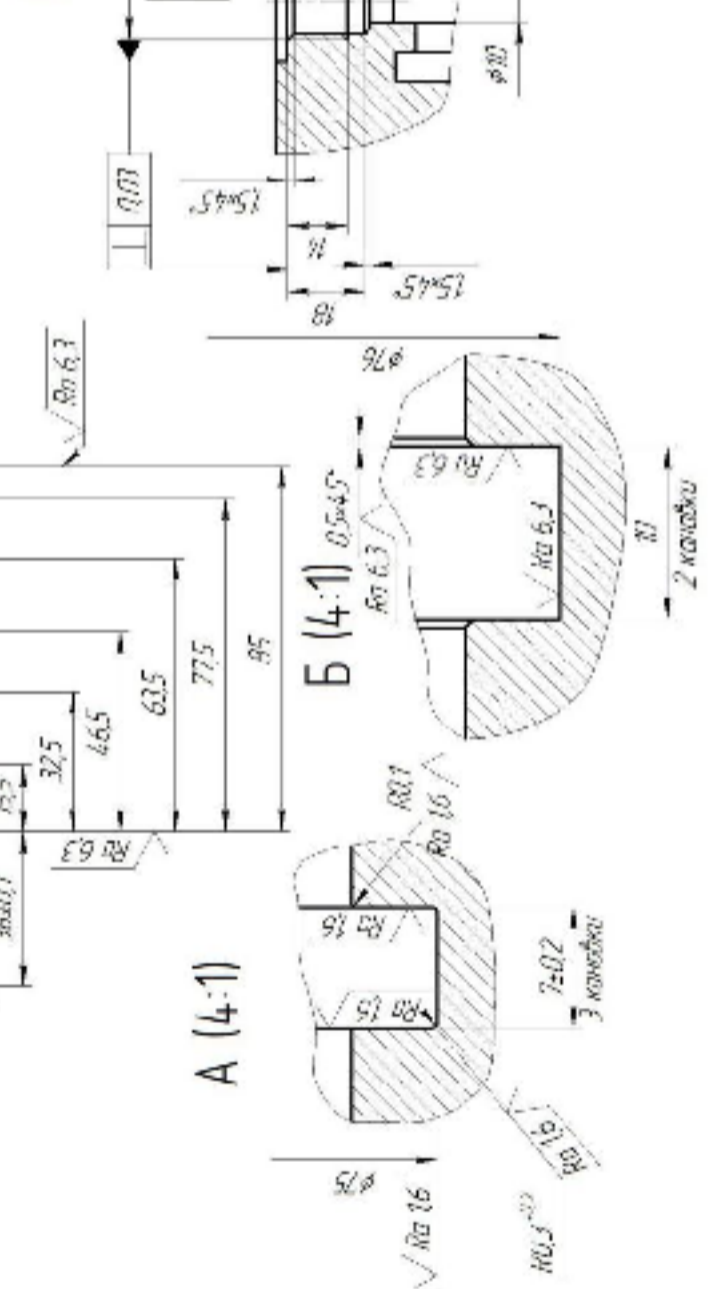
Графічна частина



08-26.MKP.007.00.001



1. Η/Α, Η/Β, ±H/2
2. Γαλαξία κρούσης φέρουσας φάσκα 0.5x0.5.
3. Περιγράψτε την εγκ. ιδιότητα.



08-26.MKP.007.00.001		
Καρπυς υδραυλικού		
12.00.001		
ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΜΟΝΑΔΑ
8.5	11	Τ
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ	ΣΕΛΙΔΑ 1/1	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΣΕΛΙΔΕΣ 1/1
ΕΛΛΗΝΙΚΗ	ΕΛΛΗΝΙΚΗ	ΕΛΛΗΝΙΚΗ
ΕΛΛΗΝΙΚΗ	ΕΛΛΗΝΙΚΗ	ΕΛΛΗΝΙΚΗ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ  
C418 ΓΟΤ 14.12-85  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΣ ΣΥΜΠΡΟΣΦΥΡΩΣΕΩΝ



## Маршрут механічної обробки

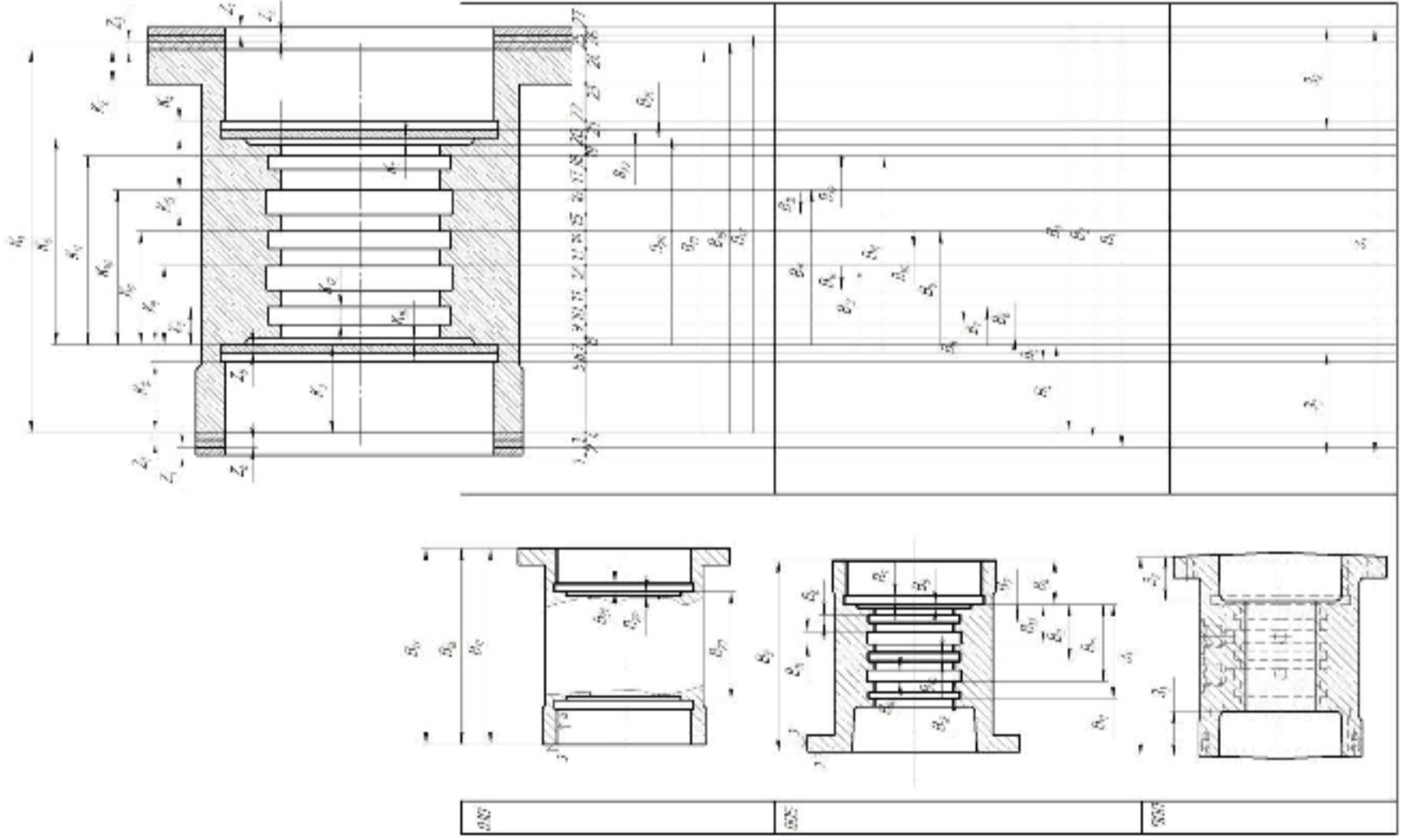
№ шери.	Найменування операції, зміст перекоду	Схема устаткування деталі та ескіз обробки	Обладнання
1	2	3	4
005	<p><b>Токарно-револьверна з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Виготовлення заготовки</li> <li>2. Точка пів 1 попередньо</li> <li>3. Точка пів 1 попередньо</li> <li>4. Точка пів 1 попередньо</li> <li>5. Розточування пів 2 попередньо</li> <li>6. Розточування пів 2 попередньо</li> <li>7. Розточування пів 2 попередньо</li> <li>8. Розточування пів 2 попередньо та пів 6 відкрито</li> <li>9. Розточування пів 1 попередньо</li> <li>10. Розточування пів 1 попередньо</li> <li>11. Розточування канавки 3 відкрито</li> <li>12. Розточування канавки 6 відкрито</li> <li>13. Розточування 3 канавки 7 попередньо 2 канавки 8 відкрито</li> <li>14. Розточування 3 канавки 7 попередньо</li> <li>15. Розточування 3 канавки 7 остаточно</li> <li>16. Діаметр заготовки</li> </ol>		Токарно-револьверний верстаток з ЧПК моделі 2153/002
010	<p><b>Токарно-револьверна з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Виготовлення заготовки</li> <li>2. Точка пів 1 попередньо</li> <li>3. Точка пів 1 попередньо</li> <li>4. Точка пів 1 попередньо</li> <li>5. Розточування пів 2 попередньо та пів 3 відкрито</li> <li>6. Розточування пів 2 попередньо</li> <li>7. Розточування пів 2 попередньо</li> <li>8. Розточування канавки 4 відкрито</li> <li>9. Розточування канавки 5 відкрито</li> <li>10. Діаметр заготовки</li> </ol>		Токарно-револьверний верстаток з ЧПК моделі 2153/002
015	<p><b>Вертикально-свердлильна</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Виготовлення заготовки</li> <li>2. Центрування 4 пів 1 відкрито</li> <li>3. Свердління 4 пів 1 відкрито</li> <li>4. Діаметр заготовки</li> </ol>		Вертикально-свердлильний верстаток моделі 2153
020	<p><b>Вертикально-свердлильна з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Виготовлення заготовки</li> <li>2. Центрування 8 пів 1 відкрито</li> <li>3. Свердління 8 пів 1 відкрито</li> <li>4. Нарізання різь 2 в пів 1 відкрито</li> <li>5. Діаметр заготовки</li> </ol>		Вертикально-свердлильний верстаток з ЧПК моделі 2153/002



# Маршрут механічної обробки (продовження)

1	2	3	4
025	<p><b>Вертикально-свердлильна з ЧПК</b> Установ А</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити заготовку</li> <li>2. Центрувати 2 отв. 1 однократно</li> <li>3. Свердлити 2 отв. 1 однократно</li> <li>4. Різати вердильні 2 отв. 2 однократно</li> <li>5. Цекувати пов. 3 однократно</li> <li>6. Земкувати фаску 4.</li> <li>7. Нарізати різь 5 б 2 отв. 2 однократно</li> </ol>	<p style="text-align: right;">A</p>	<p style="text-align: right;">Вертикально-свердлильна верстат з ЧПК моделі 2P135Ф2</p>
	<p><b>Установ Б</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>8. Центрувати 2 отв. 6 однократно</li> <li>9. Свердлити 2 отв. 6 однократно</li> <li>10. Різати вердильні 2 отв. 7 однократно</li> <li>11. Цекувати пов. 8 однократно</li> <li>12. Земкувати фаску 9</li> <li>13. Нарізати різь 10 б 2 отв. 6 однократно</li> <li>14. Зняти деталі</li> </ol>	<p style="text-align: right;">B</p>	

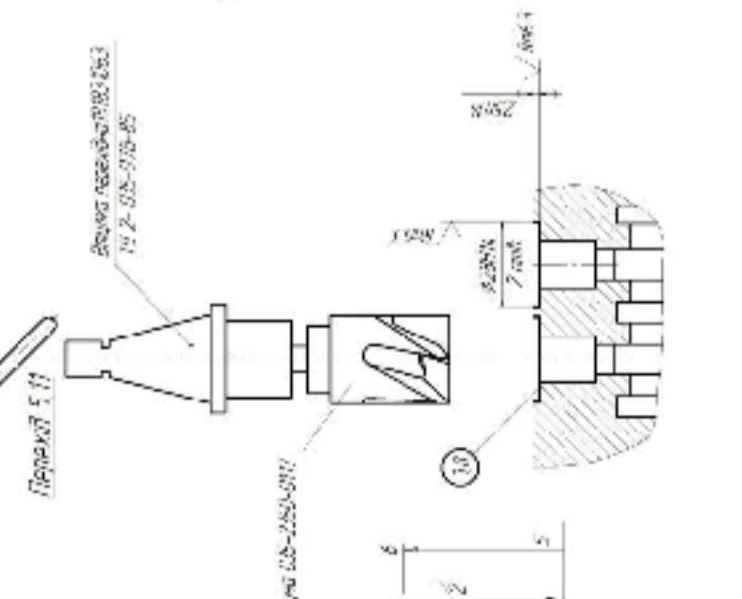
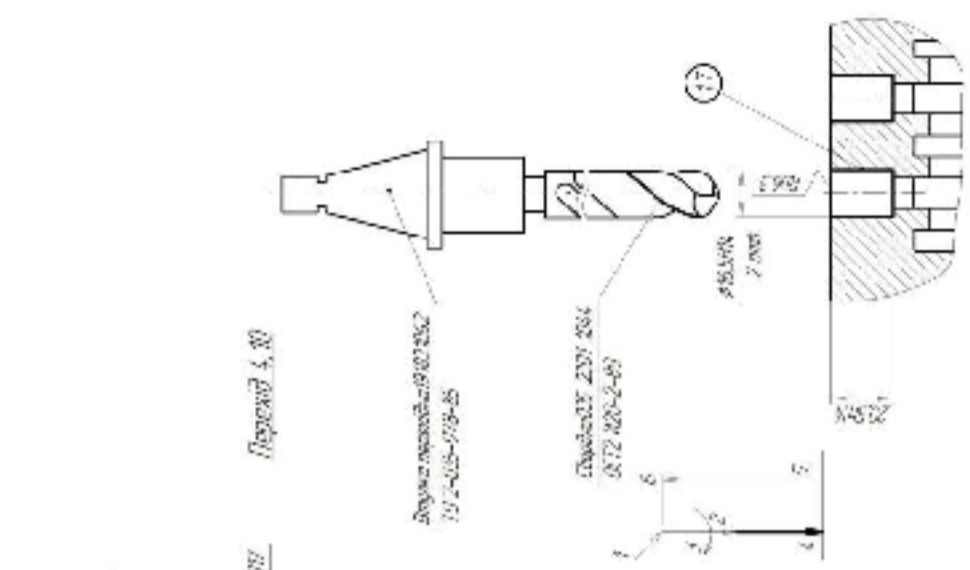
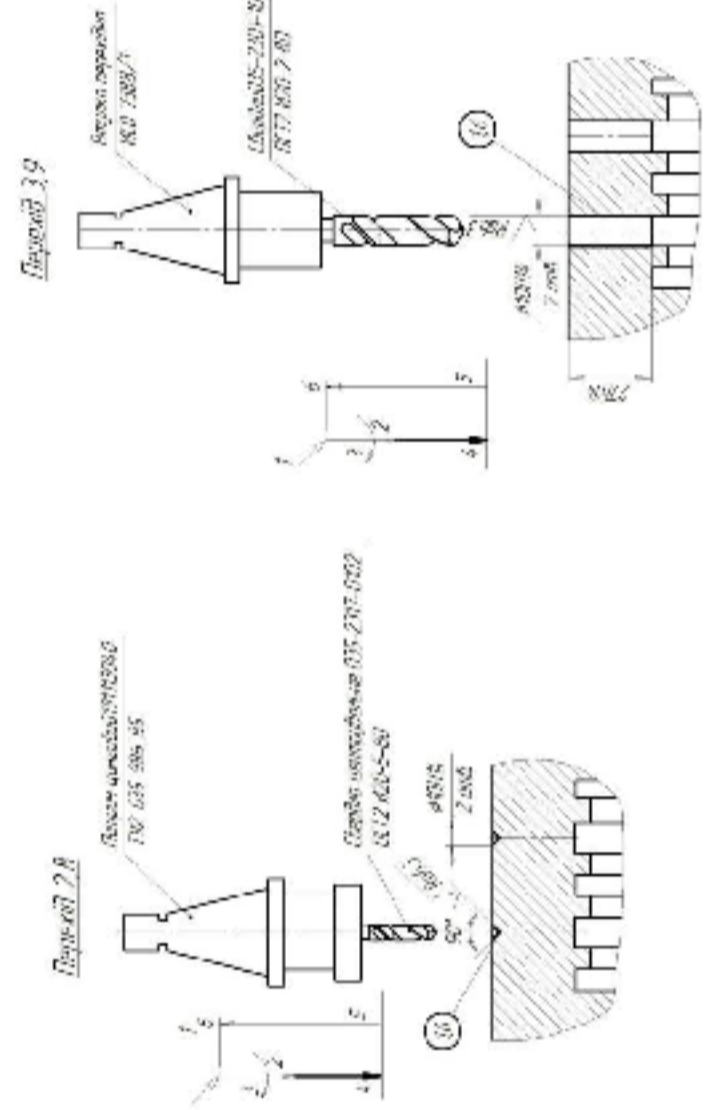
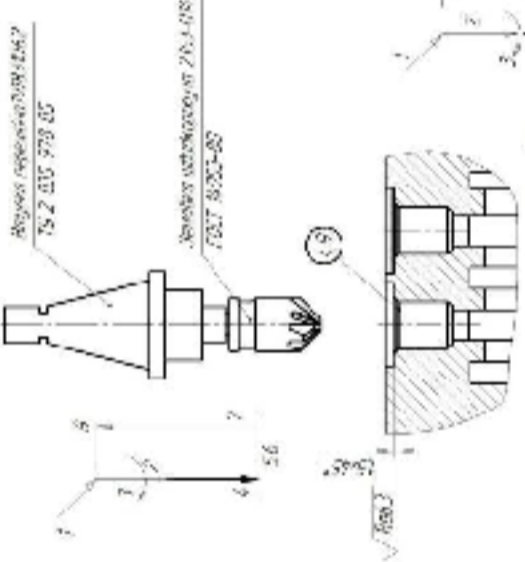
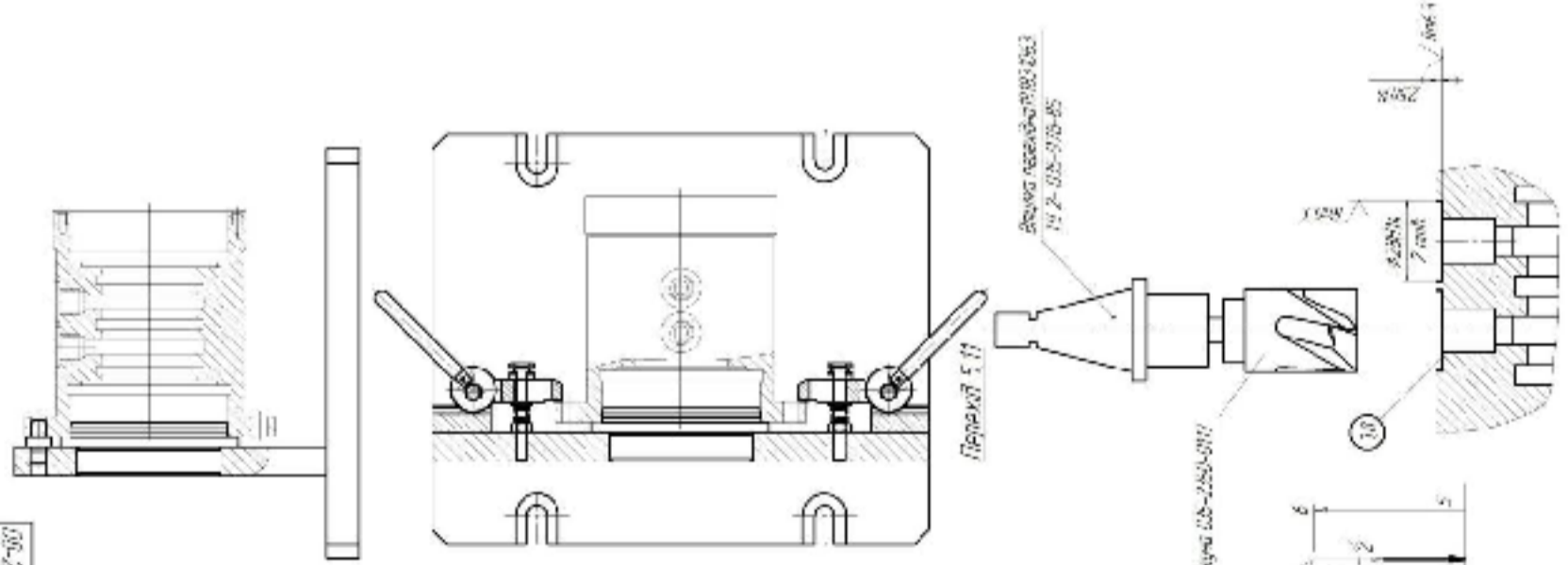
# Размірний аналіз технологічного процесу



№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Відсоток впливу на розмірну точність	25	15	16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Відсоток впливу на розмірну точність	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Відсоток впливу на розмірну точність	25	15	16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Відсоток впливу на розмірну точність	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Відсоток впливу на розмірну точність	25	15	16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Відсоток впливу на розмірну точність	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Відсоток впливу на розмірну точність	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Відсоток впливу на розмірну точність	25	15	16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Відсоток впливу на розмірну точність	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Відсоток впливу на розмірну точність	25	15	16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Відсоток впливу на розмірну точність	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Відсоток впливу на розмірну точність	25	15	16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Відсоток впливу на розмірну точність	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5





12	Материал: сталь 45 7 мет 7 абразивная	8,14	25	700	15
13	Материал: сталь 9	8,17	15	700	0,7
14	Абразивная сталь 3 абразивная	17	1,20	1,0	0,3
15	Абразивная 2 мет 7 абразивная	19,2	2,2	2,5	2,2
16	Абразивная 2 мет 6 абразивная	22,2	1	1,0	0,8
17	Абразивная 2 мет 6 абразивная	40,0	7	1000	0,8
18	Материал: сталь 45 7 мет 7 абразивная	14,5	15	700	1,7
19	Материал: сталь 6	8,3	15	100	0,7
20	Материал: сталь 3 абразивная	17	1,20	1,0	0,3
21	Материал: сталь 2 мет 2 абразивная	16,0	1,0	1,0	1,0
22	Материал: сталь 1 абразивная	22,2	1	1,0	0,8
23	Абразивная 2 мет 1 абразивная	45,8	3	1000	0,8

Контрагент: ООО «СВ»  
Адрес: 112-02-02-85  
Исполнитель: ООО «СВ»  
Подпись: [Подпись]

№	Итого	10	10	10	10
---	-------	----	----	----	----

08-26-M.P.107.05.203

№	Итого	10	10	10	10
---	-------	----	----	----	----

08-26-M.P.107.05.203

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІДРОПРИВОДОМ ЗМІШУВАЛЬНОГО БАРАБАНА АВТОБЕГОНОЗМІШУВАЧА (АБЗ)

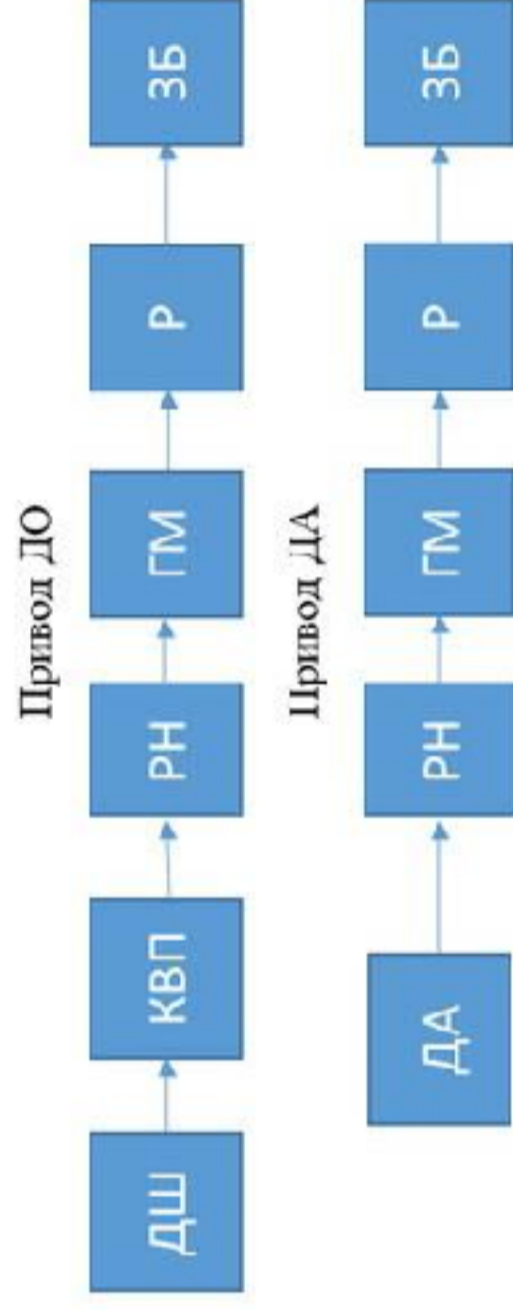


Рисунок 1 – Типові виконання гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана АБЗ:

ДШ – двигун шасі; КВП – коробка відбору потужності;  
PH – регульованій гідронасос; ГМ – гідромотор; P – редуктор;  
ЗБ – змішувальний барабан; ДА – двигун автопомпий

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що в АБЗ з гідромеханічним відбором потужності приводу змішувального барабана не використовуються сучасні можливості керування регульованого насоса за рахунок використання пропорційної електрогідравліки [20–23], що дозволить значно покращити техніко-економічні характеристики будівельних машин, зокрема АБЗ.

*Метою роботи* є розробка математичної моделі системи керування гідроприводом змішувального барабана автобетонозмішувача, яка описує основні закони мірності та зв'язки власний складовим частинам системи і дозволить представляти входи, виходи і внутрішні стани системи.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІДРОПРИВОДОМ ЗМІШУВАЛЬНОГО БАРАБАНА АВТОБЕТОНОЗМІШУВАЧА (продовження)

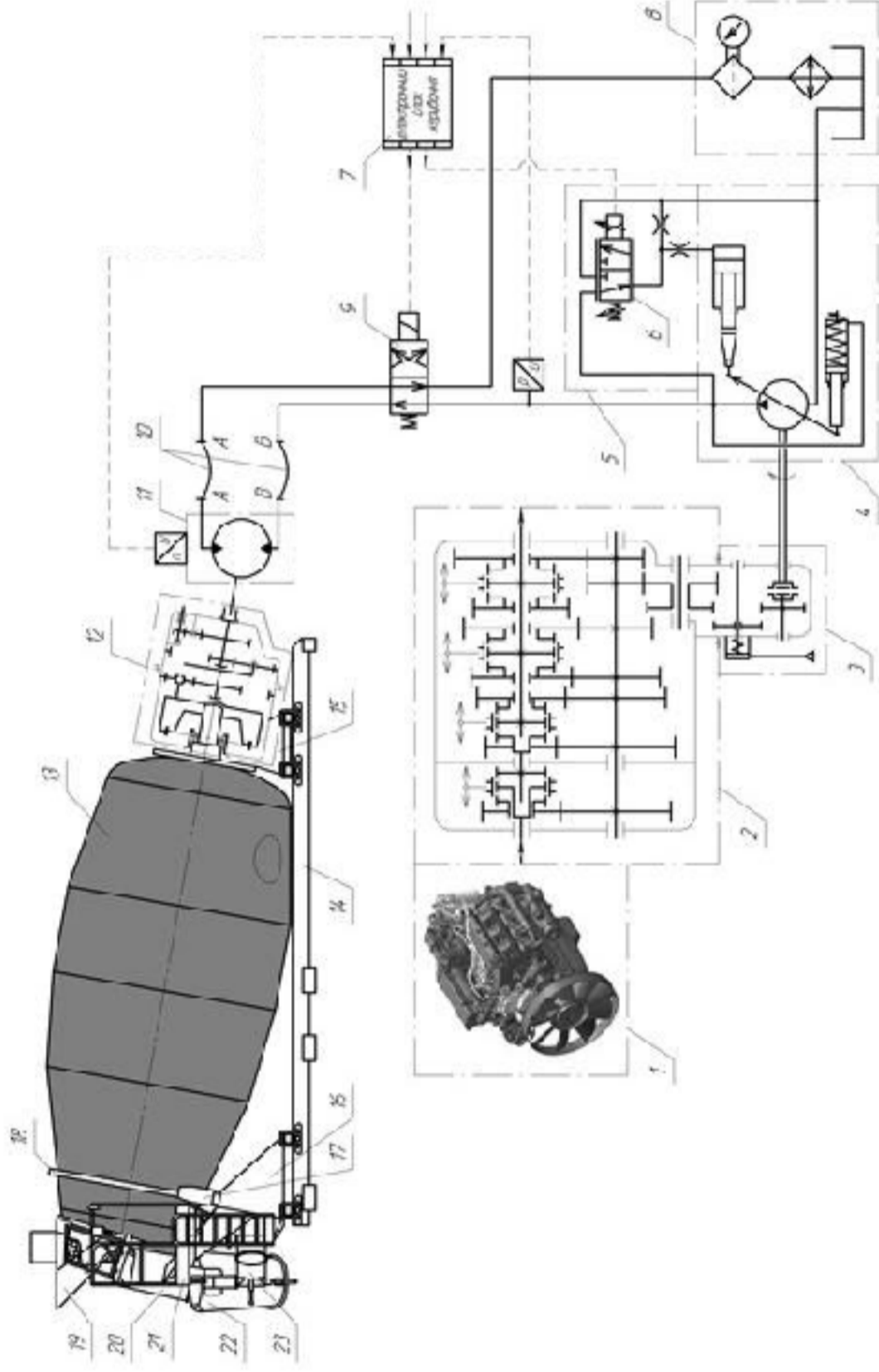


Рисунок 2 – Принципова схема гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана АБЗ:

- 1 – двигун автомобіля; 2 – коробка зміни передач автомобіля; 3 – коробка відбору потужності; 4 – регульований аксіально-поршневий насос; 5 – пропорційний об'ємний регулятор насоса; 6 – золотник регулятора; 7 – електронний блок керування (контролер); 8 – маслоохолоджувач з фільтром; 9 – гідророзподільник; 10 – гнучкі рукави високого тиску; 11 – гідромотор; 12 – планетарний редуктор приводу барабана; 13 – змішувальний барабан; 14 – лонжерон (лівий і правий); 15 – опора передня; 16 – опора задня; 17 – спорний ролик барабана; 18 – бандажне кільце барабана; 19 – завантажувальна лійка; 20 – розвантажувальна лійка; 21 – драбина з майлаником; 22 – розвантажувальний поворотний лоток з відкидним жолобом;

23 – опора лотка

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІДРОПРИВОДОМ ЗМІЩУВАЛЬНОГО

## БАРАБАНА АВТОБЕТОНОЗМІЩУВАЧА

(продовження)

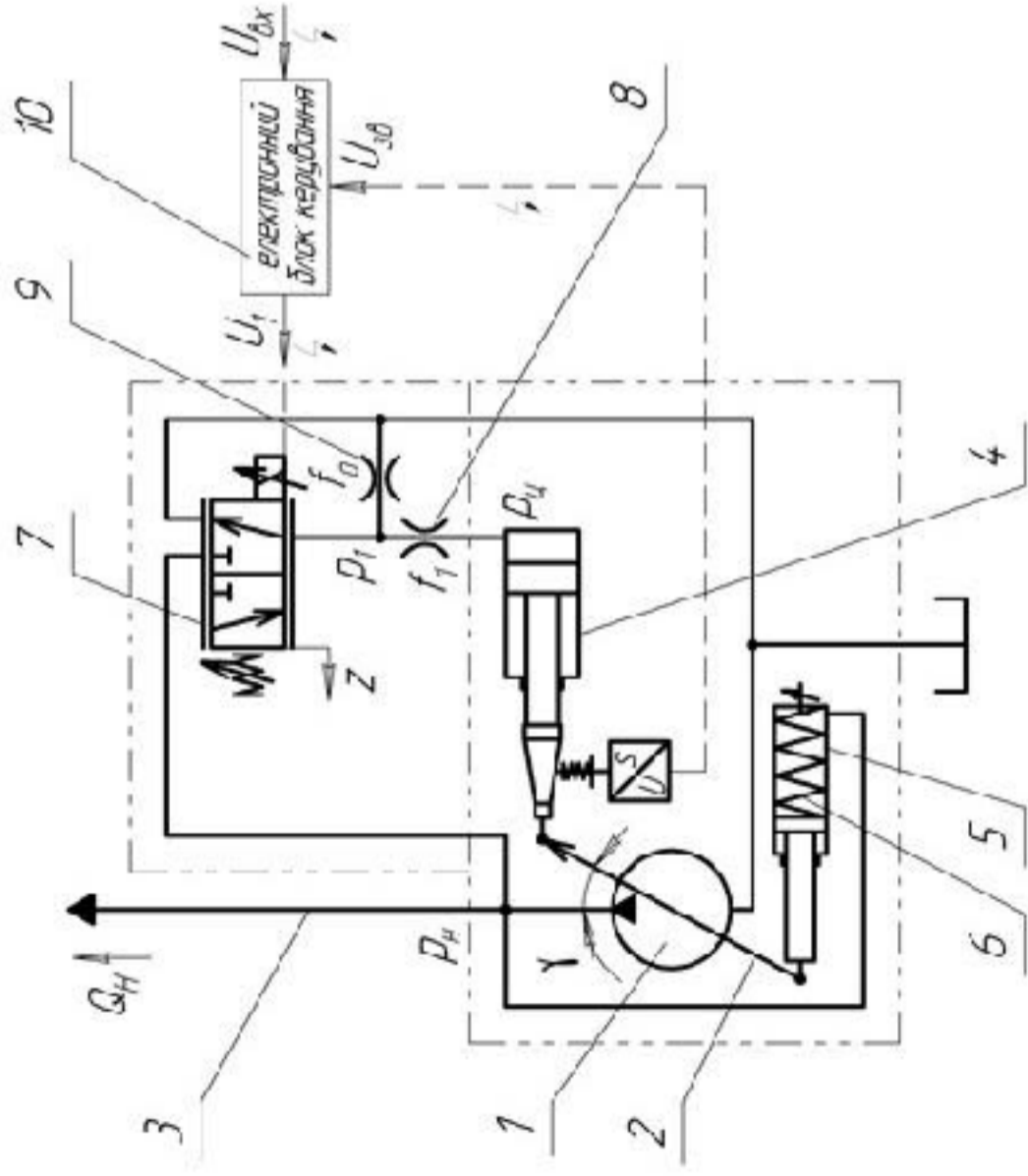


Рисунок 3 – Схема гідравлічного контуру регульованого насоса, який оснащений системою електрогідравлічного керування

Математична модель системи БГК регульованим АПН розроблена за таких припущень:

- параметри елементів системи керування зосереджені;
- об'єм гідравлічної системи керування за час перехідного процесу не змінюється;
- довжини гідравлічної системи керування відносно малі, тому хвильові процеси не враховуються;
- коефіцієнти витрати через дросельні і золотникові елементи постійні;
- режим течії робочої рідини в системі керування безкавітаційний;
- витрати тиску в гідравлічних системах керування не враховуються, оскільки вони незначні у порівнянні з витратами в місцевих опорах;
- гідродинамічні сили на золотнику регулятора подачі не враховуються, оскільки потоки через робочі вікна золотників незначні;
- коефіцієнт подаєливості робочої рідини та гідравлічної втрачується як величина, залежна від тиску.

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІДРОПРИВОДОМ ЗМІШУВАЛЬНОГО

## БАРАБАНА АВТОБЕТОНОЗМІШУВАЧА (продовження)

Згідно з розрахунковою схемою математична модель включає рівняння нерезривності потоків (1), (4); рівняння моментів, що діють на планшайбу регульованого АПН (2); рівняння сил, що діють на золотник пропорційного розподільника (3); рівняння сил, що діють на циліндр керування положення планшайби регульованого АПН (5). Рівняння струму в електричному колі електромагніта пропорційного розподільника (6) і рівняння напруги на виході блока керування (7):

$$\frac{\pi d_7^2}{4} \cdot d_8 \cdot k_1 \cdot n \cdot \operatorname{tg} \gamma = Q_H + \mu \cdot f(z) \cdot \sqrt{\frac{2|p_H - p_1|}{\rho}} \cdot \operatorname{sign}(p_H - p_1) + \beta(p) \cdot W_H \cdot \frac{dp_H}{dt}; \quad (1)$$

$$I \frac{d^2 \gamma}{dt^2} = p_H \cdot F_3 \cdot \ell - p_H \cdot F_4 \cdot \ell + M_c(p_H, Q_H, t^0) - b_\gamma \frac{d\gamma}{dt}; \quad (2)$$

$$m_F \frac{d^2 z}{dt^2} - P_s - c_p(z_p - z) - b_F \frac{dz}{dt} - T_F \cdot \operatorname{sign} \frac{dz}{dt}; \quad (3)$$

$$\mu \cdot f(z) \cdot \sqrt{\frac{2|p_H - p_1|}{\rho}} \cdot \operatorname{sign}(p_H - p_1) = \mu \cdot f_1 \cdot \sqrt{\frac{2|p_1 - p_H|}{\rho}} \cdot \operatorname{sign}(p_1 - p_H) + \mu \cdot f_0 \cdot \sqrt{\frac{2p_1}{\rho}} + \beta(p) \cdot W_1 \cdot \frac{dp_1}{dt}; \quad (4)$$

$$m_H \cdot \frac{d^2 s}{dt^2} - p_H \cdot F_+ \cdot F_+ - P_{\text{тр}} - b_H \cdot \frac{ds}{dt} - T_{\text{пн}} \cdot \operatorname{sign} \frac{ds}{dt}; \quad (5)$$

$$U_1 - L_m \cdot \frac{di}{dt} + R_m \cdot i + C_{\text{пр}} \cdot \frac{dU}{dt}; \quad (6)$$

$$\Delta U = U_{\text{вх}} - U_{\text{вв}}. \quad (7)$$

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІДРОПРИВОДОМ ЗМІШУВАЛЬНОГО  
 БАРАБАНА АВТОБЕТОНОЗМІШУВАЧА (продовження)

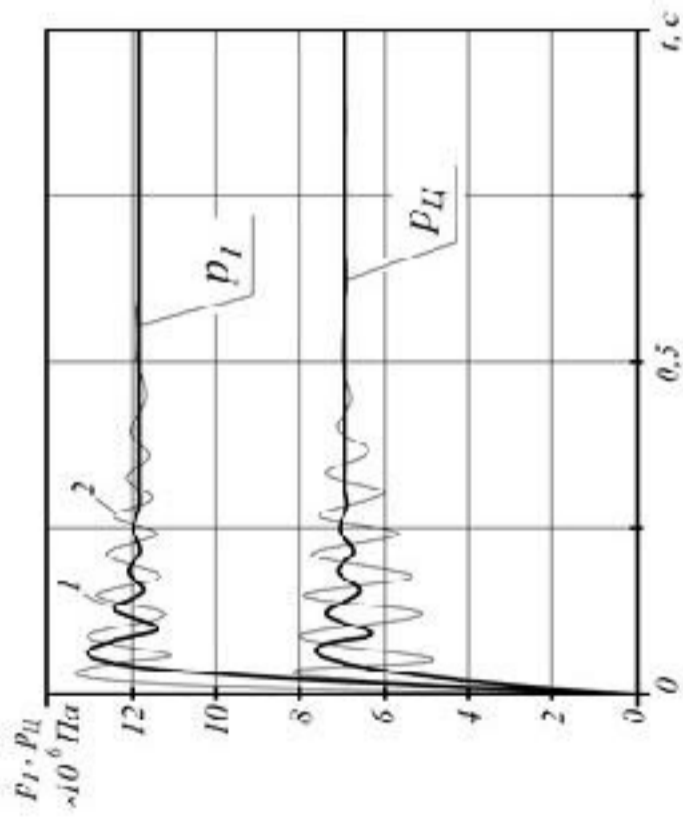


Рисунок 5 – Вплив  $f_0$  на перехідні процеси змінних стану системи  $P_1$  і  $P_ц$

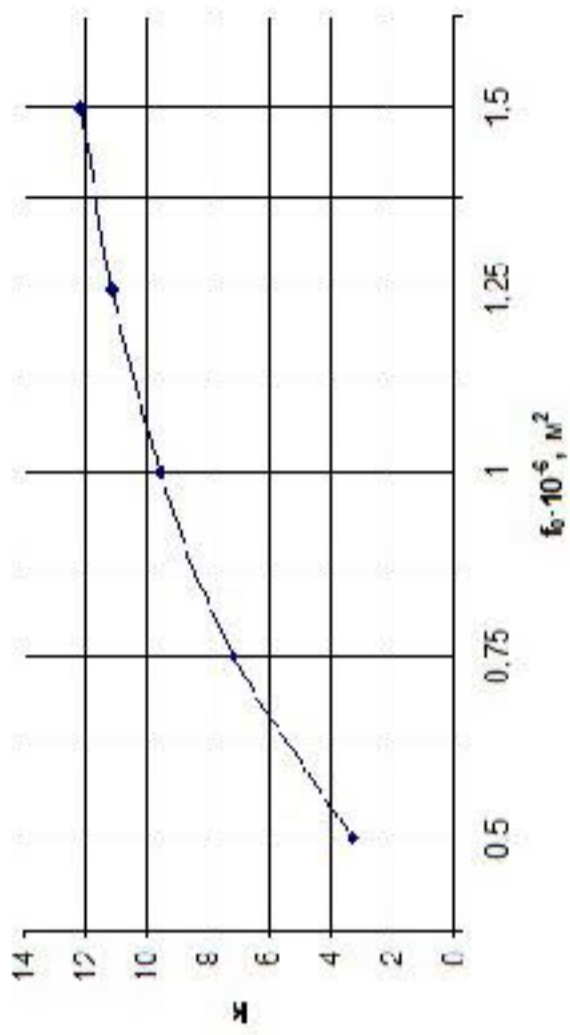


Рисунок 7 – Вплив  $f_0$  на коливальність  $K$

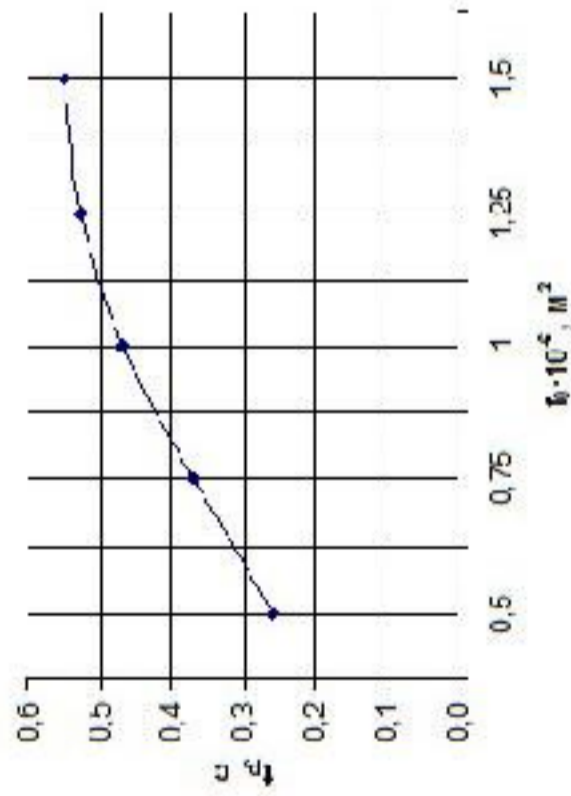


Рисунок 6 – Вплив  $f_0$  на час регулювання  $t_p$

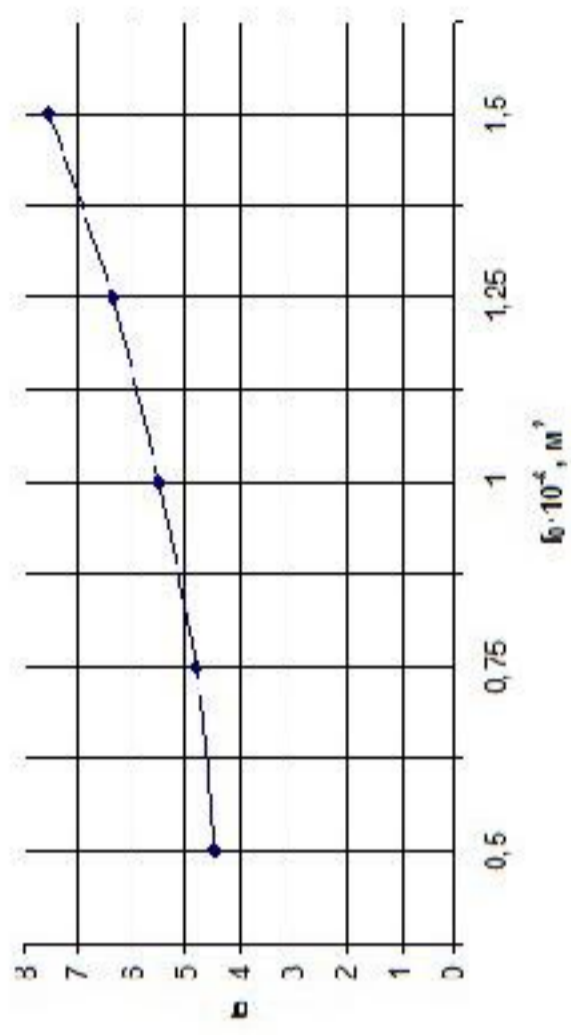


Рисунок 8 – Вплив  $f_0$  на перерегулювання  $\sigma$



# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІДРОПРИВОДОМ ЗМІШУВАЛЬНОГО

## БАРАБАНА АВТОБЕГОВОГО ЗМІШУВАЧА (продовження)

### Висновки

1. Розглянуто типові виконання гідромеханічного приводу обертання змішувального барабана АБЗ. Запропоновано використати в приводі обертання змішувального барабана АБЗ пропорційну електрогідравлічну систему керування регульованого насоса.

2. Використання пропорційної електрогідравлічної системи керування регульованого насоса в гідромеханічному приводі обертання змішувального барабана значно покращує техніко-економічні характеристики АБЗ.

Зокрема незалежно від швидкості пересування АБЗ (в умовах міста або шосе) змішувальний барабан завжди обертається із заданою частотою обертання, навіть при зміні крутного моменту чи зниженні ККД гідроприводу. Це підвищує якість перевезених сумішей.

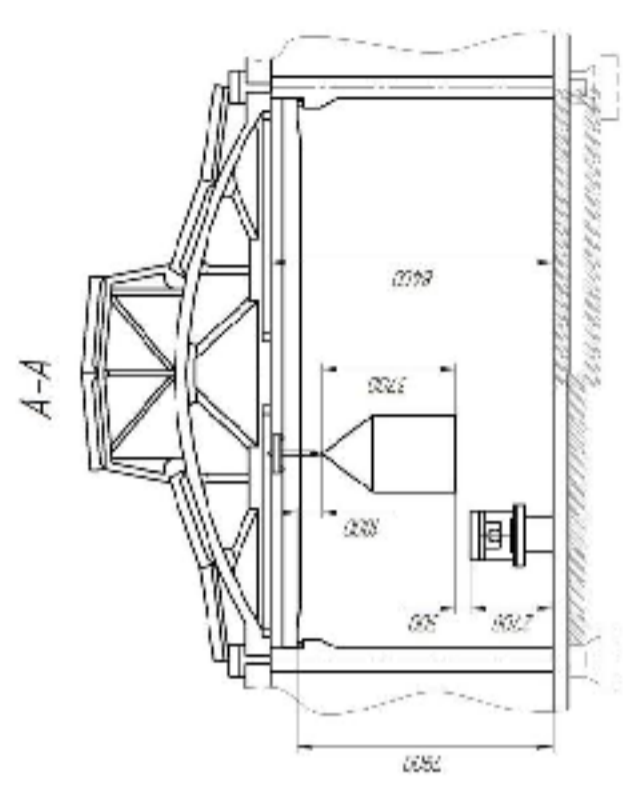
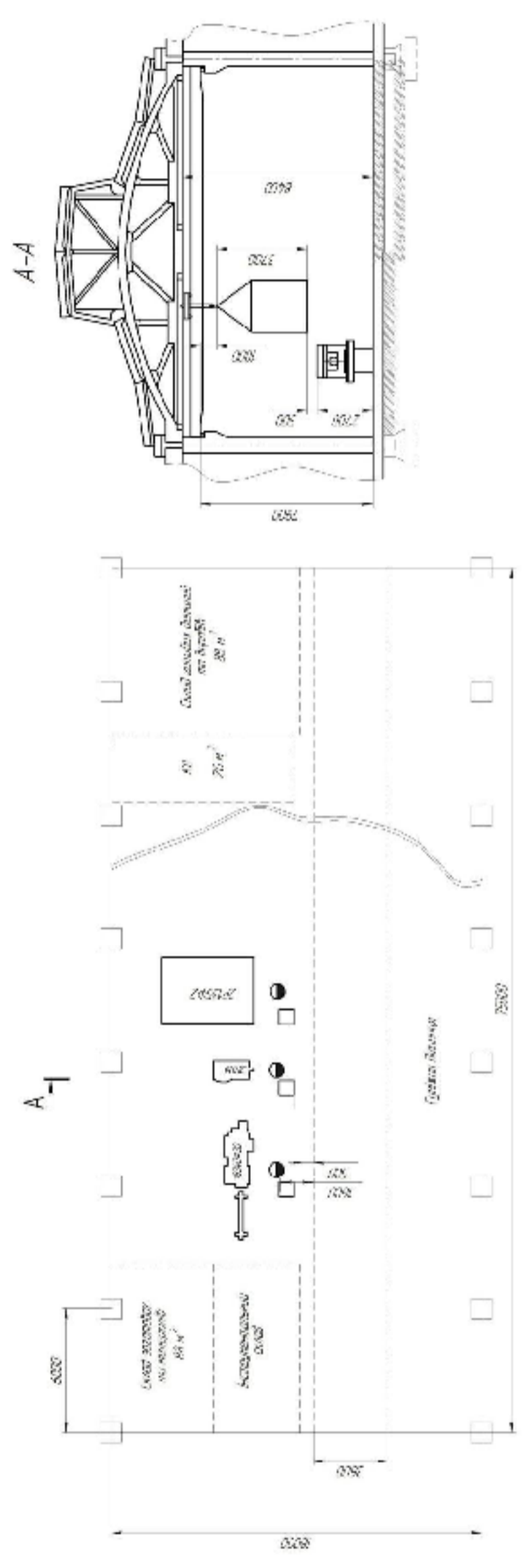
В режимі перевантаження, завдяки слідувальній електронній системі, регульований насос відбирає від основної трансмісії тільки необхідну потужність. Це зменшує навантаження на основний двигун і трансмісію шасі, тим самим збільшується їх ресурс і зменшується витрата палива.

3. Розроблено розрахункову схему системи пропорційного ЕГК регульованим АПН, яка забезпечує стабілізацію подачі насоса, характеризується високою точністю і роздільною здатністю регулювання продуктивності АПН та швидкою реакцією на керуючий вплив.

4. Складено цілісний математичну модель системи пропорційного ЕГК регульованим АПН, яка розв'язується за допомогою програмного пакета MATLAB Simulink.

5. Математична модель може бути використана для визначення статичних та динамічних характеристик і дослідження стійкості розробленої системи пропорційного ЕГК регульованим АПН.

03 05500203040001-00



A-I

График инфильтрации воздуха

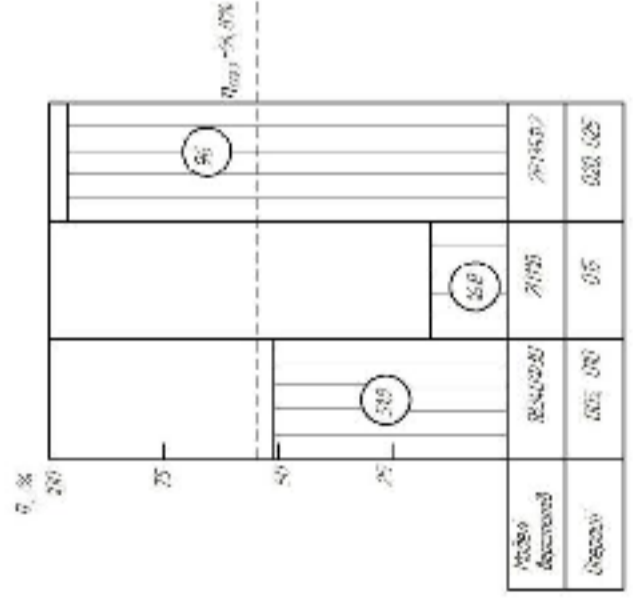
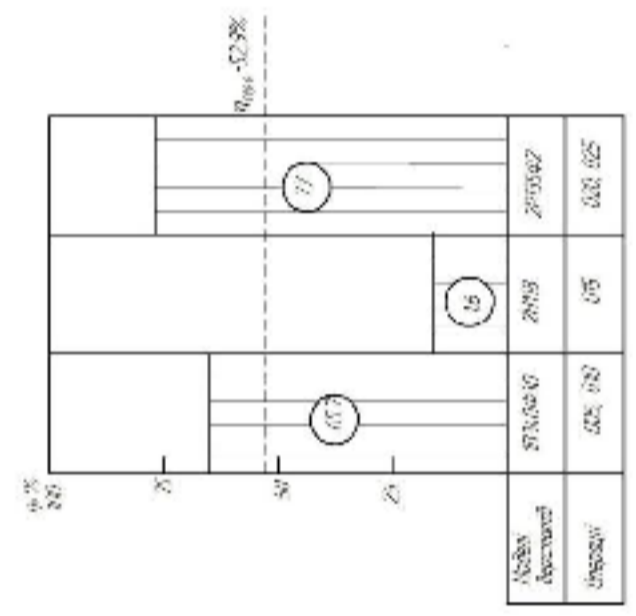


График инфильтрации воздуха по оборудованию



1. Наименование и количество
2. Наименование оборудования
3. Наименование оборудования
4. Наименование оборудования
5. Наименование оборудования
6. Наименование оборудования
7. Наименование оборудования

09-26.11.10.007.00.530.03	
ИИИИ ИИИИИИИИ	
ИИИИ	ИИИИ
ИИИИ	ИИИИ
ИИИИ	ИИИИ
ИИИИ	ИИИИ
ИИИИ	ИИИИ
ИИИИ	ИИИИ
ИИИИ	ИИИИ
ИИИИ	ИИИИ

## Техніко-економічні показники

<i>Техніко-економічні показники</i>	<i>Базовий маршрут</i>	<i>Удосконалений маршрут</i>
<i>Маса деталі, кг</i>	8,5	8,5
<i>Річна програма випуску, шт.</i>	2000	2000
<i>Приведена програма, шт.</i>	13066	13066
<i>Спосіб виготовлення заготовки</i>	<i>лиття в піщано-глинисті форми</i>	<i>лиття в оболонкові форми</i>
<i>Маса заготовки, кг</i>	11,677	11,255
<i>Коефіцієнт точності маси заготовки</i>	0,72	0,76
<i>Собівартість заготовки, грн.</i>	56,903	56,443
<i>Кількість верстатів, шт.</i>	6	3
<i>Середній коефіцієнт завантаження обладнання, <math>\eta_{зсер}</math></i>	42%	54,8%
<i>Середній коефіцієнт використання за основним часом, <math>\eta_{зосер}</math></i>	48%	52,9%
<i>Кількість основних робітників</i>	6	3
<i>Середній розряд робітників</i>	3	3
<i>Виробнича площа, м<sup>2</sup></i>	75	50
<i>Собівартість одиниці продукції, грн.</i>	169,99	118,05
<i>Капітальні вкладання, грн.</i>	-	672660,16
<i>Економічний ефект, грн.</i>	-	227205,93
<i>Термін окупності, років</i>	-	2,96