

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Виготовлення здвоєного гідравлічного насоса із дослідженням технологічних процесів обробки деталей «боковина» та «шестерня»

Виконав: здобувач VI курсу першого (бакалаврського) рівня, групи 602-ММв, спеціальності

133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Горошинський Є.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Коробко Б.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

Полтава – 2024 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»  
КАФЕДРА ГАЛУЗЕВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МЕХАТРОНІКИ


**Виготовлення зведеного гідравлічного насоса із  
дослідженням технологічних процесів обробки  
деталей «боковина» та «шестерня»**

Кваліфікаційна робота магістра


Лист затвердження

ГММ.602-ММв.005-00.00.000 КРМ - ЛУ

Розробив здобувач групи 602-ММв

  
Євген ГОРОШИНСЬКИЙ  
«23» 08 2024 р.

Керівник  
д.т.н., професор

  
Богдан КОРОБКО  
«23» 08 2024 р.


Технологічний контроль

к.т.н., доц.

  
Олексій ВАСИЛЬЄВ  
«28» 08 2024 р.

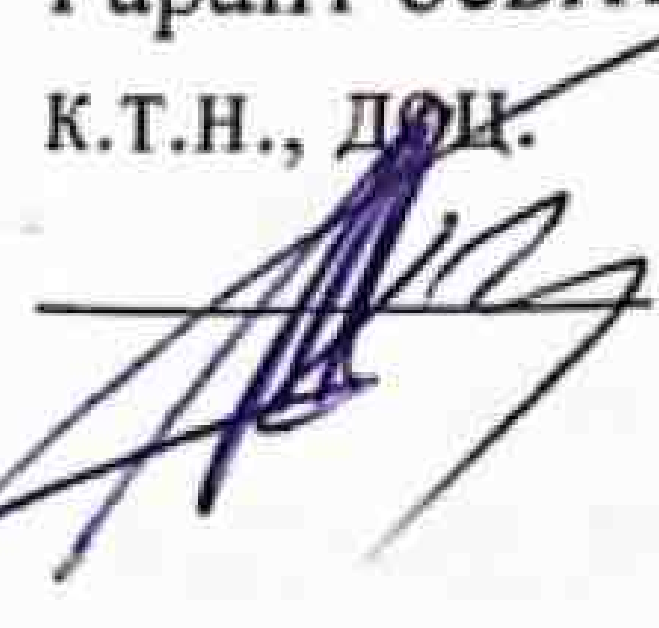
Нормативний контроль

к.т.н., доц.

  
Олексій ВАСИЛЬЄВ  
«28» 08 2024 р.

Гарант освітньо-професійної програми

к.т.н., доц.

  
Микола НЕСТЕРЕНКО  
«\_\_» \_\_\_\_ 2024 р.

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри

галузевого машинобудування та мехатроніки,

к.т.н., доц.

Олександр ОРИСЕНКО

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Навчально-науковий інститут інформаційних  
технологій та робототехніки

Кафедра, циклова комісія галузевого машинобудування та мехатроніки

Рівень вищої освіти Магістр

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри галузевого  
машинобудування та мехатроніки, к.т.н.,  
доцент

Олександр ОРИСЕНКО  
«20» 03 2024 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**  
**ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Горошинському Євгену Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Виготовлення зведеного гідравлічного  
насоса із дослідженням технологічних процесів обробки деталей «боковина» та  
«шестерня»

керівник роботи (проекту) Коробко Богдан Олегович, д.т.н., професор,

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

затвердені наказом вищого навчального закладу від «18» березня 2024 року  
№ 309 ф,а.

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи: «20» серпня 2024 року.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Відкриті джерела на подібну техніку.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити): Зміст. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Конструювання  
пристроїв механізації та автоматизації. Дослідницька частина. Висновки. Список  
літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «18» березня 2024 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**


№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи ( проекту )	Примітка
1	Загальна частина.	20.05.2024 р.	
2	Технологічна частина.	22.06.2024 р.	
3	Конструювання пристроїв механізації та автоматизації.	20.07.2024 р.	
4	Дослідницька частина.	01.08.2024 р.	
5	Оформлення роботи	15.08.2024 р.	
6	Здача готової роботи	20.08.2024 р.	

Здобувач вищої освіти

  
(підпис)


**Євген ГОРОШИНСЬКИЙ**  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

**Богдан КОРОБКО**  
(прізвище та ініціали)

Гарант освітньої програми

  
(підпис)

**Микола НЕСТЕРЕНКО**  
(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

**Виготовлення з двоєного гідравлічного насоса із дослідженням  
технологічних процесів обробки деталей «боковина» та «шестерня»**

**Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи магістра**

**ГММ.602-ММв.029-00.00.000ПЗ**

Полтава – 2024 року

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	7
1.1. Характеристика насоса, принцип роботи, службове призначення та умови експлуатації .....	7
1.2. Аналіз вимог до точності деталей вузла.....	10
1.3. Функції деталей, заданих для детального розроблення технологічних процесів .....	12
1.4. Аналіз параметрів точності деталей.....	12
1.5. Характеристика матеріалу деталей .....	15
1.6. Вибір режиму роботи цеху.....	17
1.7. Характеристика виробничої програми та визначення типу виробництва.....	19
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	22
2.1. Аналіз технологічності складеного вузла та деталей.....	22
2.1.1. Аналіз технологічності боковини.....	23
2.1.2. Аналіз технологічності шестерні.....	24
2.2. Виявлення і розв'язання розмірних ланцюгів.....	25
2.3. Розроблення схеми складання насоса .....	28
2.4. Аналіз методів одержання заготовок. Техніко-економічне обґрунтування вибраних методів і їх характеристика .....	30
2.5. Аналіз діючих технологічних процесів .....	33
2.5.1. Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення боковини .....	33
2.5.2. Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення шестерні.....	33
2.6. Вибір маршрутів обробки поверхонь.....	34
2.7. Вибір схеми базування .....	38
2.8. Вибір металорізального обладнання.....	41

<b>ГММ 602 ММв.29-00.00.000 ПЗ</b>				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Горошинський		23.08
Перевір.		Коробко		23.08
Керівник.				
Н. контр.		Васильв		28.08
Затверд.		Орисенко		28.08
<b>Розрахунково-пояснювальна записка</b>			Лім.	Арк.
				3
<b>ННІ ІТР, 2024 р.</b>				

2.9. Розроблення структури та змісту технологічних операцій обробки деталей.....	42
2.10. Інструментальне оснащення для оброблення деталей в умовах автоматизованого виробництва .....	47
2.11. Вибір верстатних пристосувань.....	50
2.12. Визначення припусків на обробку та операційних розмірів деталі.....	53
2.13. Визначення режимів різання.....	56
2.14. Технічне нормування операцій.....	58
2.15. Розроблення розрахунково-технологічних карт та керуючих програм .....	60
<b>3. КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....</b>	<b>62</b>
3.1. Описання та принцип роботи затискного пристосування .....	62
3.2. Розрахунок необхідної сили затискання.....	65
<b>4. ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА .....</b>	<b>68</b>
4.1. Методи визначення стійкісних залежностей.....	68
4.2. Етапи побудови математичної моделі методом повно факторного експерименту .....	71
4.2.1. Планування експерименту.....	71
4.2.2. Дисперсія відтворення експерименту .....	73
4.2.3. Обробка результатів експериментів .....	74
4.2.4. Перевірка адекватності моделі.....	75
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>78</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>79</b>

					<b>ГММ 602 ММв.29-00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## ВСТУП

Під час механічного оброблення різноманітних деталей машин виникає велика кількість проблемних питань, котрі пов'язані з необхідністю виконання технічних вимог, які поставлені конструкторами перед виробництвом [1,2,3,4].

При цьому процес механічної обробки пов'язаний з експлуатацією складного технологічного обладнання – металорізальних верстатів, тому трудомісткість та собівартість механічної обробки більші, ніж на інших етапах виготовлення деталей машин [1].

З розвитком науково-технічного прогресу відбулася переоцінка наявних методів технологічного розроблення, котра була викликана наступними чинниками: «комплексною механізацією й автоматизацією виробничих процесів, переоснащенням машинобудівних підприємств сучасними металообробними верстатами, типізацією та стандартизацією технологічних процесів, повсюдним впровадженням у практику технологічного розроблення комп'ютерної техніки і обчислювальних систем» [6, 9].

Мета розроблення даної кваліфікаційної роботи – вдосконалення існуючого технологічного процесу виготовлення гідронасоса. При цьому нам необхідно вирішити задачі щодо вибору найбільш раціонального методу виготовлення деталей вузла з мінімальною собівартістю [8, 10, 11].

Поставлена мета може бути досягнута лише за допомогою таких напрямів сучасної технології й організації виробництва [10], «як:

- максимальне скорочення процесів обробки металів різання;
- застосування заготовок, що наближаються по формі, розмірам і якості поверхонь до готових деталей;
- застосування для механічної обробки високопродуктивного технологічного обладнання і технічного оснащення (агрегатних та

					ГММ 602 ММв.29-00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

багатопозиційних верстатів; верстатів із числовим програмним керуванням; металокерамічного й твердосплавного інструмента; швидкодіючих пристосувань);

– застосування методів механічної, термічної та інших зміцнюючих обробок, які дозволяють економити метал за рахунок переводу деталей на полегшені перерізи й збільшують термін служби виготовлюваних деталей».

Таким чином можна сказати, що сучасне технологічне розроблення – «це комплексна система взаємодії засобів і методів, що зумовлюють створення високоякісної технологічної документації на основі широкого використання стандартних технологічних вирішень. Але при розробленні технологічних процесів необхідно пам'ятати про те, що максимальна ефективність виробництва забезпечується правильним застосуванням цих принципів після економічних обґрунтувань» [11, 12, 13].

Тому при розробленні технологічних процесів у даній кваліфікаційній роботі була зроблена спроба використати сучасні методи обробки та високопродуктивне обладнання.

Усі рішення приймалися з урахуванням рекомендацій діючих нормативних документів.

					ГММ 602 ММв.29-00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

## 1.1. Характеристика насоса, принцип роботи, службове призначення та умови експлуатації

Насос здвоєний призначений для роботи на чистому мінеральному маслі в гідравлічних системах пресів для пластмас та інших машин, де потрібні малі величини подачі масла при високому тискові та великі величини подачі масла при малому тискові [5, 7].

Основні технічні дані та характеристики насоса наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні дані та характеристики насоса

Показник	Значення
1. Номінальний тиск, МПа поршневого насоса шестеренного насоса	32 2,5
2. Тиск на всмоктуванні, МПа	0,001
3. Робочий об'єм, см <sup>3</sup> поршневого насоса шестеренного насоса	9 80
4. Подача при номінальному тискові, л/хв трьох поршнів одного поршня шестеренного насоса	8 2,7 110
5. Число обертів приводного вала, об/хв	1450
6. Приводна потужність, кВт	5,5
7. Коефіцієнт корисної дії поршневого насоса шестеренного насоса загальний	0,85 0,85 0,75

Насос (рисунок 1.1) складається із здвоєних поршневого та шестеренного насосів. Поршневий насос складається із корпусу 1, всередині якого розташований вал 2 з трьома ексцентриками 3, котрі зміщені один відносно іншого на кут 120°. Вал своїми шийками опирається на підшипники

**ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ**

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Горошинський		23.08			
Перевір.		Коробко		23.08			
Керівник.							
Н. контр.		Васильєв		28.08			
Затверд.		Орисенко		28.08			

**Загальна частина**

**ННІ ІТР, 2024 р.**

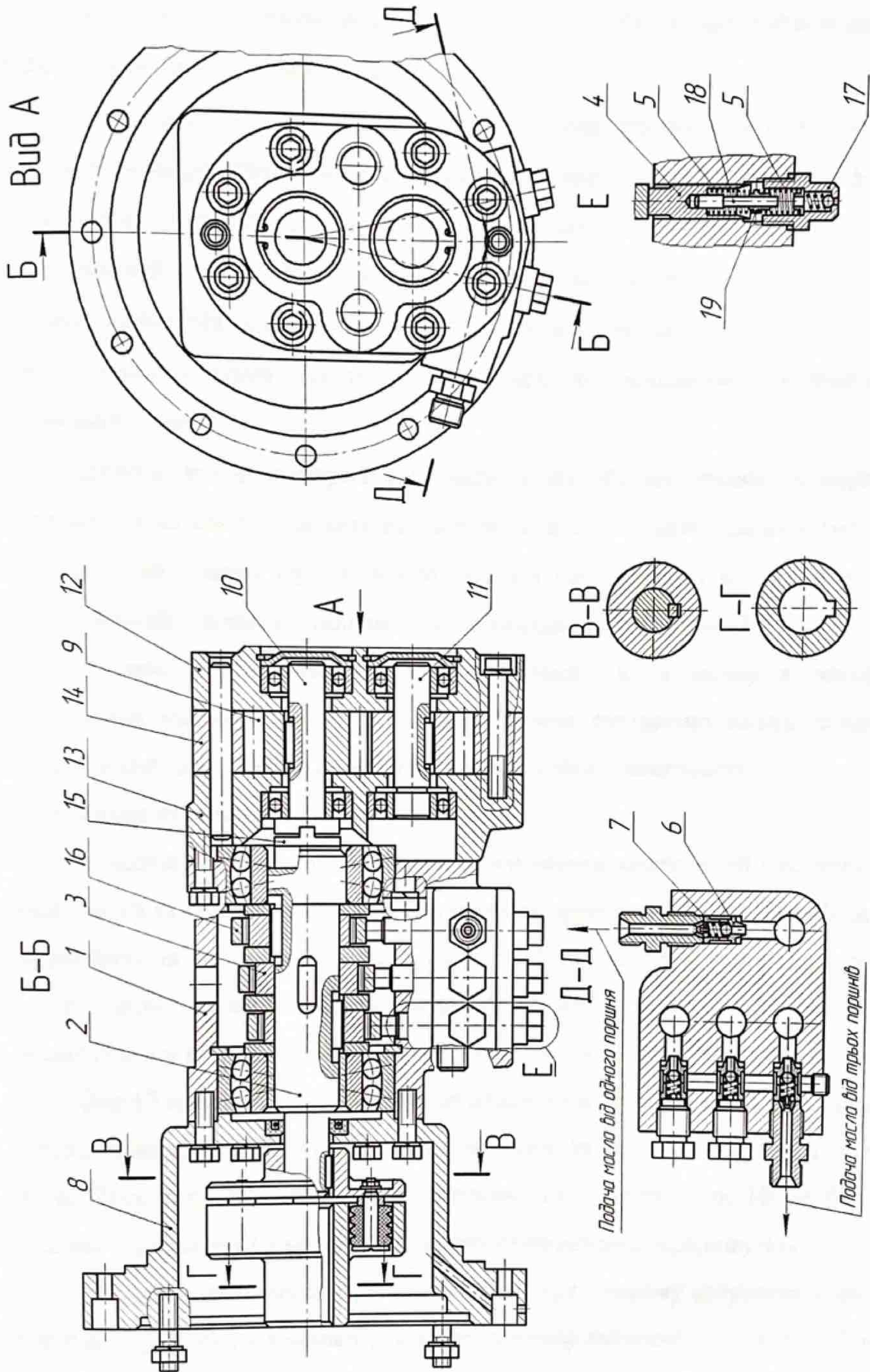


Рисунок 1.1 – Ескізне креслення насоса

ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ

Зм Арк. № докум. Підпис Дата

Арк.

8

кочення, котрі встановлені в розточках корпуса. На ексцентрики вільно на голках встановлені сталіні обойми 16.

При обертанні вала ексцентрики переміщують поршні в напрямі від осі, що відповідає циклу нагнітання масла. Поршні 4 мають трубчасту форму. В кожному поршні для згладжування різких коливань подачі масла встановлений штифт 18 із втулкою 19. Переміщення поршнів у напрямі до осі вала виконується під дією пружин 5, що відповідає циклу всмоктування масла. Всмоктування масла здійснюється за допомогою клапана 17 кулькового типу.

Зусилля від ексцентрикового вала через обойму, голки та поршень передається на масло, яке витісняється через нагнітальний клапан у систему. Нагнітальний клапан (для кожного поршня свій клапан) кулькового типу розташований у корпусі і притискається до сідла 6 пружиною 7.

У передній частині насос має фланець 8, в якому вмонтоване ущільнення манжетного типу для запобігання витіканню масла. Фланець призначений для закріплення насоса на стінці масляного бака та для закріплення фланцевого електродвигуна.

У задній частині корпуса поршневого насоса закріплений шестеренний насос, який складається з двох циліндричних прямозубих шестерень 9, котрі встановлені за допомогою шпонок на валах 10, 11. Шийки валів спираються на кулькові підшипники, встановлені в кришках 12, 13. Шестерні обертаються у камері, котра утворена корпусом 14 та кришками.

Вал 10 із валом 2 з'єднаний за допомогою муфти 15, котра має на своїх торцях перпендикулярно розташовані виступи, які входять у пази на торцях валів. Така конструкція допускає неспіввісність валів 2 та 10 не більше  $\pm 0,2$  мм і застосована з метою зменшення спрацювання підшипників.

Здвоєний насос може працювати лише при повному зануренні в масло, верхній рівень якого повинен утворювати напор висотою не менше 150 мм, рахуючи від осі приводного вала 2.

ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ

Арк.

9

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
----	------	----------	--------	------

Насос монтується в масляному бакові, для чого мається на корпусі насоса фланець з отворами для кріпильних гвинтів. Конструкція маслобака та монтаж гідросистеми повинні забезпечувати чистоту масла.

Об'єм масла в бакові не повинен бути менше трьоххвилинної продуктивності насоса.

Приєднування електродвигуна до насоса виконується за допомогою муфти. Напрямок обертання вала – за годинниковою стрілкою, дивлячись зі сторони вала насоса.

Для контролювання тиску масла на нагнітаючому трубопроводі необхідно встановити манометр. Для очищення масла, яке циркулює у системі, необхідно передбачити безперервну або періодичну фільтрацію за допомогою фільтра.

Внутрішні стінки маслобака повинні бути ретельно очищені та пофарбовані маслостійкою фарбою. Всі труби всередині мають бути протравлені. Прохідні перетини трубопроводів повинні вибиратись із розрахунку швидкості руху масла 3-4 м/хв. Труби повинні бути опресовані гідравлічним тиском, що перевищує робочий на 50%. Зварювальні шви не повинні протікати.

## 1.2. Аналіз вимог до точності деталей вузла

Проаналізуємо достатність та правильність технічних вимог, заданих кресленням, на прикладі вузла шестеренного насоса. Згідно з технічною характеристикою насос повинен забезпечити подачу масла не менше 110 л/хв при частоті обертання зубчастих коліс 1450 об/хв. Фактичну подачу насоса можна розрахувати за формулою:

$$Q_{\Phi} = Q_T \cdot n - Q_V - Q_{ВС}, \quad (1.1)$$

де  $Q_T$  – теоретична подача насоса за один оберт зубчастих коліс, л/хв;

$$Q_T = 2\pi \cdot z \cdot m^2 \cdot b, \quad (1.2)$$

де  $z = 13$  – кількість зубів кожної шестерні;

						ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк. 10
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$m = 5$  мм – модуль зубців;

$b = 40$  мм – ширина зубчастого вінця;

$Q_v$  – втрати масла, л/хв;

$Q_{вс}$  – втрати при всмоктуванні, л/хв.

Можливі при нагнітанні втрати масла:

$$Q_v = Q_{в.р.} + Q_{в.з.} + Q_{в.т.} \quad (1.3)$$

де  $Q_{в.р.}$  – втрати через радіальні зазори між зубцями та корпусом;

$Q_{в.з.}$  – втрати, зумовлені нещільністю контакту зубців;

$Q_{в.т.}$  – втрати через торцеві зазори між корпусом і шестернями.

Відповідно до наведених залежностей розрахунок насоса і розроблення норм точності виконуємо за наступною схемою. Виходячи з потрібної подачі, встановлюємо теоретичну подачу, норми втрат через витікання та втрат при всмоктуванні [14, 15].

При розрахунку допусків необхідно визначити, чи відповідають вимогам службового призначення насоса верхні граничні значення зазорів, які задані на кресленні. В таблиці 1.2 наведені можливі втрати масла, які знайдені за методикою розрахунку шестеренних насосів [1].

Таблиця 1.2 – Вплив зазорів на втрати масла

Причини втрат масла	Верхнє граничне відхилення зазору, мм	Можливі втрати масла, л/хв
Радіальні зазори	0,1	0,31
Боковий зазор між зубцями шестерень	0,5	4,99
Торцевий зазор між шестернями та корпусом	0,03	0,39
Загалом		5,69

Втрати при всмоктуванні, головна причина яких розрідження у всмоктувальній камері насоса та часткове недозаповнення міжзубцевих западин,  $Q_{вс} = 2,12$  л/хв [1].

Враховуючи, що теоретична подача насоса при розмірах зубчастих коліс і корпуса, що вказані на кресленні, складає:

$$Q_{T-n} = 2\pi \cdot z \cdot m^2 \cdot b \cdot n = 2 \cdot 3,14 \cdot 13 \cdot 0,5^2 \cdot 4 \cdot 1450 = \\ = 118378 \text{ см}^3/\text{хв} = 118,38 \text{ л/хв.}$$

Можна очікувати, що подача насоса:

$$Q_{\Phi} = 118,38 - 5,69 - 2,12 = 110,57 \text{ л/хв.}$$

Тобто верхні граничні відхилення зазорів встановлені правильно.

### 1.3. Функції деталей, заданих для детального розроблення технологічних процесів

Для детального розроблення технологічних процесів у кваліфікаційній роботі задані боковина (рисунок 1.2) та шестерня (рисунок 1.3).

Основне службове призначення деталі «боковина» – фіксація осьового переміщення валиків 10, 11 (рисунок 1.1), встановлених на підшипниках кочення, а також утворення робочої порожнини шестеренного насоса «боковина» відіграє роль кришки шестеренного насоса і фланця, за допомогою якого шестеренний насос кріпиться до поршневого.

Інша деталь – «шестерня» – відіграє роль робочого органа шестеренного насоса: її обертання у парі з іншою шестернею створює тиск нагнітання і подачу масла при роботі насоса.

### 1.4. Аналіз параметрів точності деталей

Комплекс технічних вимог, що ставляться до деталей, які задані для детального розроблення технологічних процесів, визначається, виходячи із службового призначення деталей. Дотримування технічних вимог означає [1] «формування потрібних фізико-механічних властивостей матеріалу деталі, отримання необхідної міцності та вібростійкості, забезпечення потрібної геометричної точності деталі та створення умов для легкого виконання механоскладальних та експлуатаційних робіт». Технічні вимоги щодо

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

параметрів геометричної точності деталі виконуються в процесі оброблення різанням на різних етапах технологічного процесу виготовлення.

Позначаємо поверхні деталей (рисунок 1.2, 1.3) та заносимо в таблиці 1.3, 1.4 вимоги до точності деталей згідно з кресленням.

Таблиця 1.3 – Аналіз вимог до точності деталі "боковина"

Номер поверхні	Назва поверхні	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Точність форми	Точність відносного положення	Шорсткість Ra, мкм
1	Фланець	55±0,1	8	-	// 0,04 Г	2,0
2	Фланець	55±0,1	8	∇ 0,01	-	0,63
3	Отвір	35	H14	-	-	20
4	Отвір	62	H7	-	∇ 0,01 Г	1,25
5	Отвір	62,5	H14	-	-	10
6	Конус	82	H14	-	-	20
7	Отвір	52	H14	-	-	20
8	Канавка	63	H14	-	-	10
9	Канавка	65 <sup>+0,4</sup>	H9	-	-	10
10	Паз	8x16	H14	-	-	20
11	Фаска	1x45°	H14	-	-	10
12	Різьбовий отвір	M12	7H	-	-	4,0
13	Різьбовий отвір	M10	7H	-	-	4,0
14	Отвір	12	H7	-	∇ 0,01 Г	1,25
15	Отвір	110	H8	-	√ 0,01 Г	1,25
16	Площина	8±0,1	10	-	-	1,25

ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ

Арк.

13

Зм Арк. № докум. Підпис Дата

Таблиця 2.4 – Аналіз вимог до точності комплексної деталі "шестерня"

Номер поверхні	Назва поверхні	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Точність форми	Точність відносного положення	Шорсткість Ra, мкм
1	Паз	$7^{+0,12}_{+0,04}$	8	-	-	3,2
2	Паз	$28,3^{+0,15}$	8	-	-	0,63
3	Зубці	$75^{-0,07}_{-0,12}$	10	-	$\leftarrow 0,015 \text{ A}$	1,6
4	Отвір	25	H7	-	-	1,6
5	Торець	$40_{-0,05}$	8	-	$\parallel 0,02$ $\leftarrow 0,02/80 \text{ A}$	1,6
6	Фаска	$1,5 \times 45^\circ$	14	-	-	6,3
7	Фаска	$0,5 \times 30^\circ$	14	-	-	6,3

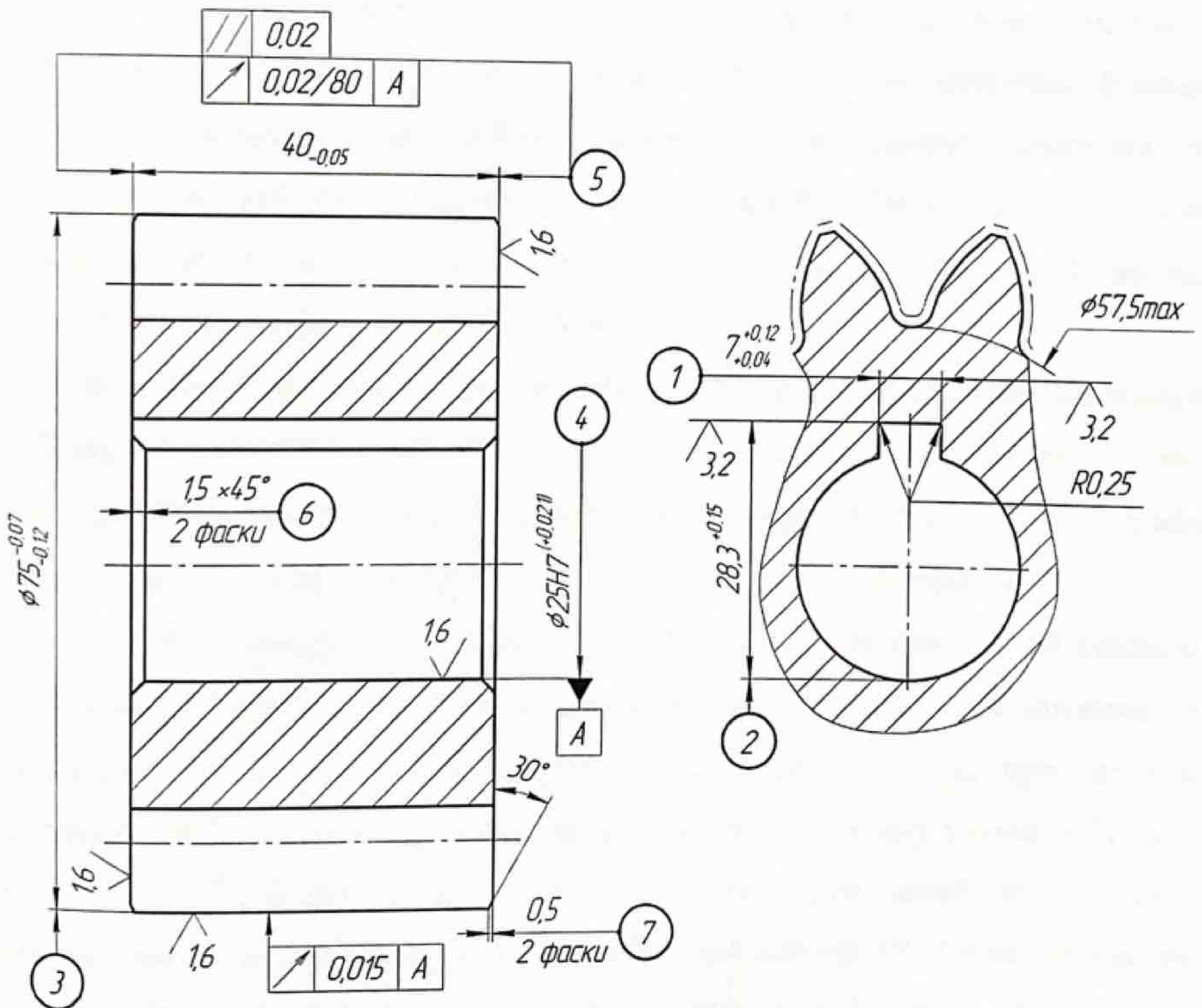


Рисунок 1.3 – Ескіз деталі "шестерня" з нумерацією поверхонь

## 1.5. Характеристика матеріалу деталей

Марка матеріалу для виготовлення корпусу визначається службовим призначенням і умовами роботи насоса. При цьому необхідно врахувати вплив властивостей матеріалу на такі конструктивні параметри [5, 6], як «міцність і жорсткість конструкції, вібростійкість, зносостійкість окремих поверхонь, габарити і масу деталі».

При виготовленні деталей, що детально розглядаються у даній кваліфікаційній роботі, в якості матеріалів застосовується чавун марки СЧ 20 ДСТУ 1412-85 – деталь «боковина» та сталь 18ХГТ ДСТУ 4543-71 – деталь «шестерня». Отже охарактеризуємо матеріал кожної деталі окремо.

«Боковина» шестеренного насоса виготовляється з чавуну марки СЧ 20 ДСТУ 1412-85. При відносно невисокій вартості він володіє гарними ливарними властивостями, що дозволяє одержувати виливки складної конфігурації. «Сірий чавун добре обробляється і має непогані фізико-механічні властивості, які можна змінювати в необхідному напрямку за допомогою модифікації і термічного оброблення. Виливки із сірого чавуна володіють високою циклічною в'язкістю» [1], що сприяє демпфуванню коливань у процесі експлуатації компресора.

Для чавунних корпусних деталей [1] як «метод одержання заготовки найбільше широко використовується лиття в піщану форму. У зв'язку з тим, що на даний час за умов ринкових відносин тип виробництва – одиничне або дрібносерійне, то найбільш раціональним буде ручне формування».

У зв'язку з обробкою на багатоцільових верстатах необхідний вилівок з граничними допустимим відхиленнями розмірів  $\pm 1,0$  мм (для заготовок з габаритами до 500 мм). Користуючись [1] визначаємо, що при литті в піщано-глиняні форми може бути отриманий вилівок класу точності 7Т, для якого допуски розмірів становлять 1,4 мм (при лінійних розмірах 200...450 мм). Клас точності маси вилівка призначаємо 12. Таким чином, як заготовку боковини приймаємо вилівок з точністю 7Т-12 ДСТУ 26645-85.

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При розробленні технологічного процесу одержання виливків корпусів, оброблюваних у автоматизованому виробництві, необхідно врахувати технологічні бази, що використовуються для оброблення різанням [1]. Ці «поверхні повинні бути вихідними при виготовленні моделі і контролюванні точності вилівка. Базові поверхні необхідно розташовувати так, щоб на їхню точність не впливав можливий відносний зсув опок або стрижнів. Поверхні, до яких пред'являються вимоги рівномірного припуску або високої точності розмірів, необхідно розташовувати в одній напівформі або одержувати за допомогою одного стрижня, не допускаючи перетинання площиною рознімання.

Для зняття внутрішніх напружень, підвищення в'язкості і стабільності розмірів деталей необхідна операція низькотемпературного відпалювання (нагрівання до 500...600°C зі швидкістю 50...150°C/год, витримка протягом 2,5...5 год. і охолодження до 250...300°C зі швидкістю 30...50°C/год). Найбільш універсальним методом отримання заготовок, придатним як для одиничного так і серійного виробництва відливок масою від десятків грам до десятків тон являється метод лиття в піщані форми по дерев'яних моделях.»  
Група складності даної заготовки III.

СЧ 20 – сірий чавун з пластинчастим графітом має перлітну структуру з густиною 7,0-7,3 г/см<sup>3</sup>.

Хімічний склад і властивості матеріалу приведені нижче в таблиці 1.5. Також в цій таблиці наведено марку, хімічний склад і властивості матеріалу, яким можна замінити базовий матеріал.

Таблиця 1.5 – Хімічний склад та механічні властивості матеріалу боковини

Чавун	$\sigma_b$ , МПа	Твердість НВ·10 <sup>-1</sup> , МПа	Масова частка хімічних елементів, %				
			C	Si	Mn	Не більше	
						P	S
СЧ 20	196	170-241	3,3-3,5	1,4-2,2	0,7-1,0	0,2	0,15
СЧ 18	176	170-241	3,4-3,6	1,9-2,3	0,5-0,7	0,2	0,15

					<b>ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						16
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Іншою деталлю, винесеною на детальну розробку технологічного процесу, являється шестерня, котра виготовляється зі сталі 18ХГТ ДСТУ 4543-71.

«Дана сталь належить до класу автоматних сталей. Ці сталі обробляються на високих швидкостях різання. При їх застосуванні знижуються витрати різального інструменту і зменшується шорсткість оброблюваної поверхні.»

Хімічний склад сталі 18ХГТ і сталі замітника ст. 85 приведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Хімічний склад матеріалу шестерні

Матеріал	С	Si	Mn	Cr	P	S	Cu	Ni
					Не більше			
18ХГТ	0,17- 0,23	0,17- 0,37	0,80- 1,10	1,0-1,30	0,15	0,2	0,30	-
ст. 85	0,82- 0,90	0,17- 0,37	0,50- 0,80	1,0-1,30	0,035	0,08	0,30	-

«Для досягнення підвищеної оброблюваності застосовують сталі із підвищеним вмістом сірки. При цьому сірка зменшує тертя між стружкою та інструментом внаслідок змащуючої дії сульфатів марганцю і ломкості стружки. Однак застосування сірчаних сталей обмежується у зв'язку із зниженням механічних властивостей і червоноломкістю.»

### 1.6. Вибір режиму роботи цеху

Вибрати режим роботи цеху – значить встановити змінність, дійсні річні фонди часу для обладнання, робітників. Враховуючи обраний режим роботи, встановлюють дійсні річні фонди часу для різних категорій обладнання, робітників.

Ефективний річний фонд часу роботи одного верстату при п'ятиденному робочому тижні розраховується за формулою:

$$F_{д.в.} = [(365 - N_{в.д.} - N_{с.д.}) \cdot 8,2 - N_{п.с.д.} \cdot 1] \cdot z \cdot k_p \quad (1.4)$$

де  $N_{в.д.} = 104$  – кількість вихідних днів;

$N_{с.д.} = 8$  – кількість святкових днів;

$N_{п.с.д.} = 5$  – кількість передсвяткових днів;

$z = 2$  – кількість змін роботи верстата;

$k_p = 0,95 \dots 0,97$  – коефіцієнт часу перебування верстату в ремонті.

Після підстановки значень в формулу 1.4 отримаємо:

$$F_{д.в.} = [(365 - 104 - 8) \cdot 8,2 - 5 \cdot 1] \cdot 2 \cdot 0,95 = 3943 \text{ год.}$$

Приймаємо  $F_{д.в.} = 3950$  год.

Ефективний річний фонд часу роботи верстатника розраховується по формулі

$$F_{д.в.} = [(365 - N_{в.д.} - N_{с.д.}) \cdot 8,2 - N_{п.с.д.} \cdot 1] \cdot k_n \quad (1.5)$$

де  $k_n$  – коефіцієнт, який враховує використання фонду часу через неявку на роботу:

$$k_n = \frac{100 - C_n}{100} = \frac{100 - 10}{100} = 0,9, \quad (1.6)$$

де  $C_n = 9 \dots 12\%$  ( відпустки 5%; захворювання 2%; державні і суспільні обов'язки 0,5%; учнівські відпустки 1%; перерви матерів для годування дітей 0,5%). В розрахунках приймаємо  $C_n = 10\%$ .

Після підстановки значень в формулу 1.5 отримаємо:

$$F_{д.в.} = [(365 - 104 - 8) \cdot 8,2 - 5 \cdot 1] \cdot 0,9 = 1868 \text{ год.}$$

Приймаємо  $F_{д.в.} = 1870$  год.

Відомості про режими роботи цеху подані у таблиці 1.7

Таблиця 1.7 – Дійсні річні фонди часу.

Назва	Змінність праці	Номінальний річний фонд часу, год.	Коефіцієнт простою обладнання в ремонті	Тривалість відпустки	Дійсні річні фонди часу, год.
Обладнання	2	4150	0,95	-	9350
Робочі місця	2	4150	-	-	4150
Робітники	1	2060	-	24	1870

ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ

Арк.

18

Зм Арк. № докум. Підпис Дата

## 1.7. Характеристика виробничої програми та визначення типу виробництва

Характерною особливістю і основною перевагою серійного виробництва перед одиничним в техніко-економічному відношенні є те, що «в серійному виробництві вся партія деталей пускається у виробництво одночасно, що забезпечує повторюваність операцій, при якій вигідно широко застосовувати спеціальні пристрої, спеціальні ріжучі та вимірювальні інструменти» [10, 11].

Форми і методи організації технологічних процесів залежать від встановленого порядку виконання операцій, розташування технологічного обладнання, кількості виробів і напрямку їх переміщення при виготовленні. Є дві форми організації технологічних процесів – групова і потокова.

«Групова форма організації виробництва характеризується однорідними конструктивно-технологічними ознаками виробів, єдністю засобів технологічного оснащення однієї або кількох технологічних операцій та спеціалізацією робочих місць. Основа такої форми – групування виробів за конструктивно-технологічними ознаками.

Потокова форма характеризується спеціалізацією кожного робочого місця на виконанні певної операції, узгодженим і ритмічним виконанням всіх операцій технологічного процесу на основі такту випуску; розміщенням робочих місць у послідовності, яка відповідає технологічному процесу. Потокова форма, в залежності від номенклатури виробів, може бути реалізована у вигляді однономенклатурної або багатноменклатурної потокової лінії. Однономенклатурна потокова лінія може бути однопотоковою – виготовлення на кожній операції одного об'єкта одного найменування, або багатопотоковою – одночасне виготовлення на кожній операції двох і більше об'єктів одного найменування. Багатноменклатурна потокова лінія – послідовне виготовлення груп виробів двох і більше найменувань за типовим технологічним процесом.»

									Арк.
									19
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ				

В залежності від характеру переміщення виробу по операціях – потокові лінії поділяються на безперервні та переривчасті.

Є також предметна форма організації технологічного процесу. В цьому випадку виготовлення деталі виконується на різних дільницях, обладнання розміщують по групах. Така форма організації технологічного процесу характерна для одиничного виробництва.

Основою для розроблення механоскладальних цехів є подетальна виробнича програма цеху, яка складається виходячи із загальної виробничої програми заводу. В подетальній програмі вказуються найменування деталей, що підлягають обробці в даному цехові, їх кількість, вид матеріалу, їх вага – чорнова та чиста.

При розробленні за точною програмою необхідне детальне розроблення технологічних процесів виготовлення кожної деталі із складанням подетальних технологічних карт та нормуванням часу обробки за операціями [10]. Ця робота має дуже великий об'єм, потребує багато часу, великої кількості виконавців. Тому в даній кваліфікаційній роботі детальні технологічні процеси розробляємо лише для двох характерних деталей, інші враховуються за допомогою укрупнених показників.

Припустимо, що дослідження показало потребу ринку в насосах даної моделі у кількості 3 тис. штук на рік. Програму запуску на поточкових лініях устанавлюють стабільною на тривалий період часу. Для планування розмірів цеху необхідно з'ясувати суть програми запуску та визначити річну програму запуску виробів, які збирають на потоковій лінії.

Визначаємо програму запуску виробів:

$$N_{зан} = (N_{вип} + N_{зч}) \cdot (1 + k_{бр}), \quad (1.7)$$

де  $N_{вип}$  – річна програма випуску виробів, тис. од;

$N_{зч}$  – кількість виробів, які йдуть на запчастини, приймаємо рівною 3-5 % від програми випуску, тис. од;

									Арк.
									20
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ				

$k_{бр}$  – коефіцієнт, який враховує технологічні витрати, що не можливо уникнути; приймаємо рівним 2-3 % від сумарної кількості виробів, які формують програму випуску та які йдуть на запчастини.

$$N_{зап} = (3000 + 0,035 \cdot 3000) \cdot (1 + 0,02) = 3167 \text{ од.}$$

Максимальна маса оброблюваних заготовок деталей насоса не перевищує 200 кг, тому за [3, табл. 1.1] визначаємо тип виробництва – дрібносерійний.

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Розроблення технологічних процесів входить основним розділом до технологічної підготовки виробництва, тому в даній кваліфікаційній роботі розроблення технологічних процесів виготовлення боковини та шестерні виконано на основі принципів «Єдиної системи технологічної підготовки виробництва» (ДСТУ 14.001-73).

### 2.1. Аналіз технологічності складеного вузла та деталей

Конструкція спареного насоса, який розглядається в даній кваліфікаційній роботі, являється не дуже складною. Він складається з відносно невеликої кількості деталей. У даному виробі досить широко застосовуються стандартні вироби (болти, гайки, шайби та ін. ), але основна маса деталей виготовляється безпосередньо для даного насоса, конструкція виробу дозволяє проводити його складання без особливих ускладнень. Точність виготовлення деталей практично виключає підгоночні операції. При проведенні поточних технічних оглядів та ремонтів насос досить легко розбирається.

Точність виконання основних функціональних поверхонь забезпечує нормальне функціонування вузла.

Базові поверхні складальних одиниць, якими вони будуть встановлюватися в вузол, оброблені достатньо точно, з точки зору точності та визначеності базування. Будова насоса дозволяє проводити його складання повузловим методом. Регулювання та контроль роботи також проводиться без розбирання. Складові частини мають таку конструкцію, що забезпечують задану точність розташування їх у маслосистемі, де буде використовуватися розроблюваний насос.

					<b>ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Технологічна частина</b>	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Гроршинський		23.08			22	
Перевір.		Коробко		23.08				
Керівник.								
Н. контр.		Васильєв		28.08				
Затверд.		Орисенко		28.08				
						<b>ННІ ІТР, 2024 р.</b>		

Підсумовуючи вищезазначене конструкцію маслососа можна вважати технологічною і придатною для виготовлення та експлуатації у відповідності до технічних вимог.

### 2.1.1. Аналіз технологічності боковини

В процесі аналізу креслення деталі нами було виявлено, що деталь практично повністю відпрацьована на технологічність для серійного типу виробництва, так як затрати на наладку верстатів будуть порівняно невеликі з економією матеріалу і часу.

Повні результати аналізу на технологічність приведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Аналіз технологічності боковини

№ п/п	Показники технологічності	Висновки по показникам технологічності	Дії по поліпшенню технологічності
1	Наявність зручних технологічних баз, які забезпечують жорстке і надійне закріплення заготовки, вільний підвід різального інструменту.	Цей показник технологічності являється задовільним. Заготовка має зручні технологічні бази.	
2	Конструкція деталі повинна забезпечувати її встановлення за допомогою простих пристосувань.	Деталь має просту геометричну форму, отже цей показник являється задовільним.	
3	Отвори повинні бути такими, щоб їх можна було обробляти на прохід.	Дана деталь повністю відповідає даній вимозі технологічності.	
4	В багатоопераційних верстатах з ЧПК не рекомендується обробка кутів відмінних від 45 та 90 градусів.	Відносно цього показника деталь повністю відповідає даним вимогам.	
5	Для можливості автоматичної обробки корпусних деталей край небажано застосовувати різьбові отвори менші М6.	В даній боковині застосовуються різьби від М8 і більші, а отже дана вимога повністю виконується.	

## Продовження таблиці 2.1

№ п/п	Показники технологічності	Висновки по показникам технологічності	Дії по поліпшенню технологічності
6	Наявність зручних технологічних баз для орієнтації та закріплення	Базування по площинах фланців – технологічно	
7	Можливість встановлення і закріплення простими пристосуваннями	Закріплення у пристосуванні с прихватами – технологічно	
8	Можливість оброблення отворів напрохід	Вимога виконується	
9	Довжина розточного інструменту повинна бути менше 350 мм	Максимальна довжина оброблюваного отвору – 55 мм - технологічно	
10	Наявність внутрішніх канавок	Канавки наявні, але їх обробка можлива із застосуванням нескладних пристосувань – технологічно	

## 2.1.2. Аналіз технологічності шестерні

В процесі аналізу креслення нами було виявлено, що дана деталь практично повністю відпрацьована на технологічність для серійного типу виробництва. Повні результати аналізу на технологічність приведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Аналіз технологічності шестерні

№ п/п	Показники технологічності	Висновки по показникам технологічності	Дії по поліпшенню технологічності
1	Деталь повинна мати невеликі перепади діаметрів, а довжина ступеней повинна бути однаковою або кратною для можливості обробки деталі на багато різцевих верстатах.	Оскільки шестерня обробляється на верстаті з ЧПК, то дана умова нас повністю задовольняє.	

## Продовження таблиці 2.2

№ п/п	Показники технологічності	Висновки по показникам технологічності	Дії по поліпшенню технологічності
2	Наявність зручних технологічних баз для орієнтації та закріплення	Базування по торцю і циліндричній поверхні – технологічно	
3	Можливість встановлення і закріплення простими пристосуваннями	Закріплення у кулачковому патроні – технологічно	
4	Можливість оброблення отворів напрохід	Вимога виконується	
5	Для можливості автоматичної обробки корпусних деталей край небажано застосовувати різьбові отвори менші М6.	Дана вимога повністю виконується.	
6	Наявність глухих шліцевих з'єднань (шпонок)	Шпонковий паз обробляється напрохід – технологічно	
7	Довжина розточного інструменту повинна бути менше 350 мм	Максимальна довжина оброблюваного отвору – 40 мм – технологічно	
8	Наявність внутрішніх канавок	Відсутні - технологічно	

## 2.2. Виявлення і розв'язання розмірних ланцюгів

Приступаючи до проведення розмірного аналізу, окреслимо найбільш важливі задачі, які необхідно розв'язати у процесі виготовлення насоса.

Цими задачами є забезпечення:

1. Необхідного радіального зазору між зубчастими колесами і корпусом;
2. Зазору між корпусом і торцями зубчастих коліс;
3. Необхідного бокового зазору між зубцями зубчастих коліс;
4. Необхідного зазору між торцем осі веденого зубчастого колеса і кришкою корпусу;

5. Зазору між корпусом і торцем веденого зубчастого колеса;
6. Щільності контакту зубців зубчастих коліс;
7. Легкості обертання зубчастих коліс.

Розглянемо детально розмірний ланцюг для визначення радіального зазору (рисунок 2.1). Параметри ланок розмірного ланцюга наведені у таблиці 2.3.

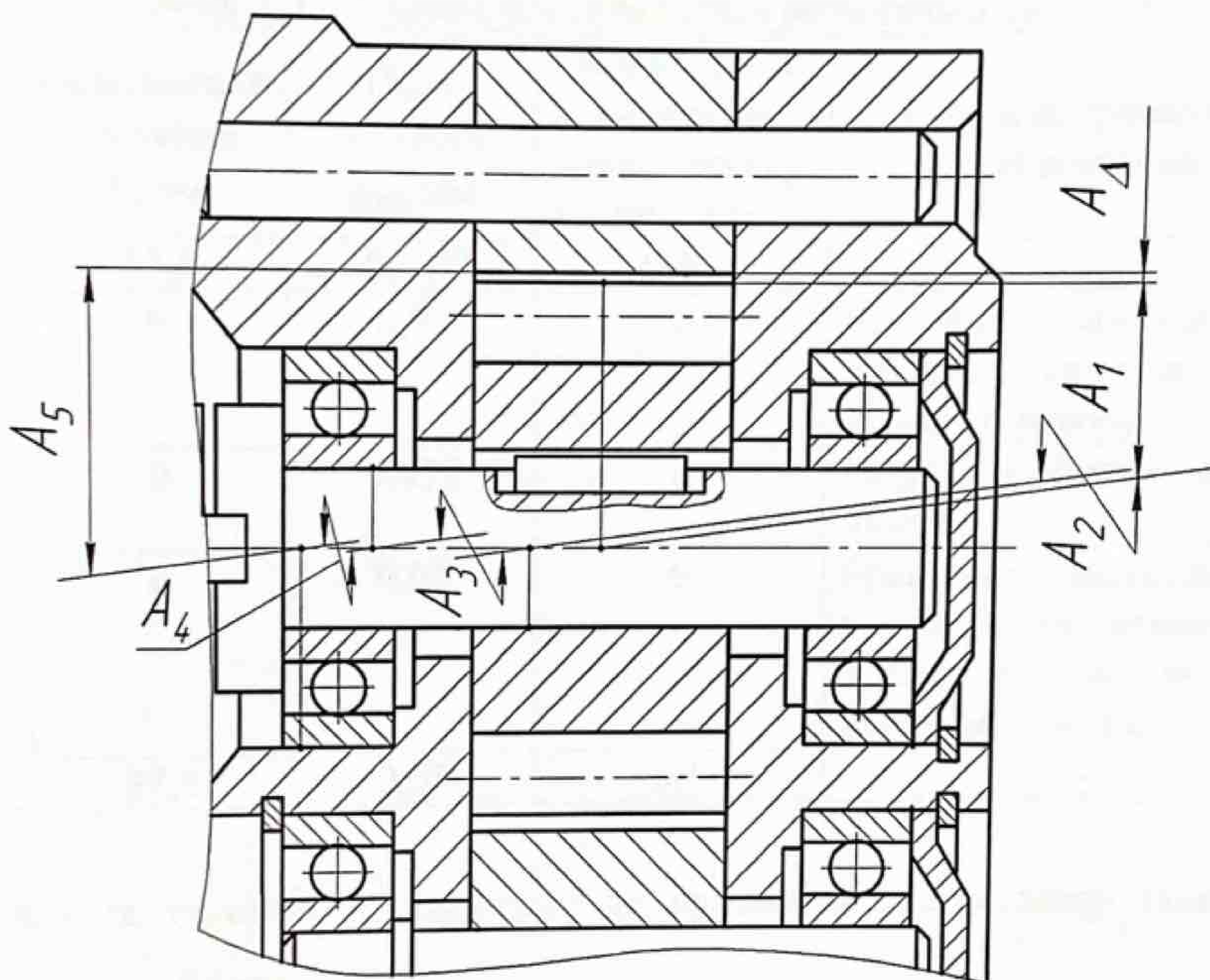


Рисунок 2.1 – Розмірний ланцюг шестеренного насоса

Радіальний зазор визначається за формулою:

$$A_{\Delta} = - A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 \quad (2.1)$$

Номінал замикаючої ланки згідно з кресленнями деталей:

$$A_{\Delta} = - 37,5 + 0 + 0 + 0 + 37,5 = 0.$$

Поле допуску замикаючої ланки, якщо забезпечувати його точність методом повної взаємозамінності:

$$\delta_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta_{A_i} = 0,017 + 0,03 + 0,072 + 0,05 + 0,05 = 0,219 \text{ мм.} \quad (2.2)$$

Координата середини поля допуску замикаючої ланки:

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк. 26
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta 0_{A\Delta} = -\Delta 0_{A1} + \Delta 0_{A2} + \Delta 0_{A3} + \Delta 0_{A4} + \Delta 0_{A5}; \quad (2.3)$$

$$\Delta 0_{A\Delta} = 0,008 + 0 + 0 + 0 + 0,1 = 0,108 \text{ мм.}$$

Верхнє  $\Delta B_{A\Delta}$  і нижнє  $\Delta H_{A\Delta}$  граничні відхилення замикаючої ланки:

$$\Delta B_{A\Delta} = 0,108 + 0,219/2 = 0,218 \text{ мм;}$$

$$\Delta H_{A\Delta} = 0,108 - 0,219/2 = 0,002 \text{ мм.}$$

Таблиця 2.3 – Параметри складників розмірного ланцюга

Ланка	Номінальне значення $A_i$ , мм	Поле допуску $\delta_{A_i}$ , мм	Координата середини поля допуску $\Delta 0_{A_i}$ , мм	Сутність граничного відхилення
$A_1$	37,5	0,017	-0,008	-
$A_2$	0	0,03	0	Граничне значення биття поверхні вершин зубців відносно отвору
$A_3$	0	0,072	0	Радіальне биття підшипника
$A_4$	0	0,05	0	Гранично припустиме значення биття отвору зовнішнього і внутрішнього кілець підшипника
$A_5$	37,5	0,05	0,1	-

Але за технічними вимогами до креслення насоса зазор заданий у межах 0,02...0,03 мм.

Таким чином, при допусках на розміри деталей, заданих кресленнями, розраховувати на досягнення необхідного зазору методом повної взаємозамінності не доводиться.

Перевіримо можливість досягнення радіального зазору в необхідних границях за методом неповної взаємозамінності при ризикові 0,27% ( $t = 3$ ) та за умови, що розсіяння похибок ланок підпорядковане закону Гаусса ( $\lambda_{A_i}^2 = 1/9$ ). При цьому можна очікувати, що при досягненні точності радіального зазору за методом неповної взаємозамінності відхилення  $A_{\Delta}$  будуть знаходитися у межах:

$$\delta_{A\Delta} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_{Ai}^2 \delta_{Ai}^2} = 3 \sqrt{\frac{1}{9} (0,017^2 + 0,03^2 + 0,45^2 + 0,05^2)} = 0,09 \text{ мм. (2.4)}$$

Причому:

$$\Delta B_{A\Delta} = 0,108 + 0,09/2 = 0,153 \text{ мм;}$$

$$\Delta H_{A\Delta} = 0,108 - 0,09/2 = 0,063 \text{ мм.}$$

Тобто можна вважати, що радіальний зазор у насосі можна забезпечити за методом неповної взаємозамінності при ризикові 0,27%. При заданому масштабі випуску такий ризик є припустимим.

### 2.3. Розроблення схеми складання насоса

У даній кваліфікаційній роботі розробимо технологічну схему складання насоса.

Складання насоса відбувається у наступній послідовності.

I. 1. Забити шпонки 43, 44 у вал 7.

2. Вставити вал у складальний пристрій.

3. Надіти кільце 15.

4. Надіти ексцентрик 16, обойму 17.

5. Заповнити обойму 17 роликami 54. Поз. 5 повторити ще для 2-х ексцентриків.

6. Надіти кільце 15.

7. Насадити втулку 11.

8. Надіти підшипник 57.

→ Вал складений.

II. 1. Закласти у валики 8 і 9 шпонки 41.

2. Насадити на валики 8 і 9 по 1 підшипнику 58.

3. Встановити валики у боковину 6.

4. Скласти боковину 6 з корпусом 3 за допомогою штифтів 45 і насадити на валики шестерні 26.

5. Приєднати кришку 4 за допомогою болтів 34 з шайбами 38.

									Арк.
									28
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ				

6. Встановити дві кришки 27 за допомогою шайб 46.

→ Насос шестеренний складений.

III. 1. В корпус 2 вставити дві шайби 14.

2. Вставити складений вал 7 у корпус 2 та встановити другий підшипник 57.

3. За допомогою болтів 33, 35 з'єднати складений шестеренний насос з корпусом 2.

4. Встановити манжету 47 у фланець 5.

5. Прикрутити болтами 32 фланець 5 до корпусу 2.

6. Закласти шпонку 42 у вал 7 і надіти муфту 1.

7. Загвинтити шпильки 40 з шайбами 38 і гайками 36.

IV. 1. В отвір корпусу 2 встановити поршень 18.

2. Встановити пружину 51 всередину поршня 18.

3. Надіти втулку 12 на штифт 19 і встановити в поршень 18.

4. В пробку 23 встановити кульку 56, пружину 50 та втулку 10.

5. В отвір з поршнем 18 вкласти пружину 51.

6. Надіти на пробку 23 прокладку 48 і загвинтити пробку 23 в корпус 2. Повторити поз. 1-6 ще для трьох поршнів.

V. 1. В отвір корпусу 2 встановити сідло 20.

2. В сідло 20 встановити кульку 55 і пружину 50.

3. Загвинтити пробку 24. Повторити поз. 1-3 ще для однієї пробки.

VI. 1. В отвір корпусу 2 встановити сідло 20.

2. В сідло 20 встановити кульку 55 і пружину 50.

3. Загвинтити пробку 22. Повторити поз. 1-3 ще для одного штуцера.

VII. Загвинтити конічну пробку 49 в отвір корпусу.

Вищенаведений порядок складання насоса у вигляді технологічної схеми наводиться на аркуші креслення. На цій схемі кожний елемент виробу позначений прямокутником, у якому вказані найменування складової частини, її індекс за специфікацією і кількість.

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.4. Аналіз методів одержання заготовок. Техніко-економічне обґрунтування вибраних методів і їх характеристика

Одну і ту ж деталь можна виготовити із заготовок, отриманих різними способами. Одним із основних принципів вибору заготовки являється орієнтація на такий спосіб виготовлення, який забезпечує її максимальне приближення до готової деталі. Розроблення технологічного процесу виготовлення заготовки повинно здійснюватись на основі технічного і економічного принципів. З декількох можливих варіантів технологічних процесів при інших рівних умовах вибираємо найбільш економічний, при однаковій економічності – найбільш продуктивний.

Деталі складної конфігурації можна отримати різними методами литва. Литво в піщані форми і по витоплюваним моделям дозволяє отримати заготовки складної форми з різними отворами. Заготовки, отримані штамповкою повинні бути більш простими по формі. Форма (група складності) і розміри відливок і поковок впливають на собівартість. При чому маса заготовок впливає активніше, так як з нею пов'язані витрати на обладнання, оснастку і т. п. Значне зниження вартості виготовлення заготовок відбувається при збільшенні їх маси. Точність геометричних форм і розмірів заготовок значно впливає на їх собівартість. Чим вище вимоги до точності заготовки, тим вища вартість їх виготовлення.

Заготовку для боковини найбільш доцільно виготовляти методом литва. Розглянемо декілька методів литва: в піщані форми і литво в кокіль.

Литво в піщані форми – найбільш розповсюджений метод литва. В машинобудуванні цим методом виготовляється 75...80% відливок (по масі). В піщаних формах можна отримати відливки самої складної конфігурації і масою від декількох грам до декількох тон. Отримані заготовки характеризуються низькою точністю, високими параметрами шорсткості і великими припусками на механічну обробку. Вартість виготовлення відливок

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мінімальна, але вартість їх механічної обробки більша ніж заготовок, отриманих іншими методами литва.

Литво в піщані форми потребує значних затрат на метал. В піщаних формах отримують відливки переважно з сталі, чавуну. Цей метод найчастіше використовують в одиничному та серійному виробництві. Застосовувати його в великосерійному виробництві можна тільки при високій степені механізації.

Литво в кокіль – найбільш дешевий серед спеціальних методів литва. Його основна особливість полягає в багатократному використанні металевої форми – кокіля. Стійкість чавунних кокілів при виготовленні чавунного литва становить 400...8000 відливок. Кокілі дозволяють отримувати заготовки зі стабільними і точними розмірами (до 12 квалітету). Параметр шорсткості може досягати  $Rz = 20$  мкм. В зв'язку з великою теплопровідністю матеріалу форми швидкість кристалізації дуже велика. Це підвищує механічні властивості відливка (одержується дрібнозерниста структура) на 10...15%, але в той же час затрудняється отримання заготовок з тонкими стінками. При переході з піщаного литва на кокіль затрати матеріалу зменшуються на 10...20% через скорочення литникової системи. Трудомісткість механічної обробки в наслідок зменшення припусків і високої точності розмірів зменшується в 1,5...2 рази.

Разом з тим необхідно враховувати, що самі кокілі коштують досить дорого, що з їх використанням можна виготовляти заготовки досить простої конфігурації, що можливе їх короблення у зв'язку зі значними усадочними і термічними напруженнями.

Литво в кокіль доцільно застосовувати в умовах серійного і великосерійного виробництва при отриманні з кожної форми не менше 300...500 відливок.

Заміна литва в піщані форми на литво в кокіль при достатньо великій програмі випуску знижує собівартість відливок приблизно на 30% і підвищує

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продуктивність праці в 4...6 рази. Затрати на організацію дільниці литва в кокіль при цьому окупаються за 2...3 місяці [11, 12].

Для виготовлення боковини шестеренного насоса обираємо литво в піщані форми.

Деталь "шестерня" виготовляється із штампованої заготовки. Заготовку можна отримати штампуванням у відкритих штампах або штампуванням у підкладних штампах.

Перевагами штампування порівняно з вільним куванням є більша точність форми, розмірів і якість поверхонь кованок, можливість виготовлення складних за формою заготовок, вищі коефіцієнти використання матеріалу та продуктивність праці, нижчі вимоги до кваліфікації робітників, ліпша придатність до механізації та автоматизації виробничих процесів тощо.

Недоліками об'ємного штампування є складність і висока вартість технологічного обладнання, потреба в устаткуванні великої потужності, обмеження маси та габаритів виготовлюваних кованок, наявність облою, задирок та ін.

Відкрите штампування здійснюють у штампах, у яких передбачений проміжок між обома частинами штампа, що під час деформування металу зменшується. В остаточному штампувальному рівчаку для витікання зайвого металу передбачають спеціальну облойну канавку порожнини штампа, що створює опір витіканню металу, чим забезпечує сприятливі умови для заповнення остаточного рівчака штампу [1,10,11].

Враховуючи наш дрібносерійний тип виробництва, складність виготовлення закритих штамів і необхідність високої точності заготовок для кування у закритих штампах, приймаємо у якості виду одержання заготовки шестерні кування у відкритих штампах [10, 12, 13].

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.5. Аналіз діючих технологічних процесів

### 2.5.1. Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення боковини

При виготовленні заготовки боковини ми пропонуємо використовувати лиття в земляні форми. Цей метод лиття дозволяє отримувати заготовки досить точні і з малою шорсткістю поверхні (12 квалітет, шорсткість  $R_z = 20 \dots 10$  мкм). Це дозволяє зменшити об'єм очисних робіт, механічної обробки.

При використанні універсальних верстатів у діючому технологічному процесі застосовувався звичайний різальний інструмент.

Використання прогресивного різального інструмента дозволяє зменшити кількість переходів механічної обробки поверхонь, також зменшити шкідливий вплив на навколишнє середовище завдяки використанню екологічних мастил та мінімальному їх використанню при охолодженні зони різання.

В діючому технологічному процесі для контролю застосовуються універсальні прилади, що збільшує час вимірювання, а разом з тим і штучний час. Нами запропоновано використовувати спеціалізований вимірювальний та контрольний інструмент.

### 2.5.2. Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення шестерні

Шестерню виготовляють з прокату  $\varnothing 78$  мм. Виготовлення шестерні з прокату вимагає значних припусків на механічну обробку. Хоча даний метод дешевий але наступна механічна обробка вимагає значних затрат на зняття припуску. Коефіцієнт використання металу низький, тому нами запропоновано отримувати заготовку штампуванням.

									Арк.
									33
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ				

Так як припуск, що знімається, зменшився, то відпадає необхідність в деяких операціях механічної обробки, що зменшує кількість верстатів, необхідних для виготовлення шестерні.

Так як шестерня виготовлялася в умовах одиничного виробництва, то при її виготовленні на підприємстві використовувалися стандартні універсальні пристрої, універсальні верстати, різальний інструмент. В умовах дрібносерійного виробництва ми пропонуємо використовувати верстати з ЧПК та спеціалізовані пристрої. «Використання прогресивного різального інструменту дозволяє підвищити швидкість різання, що значно зменшує штучний час виготовлення деталі, а відповідно і затрати енергії, інструменту і т.ін. Це також зменшує собівартість деталі» [10].

## 2.6. Вибір маршрутів обробки поверхонь

При розробленні операційної технології задані для розроблення деталі – боковину і шестерню – будемо розглядати як визначений геометричний комплекс елементарних поверхонь, оброблюваних по типових технологічних схемах з використанням стандартних циклів. При цьому операція, що формується на кожному верстаті буде являти собою комплексне сполучення фрезерних, свердлильних, розточувальних і інших переходів.

У складі боковини можна виділити наступні поверхні:

- 1) головні отвори  $\varnothing 62$  (пов. 4 за рис. 1.2) – квалітет точності 7-й, шорсткість Ra 1,25 мкм;
- 2) отвори під штифти (пов. 14);
- 3) відповідальні фланці (пов. 1, 2) – шорсткість Ra 0,63...2,0 мкм, вимоги до площинності та відносного положення;
- 4) невідповідальні отвори (пов. 3, 5, 6, 7)
- 5) кріпильні отвори з метричною різьбою (пов. 12, 13);
- 6) фаски в отворах та канавки (пов. 8, 9, 11);
- 7) пази (пов. 10).

					<b>ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						34
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Різні поверхні деталі виконують різні функції, тому вимоги до них різноманітні: за точністю, шорсткістю та ін. Забезпечуються ці вимоги використаннями різних технологічних методів оброблення.

Створюючи маршрут оброблення поверхонь, виходимо з того, що кожен наступний метод повинен бути більш точним, ніж попередній.

Кількість ступенів оброблення визначаємо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_d} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_3}{T_2} \dots \frac{T_{i-1}}{T_i} \dots \frac{T_{n-1}}{T_d} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \dots \varepsilon_n = \prod_i^n \varepsilon_i \quad (2.8)$$

де  $\varepsilon$  – загальне значення;

$\varepsilon_i$  – окремі ступені уточнення;

$n$  – число ступенів оброблення;

$T_3, T_d, T_i$  – відповідно допуски для заготовки, деталі, окремого ( $i$ -го) ступеня оброблення.

Розкладаючи загальне значення на співмножники, ураховуємо типові рекомендації: для першого ступеня чорнового оброблення досяжними є величини уточнення  $\varepsilon \leq 6$ ; для проміжних ступенів напівчистового оброблення  $\varepsilon = 3 \dots 4$ ; для ступенів чистового оброблення  $\varepsilon = 1,5 \dots 2$ .

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів оброблення застосовуємо формулу:

$$n = \frac{\lg \varepsilon}{0,46} \quad (2.9)$$

Далі в таблиці 2.4 наведені можливі варіанти маршрутів оброблення поверхонь боковини у зв'язку з проведеною класифікацією (номер поверхні за рисунком 1.2 відповідає номеру за списком у таблиці 2.4). У таблиці 2.5 наведені можливі варіанти маршрутів оброблення поверхонь шестерні у зв'язку з проведеною класифікацією (номер поверхні за рисунком 1.3 відповідає номеру за списком у таблиці 2.5).

						ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк. 35
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Із запропонованих у таблицях 2.4 і 2.5 вибираємо такий варіант переходу маршруту обробки кожної поверхні, який буде найбільш економічно обґрунтованим. При цьому ми враховуємо характеристики металорізального обладнання, на якому будуть оброблюватися деталі, для яких розроблюються технологічні процеси механічного оброблення у даній кваліфікаційній роботі.

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 – Можливі маршрути оброблення поверхонь боковини

№ поверхні	Квалітет	Допуск, мм	Шорсткість Ra, мкм	Допуск заготовки δз, мм	Квалітет заготовки	Загальне уточнення ε = δз/δд	Можливі маршрути оброблення поверхонь		Квалітет після оброблення	Шорсткість Ra, мкм після обробки	Досягнутий допуск	Проміжний ступінь уточнення	Загальне уточнення ε
							№ маршрута	Перехід					
1	8	0,1	2,0	1,6	15	16	1	Чорнове фрезерування	11	12,5	0,25	4,0	
								Чистове фрезерування	9	6,3	0,1	2,5	
								Шліфування	8	1,6	0,063	1,16	15,87
							2	Чорнове фрезерування	11	12,5	0,25	4,0	
								Чорнове шліфування	9	6,3	0,1	2,5	
								Чистове шліфування	8	1,6	0,063	1,16	15,87
							3	Чорнове протягування	11	6,3	0,25	4,0	
								Чистове протягування	8	1,6	0,063	3,96	15,84
							2	8	0,1	0,63	1,6	15	16
Чистове фрезерування	9	6,3	0,1	2,5									
Шліфування	8	1,6	0,063	1,16	15,87								
2	Чорнове фрезерування	11	12,5	0,25	4,0								
	Чорнове шліфування	9	6,3	0,1	2,5								
	Чистове шліфування	8	1,6	0,063	1,16	15,87							
3	Чорнове протягування	11	6,3	0,25	4,0								
	Чистове протягування	8	1,6	0,063	3,96	15,84							
3	14	0,2	20	1,2	15	6							
							Розсвердлювання	12	10	0,2	2,5	6	
4	7	0,04	1,6	1,15	15	28,75	1	Свердління	13	20	0,35	4,25	
								Напівчистове розточування	11	12,5	0,29	3,97	
								Чистове розточування	9	3,2	0,115	2,52	
								Тонке розточування	7	1,6	0,04	2,87	28,71
							2	Свердління	13	20	0,35	4,25	
								Напівчистове розточування	11	12,5	0,29	3,97	
								Чистове розточування	9	3,2	0,115	2,52	
								Шліфування планетарне	7	1,6	0,04	2,87	28,71
5,6	14	0,2	20	1,2	15	6	1	Свердління	14	20	0,5	2,4	
								Розсвердлювання	12	10	0,2	2,5	6
7, 8, 9	14	0,2	20	1,2	15	6	2	Свердління	14	20	0,35	3,25	
								Напівчистове розточування	11	12,5	0,29	2,17	6,1
10	14	0,16	20	1,0	15	6,25	1	Фрезерування концевою фрезою	14	20	0,16	6,25	6,25
11	14	0,16	20	1,0	15	6,25	1	Розточування	14	20	0,16	6,25	6,25
12, 13	7	0,021	2,5	0,7	15	33,3	1	Свердління	11	12,5	0,13	5,38	
								Нарізання різьби мітчиком	6	3,2	0,021	6,19	33,3
14	7	0,021	1,25	0,52	15	24,76	1	Свердління	12	12,5	0,13	4,0	
								Зенкерування	9	3,2	0,052	2,5	
								Розвертання	7	1,25	0,021	2,48	24,76
15, 16	8	0,1	1,25	1,0	15	10	1	Напівчистове розточування	11	12,5	0,29	3,97	
								Чистове розточування	9	3,2	0,115	2,52	10

Таблиця 2.5 – Можливі маршрути оброблення поверхонь шестерні

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ		Арк.
							37
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

№ поверхні	Квалітет	Допуск, мм	Шорсткість Ra, мкм	Допуск заготовки δз, мм	Квалітет заготовки	Загальне уточнення ε = δз/δд	Можливі маршрути оброблення поверхонь		Квалітет після оброблення	Шорсткість Ra, мкм після обробки	Досягнутий допуск	Проміжний ступінь уточнення	Загальне уточнення ε
							№ маршрута	Перехід					
1	11	80	3,2	120	12	1,5	1	Одноразове протягування	11	3,2	80	1,5	1,5
							2	Стругання	11	4,0	80	1,5	1,5
2	11	170	6,3	260	12	1,53	1	Одноразове протягування	11	6,3	170	1,53	1,53
							2	Стругання	11	6,3	170	1,53	1,53
3	8	54	1,6	350	12	6,5	1	Чорнове точіння	10	6,3	180	2,9	
								Чистове точіння	8	1,6	54	2,2	6,4
							2	Чорнове точіння	10	6,3	180	2,9	
								Шліфування	8	1,6	54	2,2	6,4
4	7	27	1,6	270	12	10	1	Чорнове точіння	9	6,3	62	4,3	
								Чистове точіння	7	1,6	27	2,3	9,9
							2	Чорнове точіння	9	6,3	62	4,3	
								Шліфування	7	1,6	27	2,3	9,9
5	9	60	1,6	260	12	4,3	1	Чорнове точіння	10	6,3	110	2,6	
								Чистове точіння	9	3,2	60	1,6	4,16
							2	Чорнове фрезерування	10	6,3	100	2,6	
								Чистове фрезерування	9	3,2	60	1,6	4,16
6	12	110	6,3	110	12	1	1	Одноразове фрезерування	12	6,3	110	1	1
							2	Одноразове точіння	12	6,3	100	1	1
7	12	100	6,3	100	12	1	1	Одноразове фрезерування	12	6,3	110	1	1
							2	Одноразове точіння	12	6,3	100	1	1

## 2.7. Вибір схеми базування

Вибір технологічних баз та послідовності оброблення поверхонь заготовки є найбільш відповідальним етапом розроблення технологічного процесу. Правильність прийняття рішення на цьому етапі технологічного проектування визначає досягнення необхідної точності деталі у процесі її виготовлення та економічність технологічного процесу.

Вибір схем базування ведемо згідно з послідовністю виконання технологічного процесу, дотримуючись принципів єдності та сталості баз, а також дотримуючись ДСТУ 21495-87 "Базы и базирование в машиностроении".

На операції 015 Фрезерній заготовка базується (див. рис. 2.2) по необробленим боковій поверхні (подвійна напрямна база, опорні точки 4, 5), фланцю (встановлювальна база, опорні точки 1,2 та 3). Орієнтація заготовки здійснюється за допомогою опорної бази (опорна точка 6).

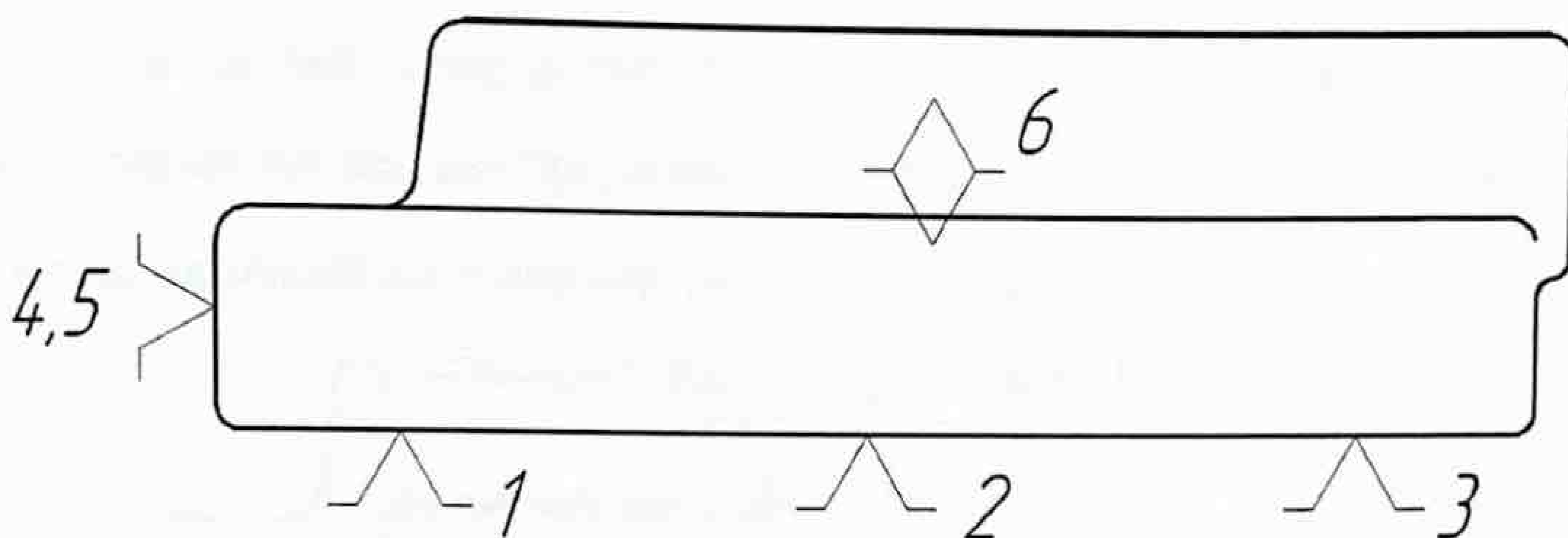


Рисунок 2.2 – Базування боковини на операції 015

На операції 020 Фрезерно-свердлильній заготовка базується (див. рис. 2.3) по необробленій боковій поверхні (подвійна напрямна база, опорні точки 4, 5), профрезерованому фланцю (встановлювальна база, опорні точки 1,2 та 3). Орієнтація заготовки здійснюється за допомогою опорної бази (опорна точка 6). На цій же операції оброблюються два технологічних отвори  $\varnothing 10$  для встановлення і базування деталі на подальших операціях. Технологічні отвори ліквідуються під час свердління отворів під штифти (пов. 14 за рис. 1.2).

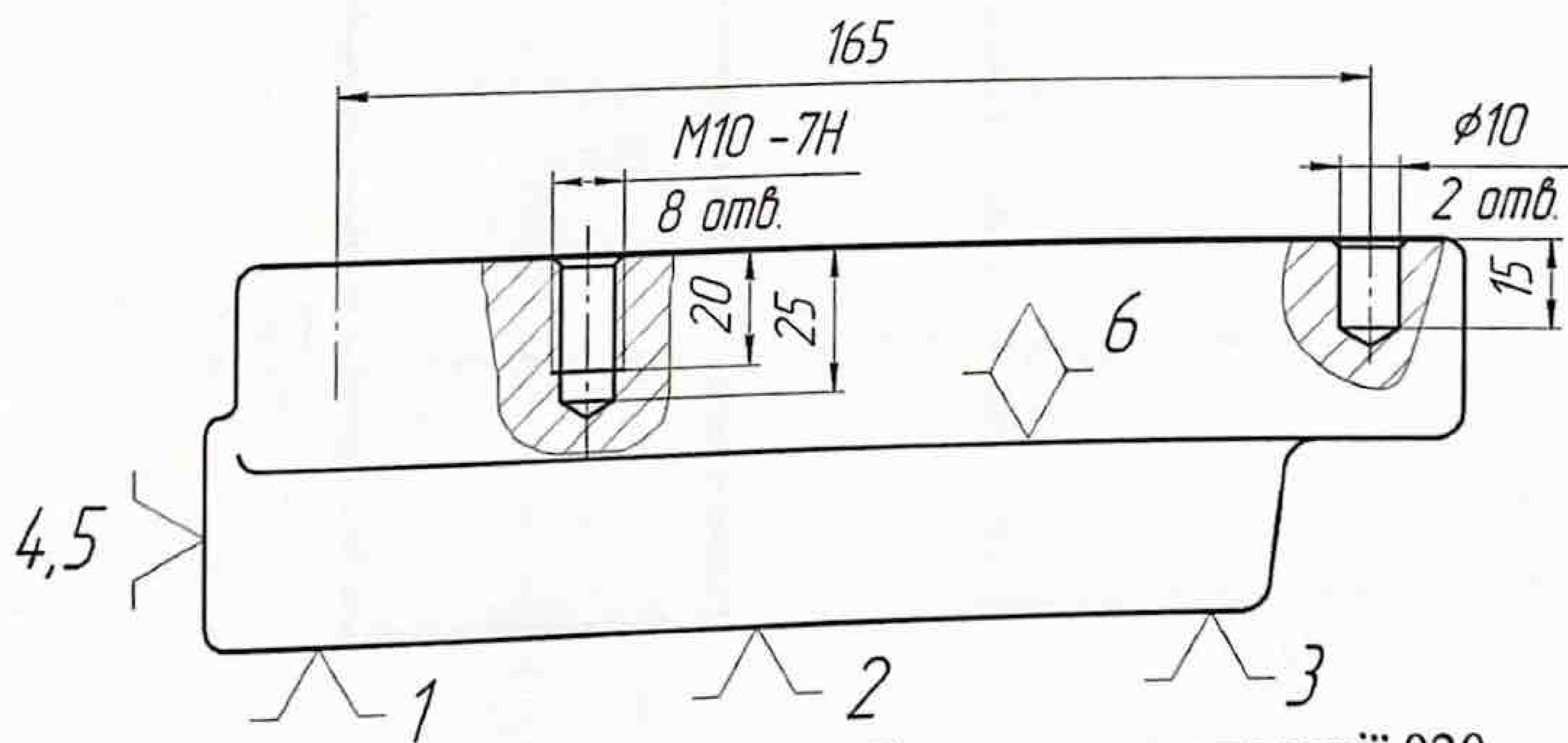


Рисунок 2.3 – Базування боковини на операції 020

При обробленні деталі на верстатах з ЧПК у гнучкому виробництві заготовка встановлюється на пристосуванні-супутнику і оброблення здійснюється з одного встановлення. Схема базування заготовки (див. рис. 2.4) – по площині та двом отворах. В даному випадку встановлювальною базою є площина лап (опорні точки 1,2 та 3), подвійною напрямною базою є отвір, встановлений на циліндричний палець (опорні точки 4,5), опорна база – отвір, встановлений на зрізаний палець (опорна точка 6).



Рисунок 2.4 – Базування боковини на операції 025

Схема базування шестерні показана на рисунку 2.5. Спочатку оброблюється центральний отвір – чистова база. Наступна обробка відбувається при встановленні на оправці.

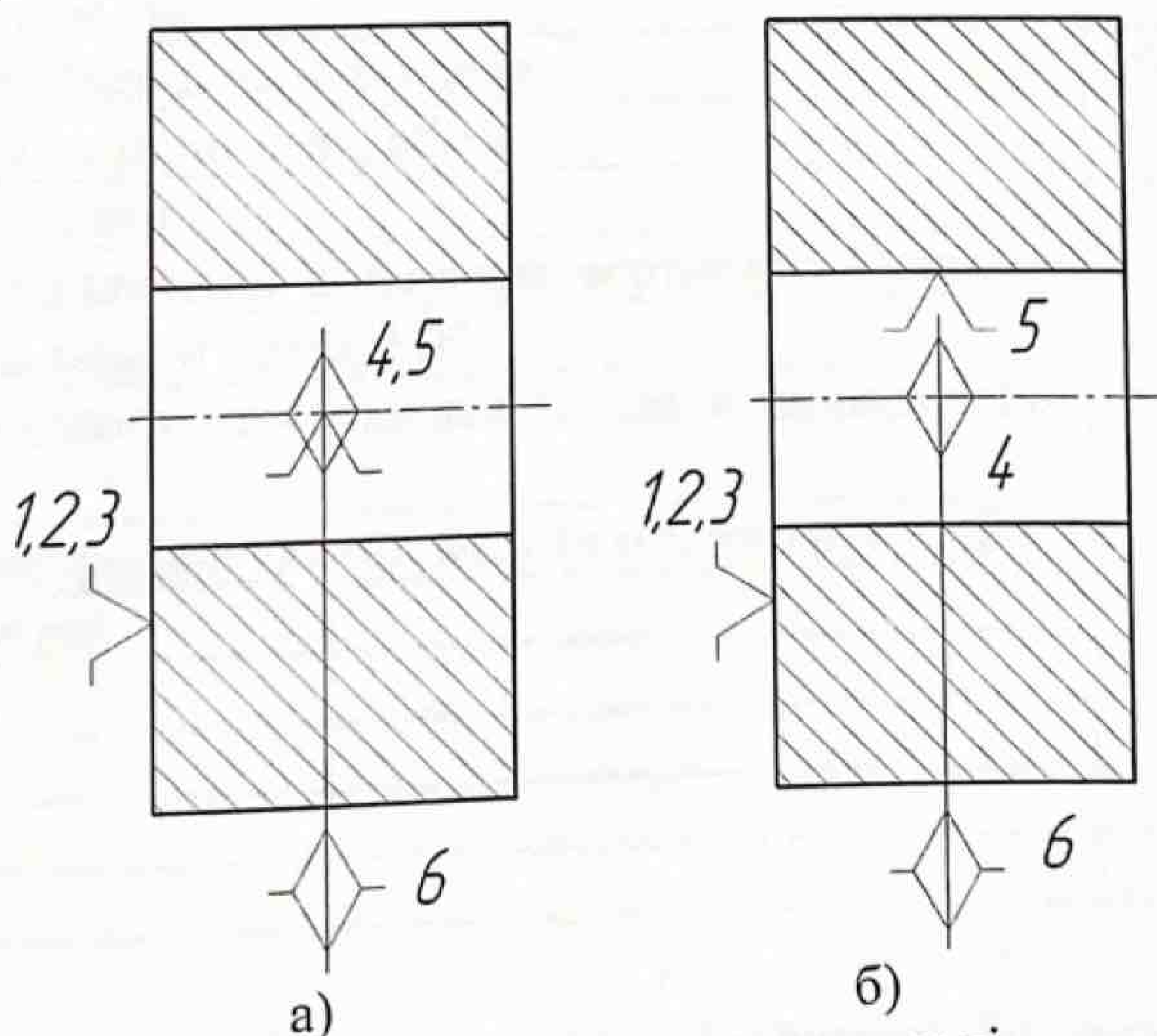


Рисунок 2.5 – Базування шестерні  
а – у трикулачковому патроні, б – на оправці

## 2.8. Вибір металорізального обладнання

Для оброблення деталі "боковина" на операціях 020 і 025 приймаємо вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПК моделі 2254ВМ-Ф4, технічна характеристика якого представлена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика верстата мод. 2254ВМ-Ф4

Параметри	Значення, мм
Розміри робочої поверхні стола	630 x 400
Найбільша маса оброблюваної заготовки, кг	250
Найбільші переміщення:	
стола:	
поздовжнє	500
поперечне	500
шпиндельної голівки:	500
(бабки) вертикальне:	
Відстань від торця шпинделя до робочої поверхні стола	90-590
Конус отвору шпинделя (за ДСТУ 15945-82)	50
Місткість інструментального магазину, шт	30
Найбільший діаметр інструмента, що завантажується в магазин:	
без пропуску гнізд	80
із пропуском гнізд	160
Число ступенів обертання шпинделя	безступінчасте
Частота обертання шпинделя, об/хв	32-2000
Число робочих подач	безступінчасте
Робочі подачі (поздовжня, поперечна, вертикальна), мм/хв	1-4000
Найбільша сила подачі стола, МН	10
Швидкість швидкого переміщення (стола й шпиндельної бабки), мм/хв	10000
Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт	6,3
Габаритні розміри:	
довжина	4300
ширина	3500
висота	3800
Маса, кг	6500

Металорізальне обладнання для оброблення деталей, обраних для детального розроблення технологічних процесів приймаємо за довідковою

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк. 41
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

літературою [4, 5]. При цьому технічні характеристики обраного металорізального обладнання повинні задовольняти вимоги, що ставляться під час виконання переходів технологічних операцій оброблення деталей. Обране металорізальне обладнання наведено у таблицях 2.8 і 2.9.

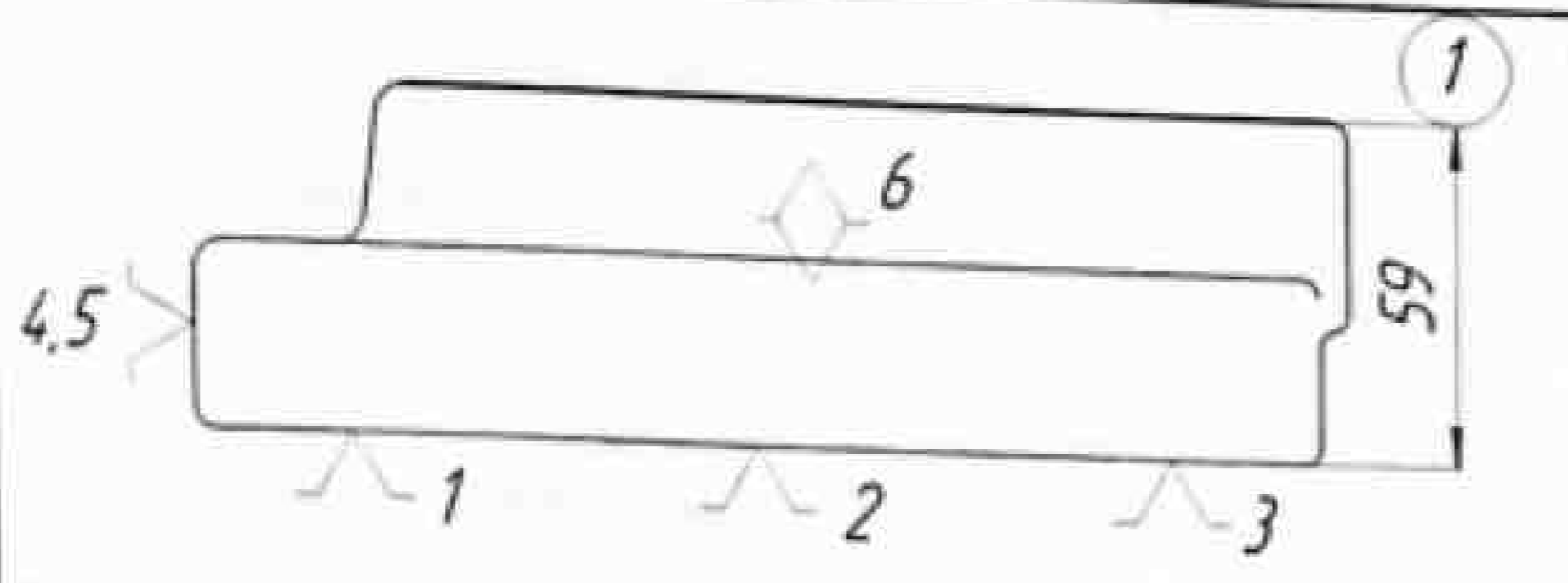
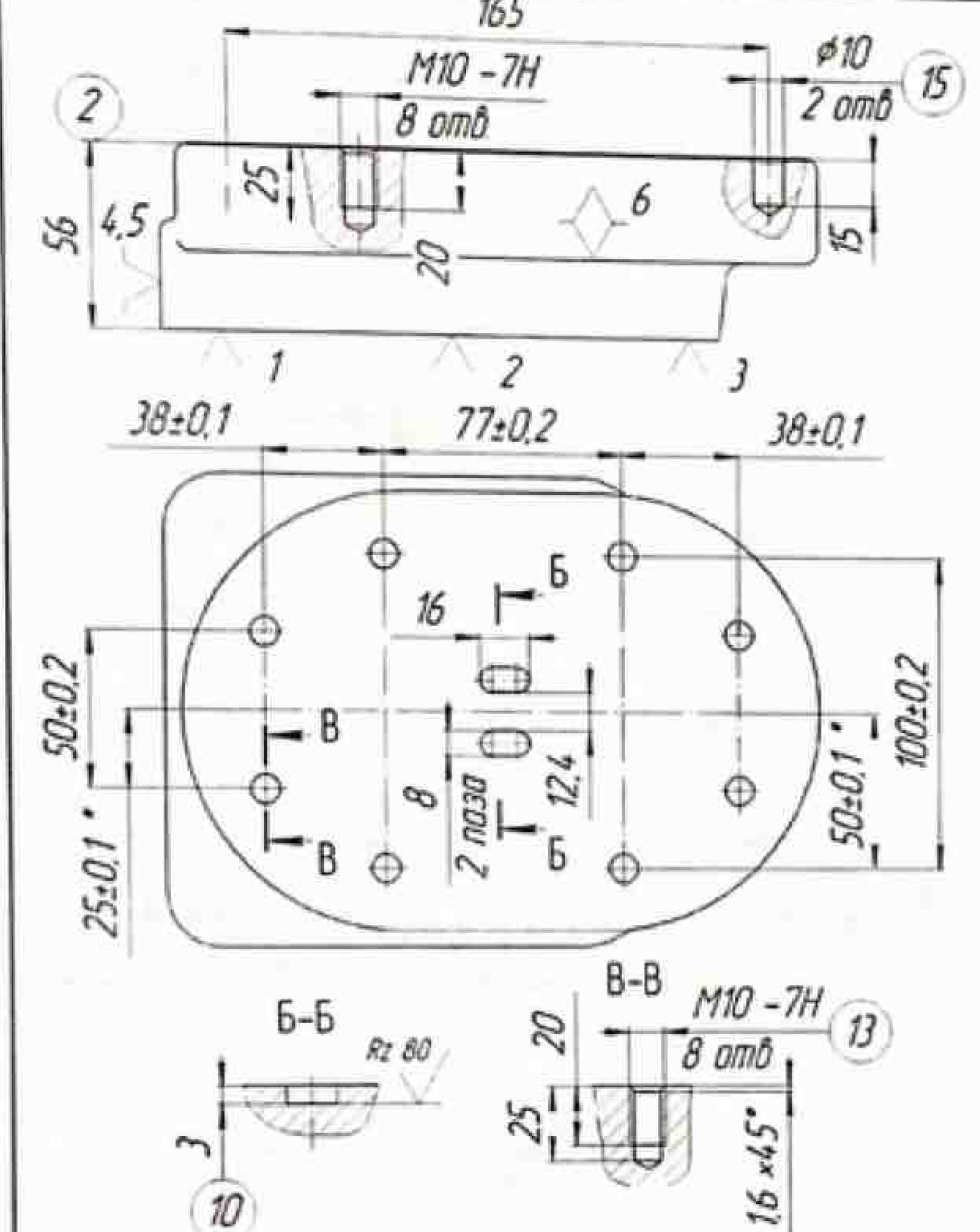
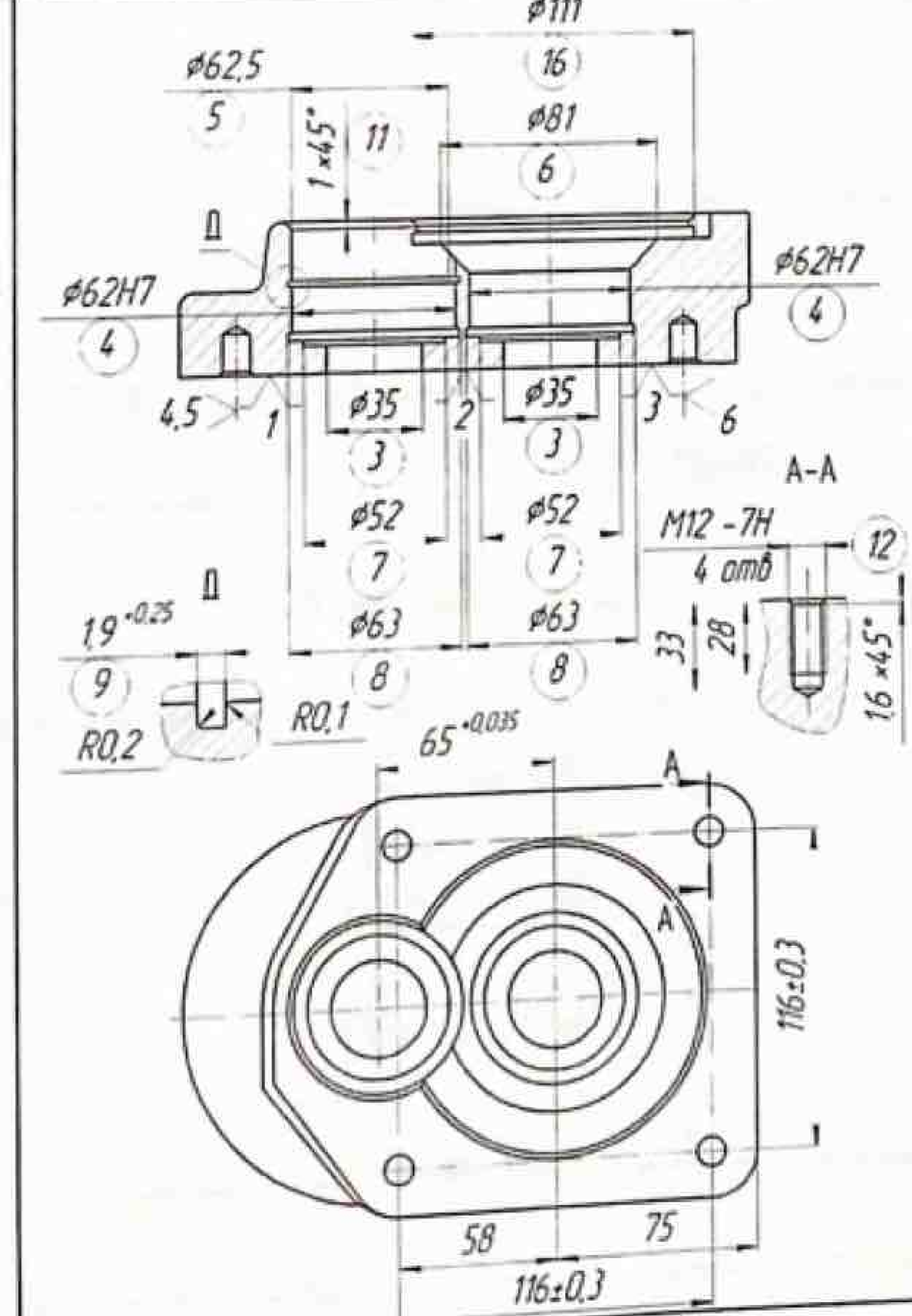
## 2.9. Розроблення структури та змісту технологічних операцій обробки деталей

Під час розроблення змісту і порядку операцій технологічних процесів керуємося таблицями 2.4 і 2.5. При цьому з декількох можливих варіантів оброблення поверхні ми обираємо той, що забезпечить зниження технологічної собівартості деталі при забезпеченні необхідних параметрів точності і шорсткості оброблюваних поверхонь деталей.

Структура та зміст технологічних операцій оброблення деталей "боковина" і "шестерня" наведені у таблицях 2.8 і 2.9 відповідно.

Таблиця 2.8 – Структура та зміст технологічних операцій оброблення деталі "боковина"

№ операції	Найменування та модель верстата	Ескіз оброблення	Зміст переходів оброблення
005 Заготівельна			Литво в пісчано-глинисті форми, вилівок класу точності 7Т-12 ДСТУ 26645-85
010 Термічна	Піч камерна		Низькотемпературне відпалювання: нагрівання до 500...600°C зі швидкістю 50...150°C/год, витримка на протязі 2,5...5 год та охолодження до 250...300°C зі швидкістю 50...150°C/год

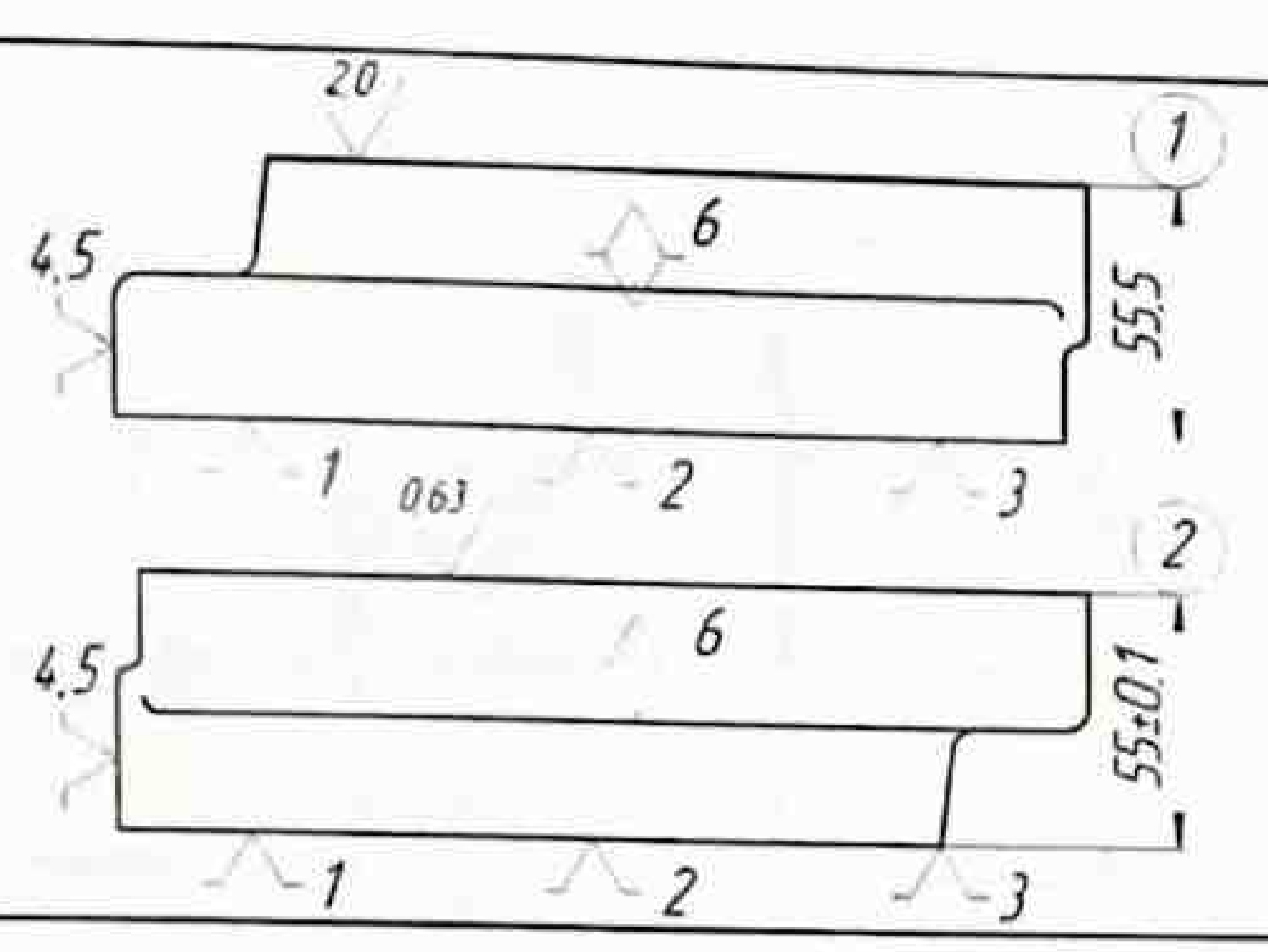
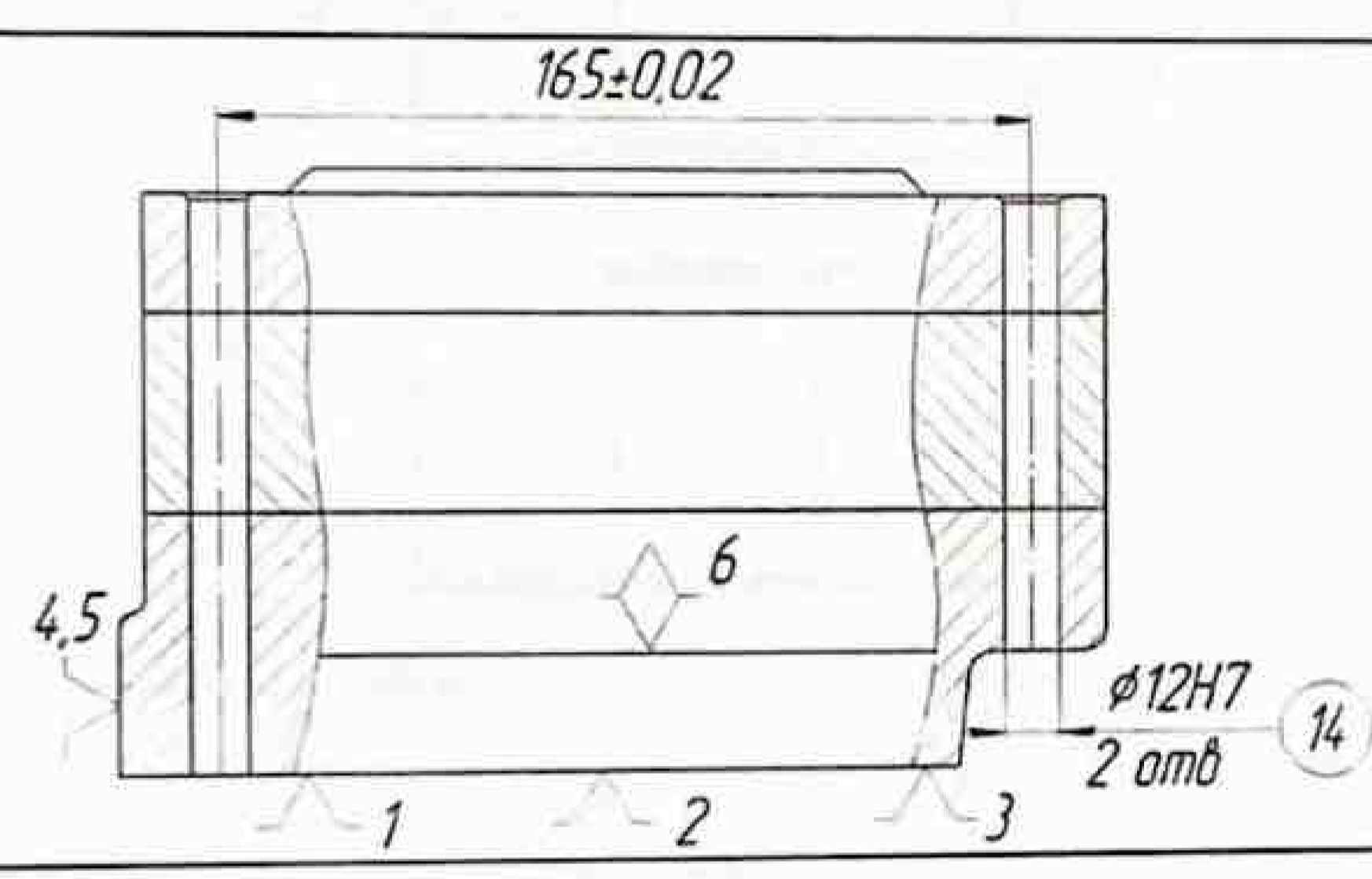
№ операції	Найменування та модель верстата	Ескіз оброблення	Зміст переходів оброблення
015 Фрезерна	Горизонтально-фрезерний мод. 6P80 Лещата ДСТУ 14904-80		<b>Встановити, зняти заготовку</b> 1. Фрезерувати фланець пов.1 начорно 2. Фрезерувати фланець пов.1 начисто
020 Фрезерно-свердлильна	Вертикальний свердильно-фрезерно-розточний з ЧПК мод. 2254ВМ-Ф4  Пристосування затискне універсальне		<b>Встановити, зняти заготовку</b> 1. Фрезерувати фланець пов.2 начорно 2. Фрезерувати фланець пов.2 начисто 3. Фрезерувати 2 паза пов.10 4. Свердлити 2 технологічні отвори пов.15 5. Свердлити 8 отворів пов.13 із зняттям фасок 6. Нарізати різьбу в 8 отворах пов.13
025 Свердильно-розточна	Вертикальний свердильно-фрезерно-розточний з ЧПК мод. 2254ВМ-Ф4  Пристосування-супутник		<b>Встановити, зняти деталь</b> 1. Свердлити 2 отвори пов.3 2. Розсвердлити 2 отвори пов.3 до Ø35 3. Розточити начорно 2 отвори пов.4 4. Розточити начисто 2 отвори пов.4 5. Розточити отвори пов.5, 6, 7 6. Розточити канавки пов.8, 9, 16 7. Зняти фаску пов.11 8. Тонке розточування двох отворів пов.4 9. Свердлити 4 отвори під різьбу пов.12 із зняттям фасок 10. Нарізати різьбу в 4 отворах пов.12

ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ

Арк.

43

Зм Арк. № докум. Підпис Дата

№ операції	Найменування та модель верстата	Ескіз оброблення	Зміст переходів оброблення
030 Плоскошліфувальна	Плоскошліфувальний мод. 3E711B  Плита магнітна ДСТУ 16528-78		<b>Встановити, зняти деталь</b> 1. Шліфувати фланець пов.1 <b>Перевстановити заготовку</b> 2. Шліфувати фланець пов.2 начорно 3. Шліфувати фланець пов.2 начисто
035 Слюсарна	Верстак слюсарний		Зібрати деталь "боковина" ДП.501МТ.12-00.00.006 з деталями "корпус шестеренного насоса" ДП.501МТ.12-00.00.003 і "кришка шестеренного насоса" ДП.501МТ.12-00.00.004
040 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний мод. 2P135Ф2-1  Лещата ДСТУ 14904-80		<b>Встановити, зняти деталь</b> 1. Свердлити 2 отвори пов. 14 під штифти 2. Зенкерувати 2 отвори пов. 14 під штифти 3. Розвернути 2 отвори пов. 14 під штифти
045 Слюсарна	Верстак слюсарний		1. Розібрати корпус шестеренного насоса 2. Зняти фаски у 2 отв. пов.14.
050 Мийна	Мийна машина		Промити деталь
055 Контрольна	Вимірювальний інструмент		Контролювати параметри точності виготовлення деталі

Таблиця 2.9 – Структура та зміст технологічних операцій оброблення деталі "шестерня"

№ операції	Найменування та модель верстата	Ескіз оброблення	Зміст переходів оброблення
005 Заготівельна	Прес вертикальний		Штампування заготовки
010 Термічна	Піч камерна		Нормалізація й відпуск

ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ

Арк.

44

Зм Арк. № докум. Підпис Дата

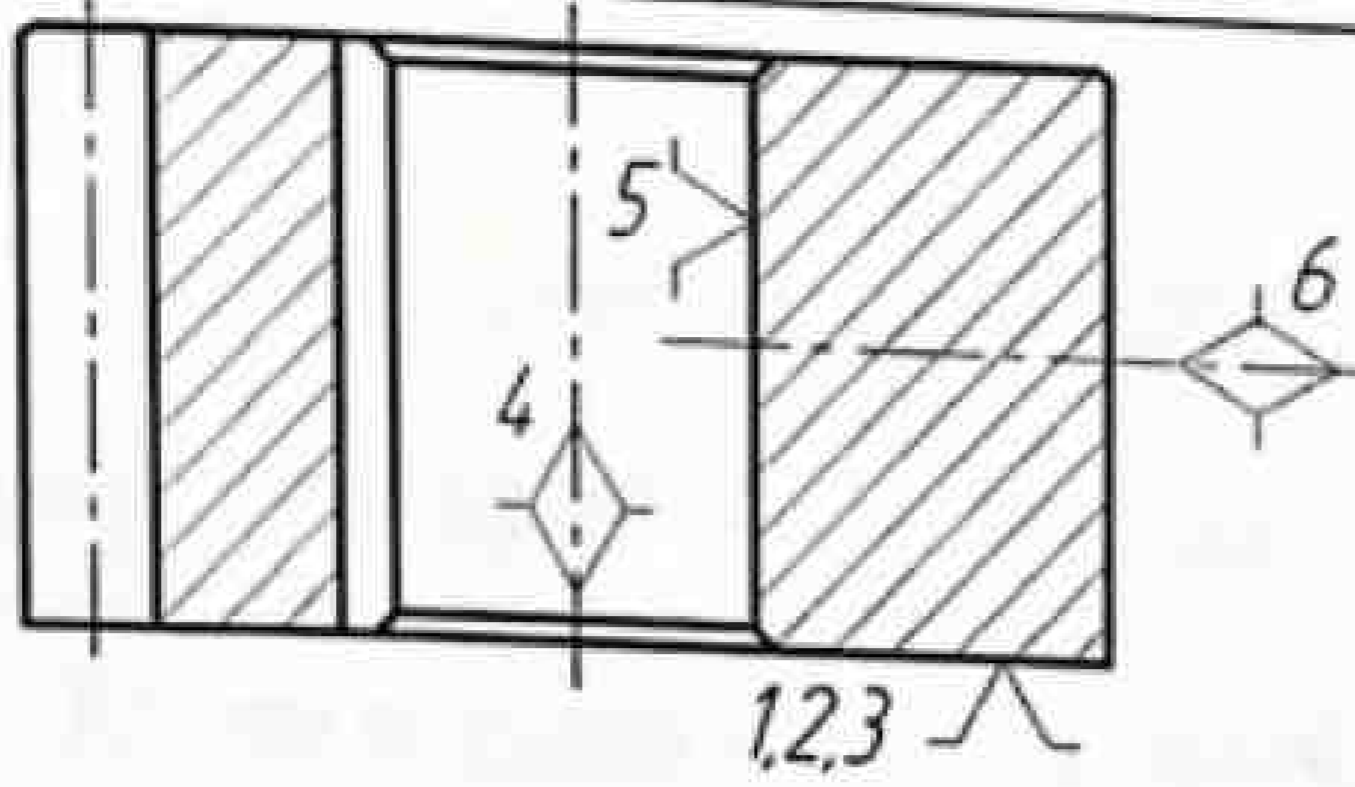
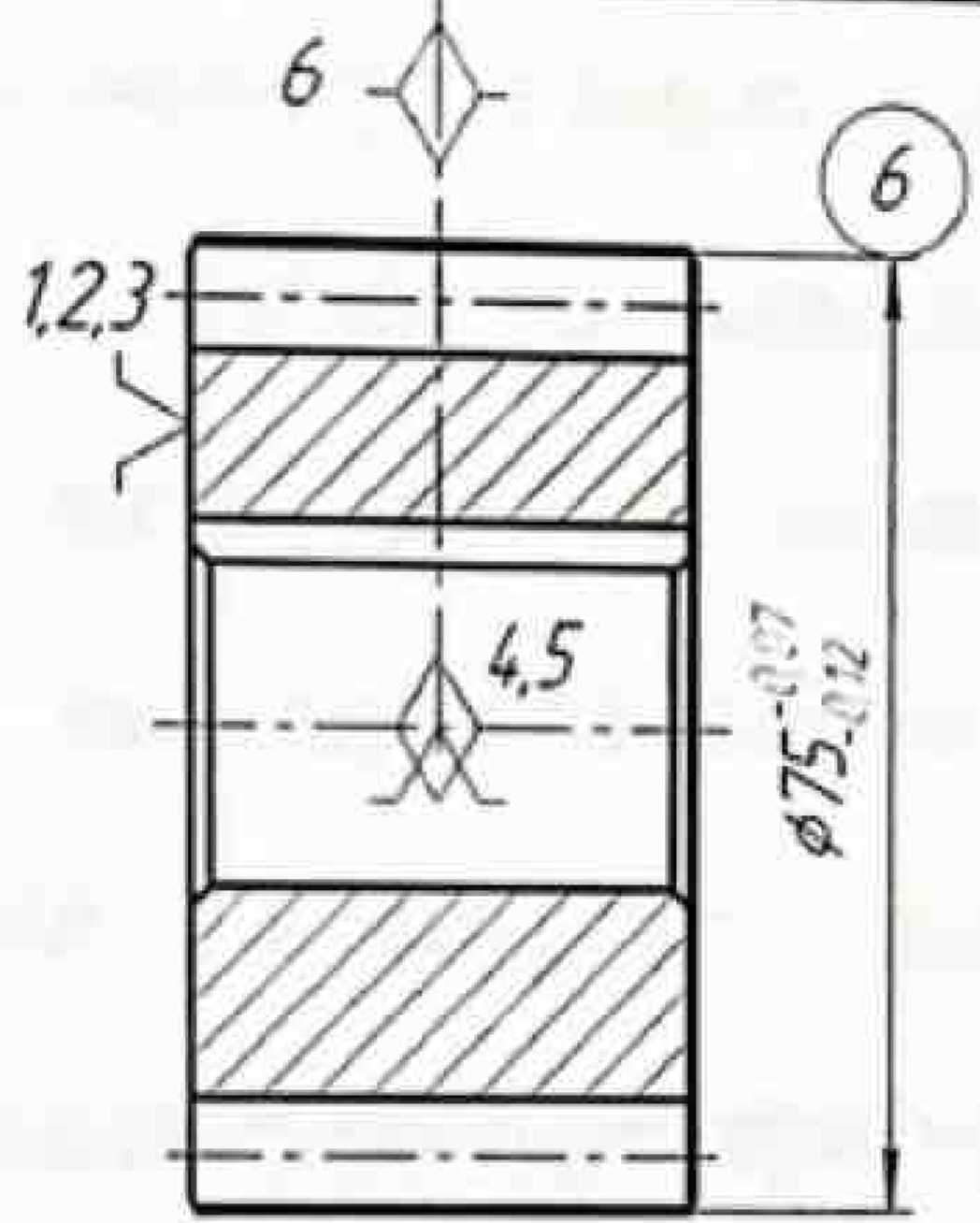
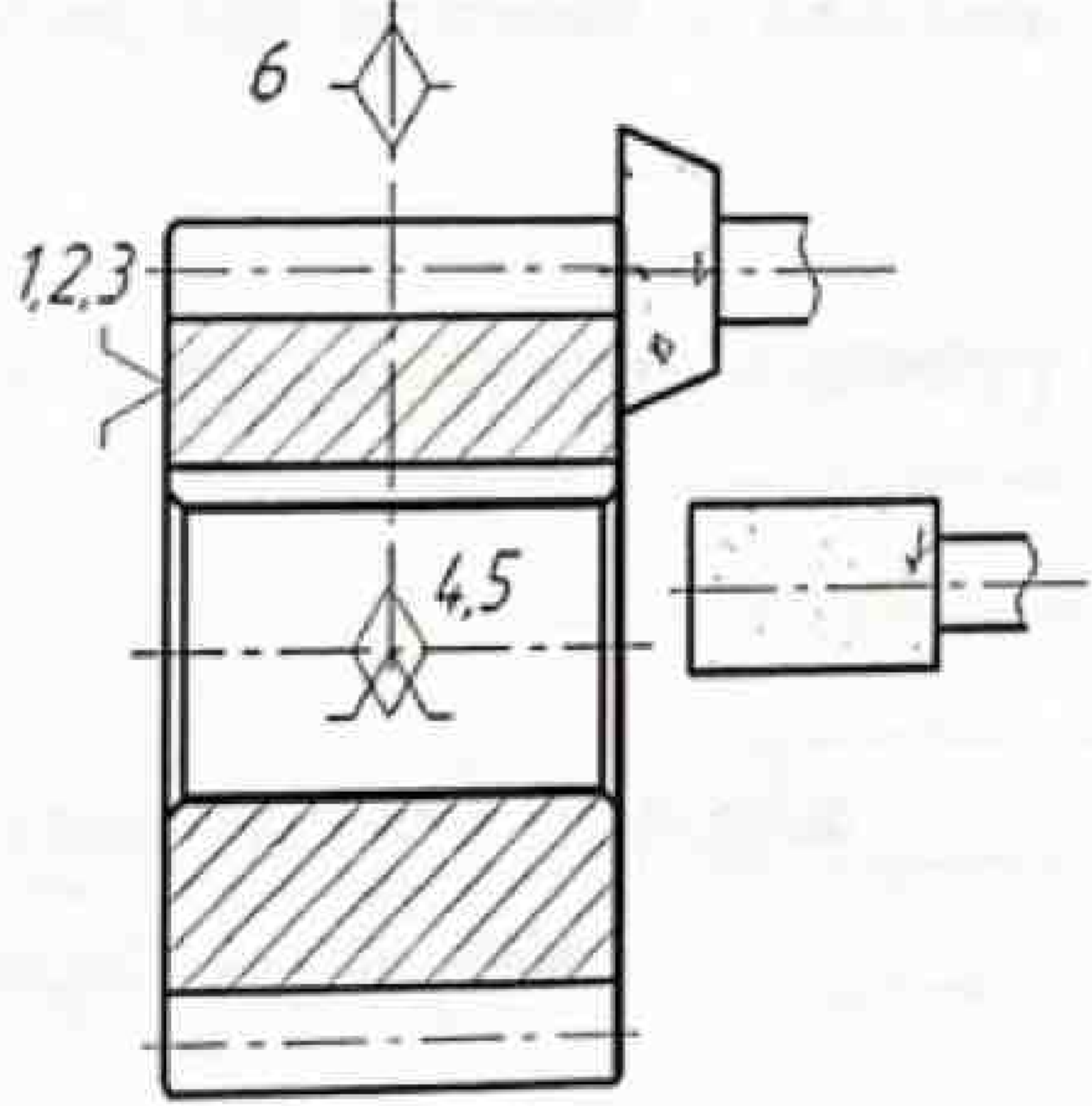
№ операції	Найменування та модель верстата	Ескіз оброблення	Зміст переходів оброблення
015 Токарна	Токарно-гвинторізний з ЧПК мод. 16К20Ф3  Патрон D160 7100-0005 ДСТУ 2675-80		<b>Встановити, зняти заготовку</b> 1. Підрізати торець пов.1 із зняттям фаски пов.3 2. Розточити отвір пов.5 начорно із зняттям фаски пов.2 <b>Перевстановити заготовку</b> 3. Підрізати торець пов.4 із зняттям фаски пов.3 4. Розточити отвір пов.5 повторно із зняттям фаски пов.2
020 Плоскошліфувальна	Плоскошліфувальний мод. 3Е711В  Плита магнітна ДСТУ 16528-78		<b>Встановити, зняти заготовку</b> 1. Шліфувати фланець пов.1 начорно <b>Перевстановити заготовку</b> 2. Шліфувати фланець пов.4 начорно
025 Розточна	Розточний напівавтомат мод. 2706П  Патрон D160 7100-0005 ДСТУ 2675-80		<b>Встановити, зняти заготовку</b> 1. Чистове розточування отвору пов.5 з точністю по 7-му квалітету
030 Протягувальна	Протяжний напівавтомат мод. 7Б66 Патрон затискний ДСТУ 2688-85		<b>Встановити, зняти заготовку</b> 1. Протягнути шпонковий паз
035 Слюсарна	Верстак слюсарний		Зачистити фаски на торцях шпонкового паза
040 Токарна	Токарно-гвинторізний з ЧПК мод. 16К20Ф3  Оправка 7112-0851 d-20-30 ДСТУ 17528-72		<b>Встановити, зняти набір заготовок</b> 1. Чистове обточування пов.6

ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ

Арк.

45

Зм Арк. № докум. Підпис Дата

№ операції	Найменування та модель верстата	Ескіз оброблення	Зміст переходів оброблення
045 Зубонарізна	Зубофрезерний напівавтомат мод. 53A10  Оправка d-20-25 ДСТУ 17631-75		Встановити, зняти заготовку 1. Нарізати зубчастий вінець
050 Термічна			Цементация, загартовування, відпускання
055 Шліфувальна	Торце-круглошліфувальний мод. 3Т153Е  Оправка d-20-25 ДСТУ 17631-75		Встановити, зняти заготовку 1. Шліфувати протибазовий торець і поверхню зубчастого вінця на центровій оправці
060 Шліфувальна	Внутрішшліфувальний з двома кругами мод. 3К228В  Патрон D160 7100-0005 ДСТУ 2675-80		Встановити, зняти заготовку 1. Шліфувати базовий торець і отвір
065 Зубошліфувальна	Зубошліфувальний з черв'ячним шліфувальним кругом мод. 5В833		Встановити, зняти заготовку 1. Шліфувати зубці
070 Мийна	Мийна машина		Промити деталь
075 Контрольна			Контролювати параметри точності виготовлення деталі

## 2.10. Інструментальне оснащення для оброблення деталей в умовах автоматизованого виробництва

За основу організації інструментального оснащення для оброблення деталей приймаємо агрегатно-модульний принцип. В основу цього методу покладене розділення різального та допоміжного інструменту на уніфіковані елементи (модулі). Із них складається необхідний різальний інструмент для оброблення деталей.

При обробленні застосовується стандартний та спеціальний різальний інструмент. До інструменту ставляться підвищені вимоги по точності, жорсткості, швидкості заміни та наладки на розмір, стійкості, надійності. Інструмент, що входить до системи уніфікованої інструментального оснащення, дозволяє виконувати всі основні види оброблення поверхонь деталей. Стандартний комплект інструментів враховує можливість оброблення на свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті базової деталі із параметрами, що вказані у таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Параметри комплекту різального інструменту

Габарит, мм	760×492×560
Точність:	
Діаметру розточуваних отворів	H7
Міжосевих відстаней, мм	0,136
Відхилення:	
Від співвісності	0,040
Від паралельності осей отворів	0,042
Максимальна довжина розточуваного з одного установка отвору, мм	326
Діаметр розточуваних отворів, мм	
мінімальний	15
середній	125
максимальний	300
Число осей розточуваних отворів	6

ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ

Арк.

47

Зм Арк. № докум. Підпис Дата

Різальний інструмент, необхідний для оброблення деталей вибираємо за [4] та заносимо до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Різальний інструмент для оброблення деталей

Номер		Найменування інструменту	Стандарт		Різальна частина	
Операції	Переходу		Код	Стандарт	Матеріал	Стандарт
<b>БОКОВИНА</b>						
015	1	Фреза дискова Ø100 з механічним закріпленням 5-тигранних твердосплавних пластин	2240-0836	ДСТУ 22085-76	ВК8	ДСТУ 3882-83
	2	Фреза дискова Ø100 з механічним закріпленням 5-тигранних твердосплавних пластин	2240-0832	ДСТУ 22085-76	ВК6	ДСТУ 3882-83
002 0	1	Фреза торцева насадна Ø100 з механічним закріпленням 5-тигранних твердосплавних пластин	2240-0815	ДСТУ 22085-76	ВК8	ДСТУ 3882-83
	2	Фреза торцева насадна Ø100 з механічним закріпленням 5-тигранних твердосплавних пластин	2240-0825	ДСТУ 22085-76	ВК6	ДСТУ 3882-83
	3	Фреза концева для шпонкових пазів Ø8	2223-1015	ДСТУ 17026-71	P6M5	ДСТУ 19265-73
	4	Свердло твердосплавне Ø10	2301-1721	ДСТУ 22736-77	ВК8	ДСТУ 3882-83
	5	Свердло Ø8,5 твердосплавне	2301-2606	ДСТУ 22735-77	ВК8	ДСТУ 3882-83
	6	Зенківка фасочна Ø30	2350-0118	ДСТУ 21587-76	P6M5	ДСТУ 19265-73
	7	Мітчик M10-7H	2620-2623	ДСТУ 3266-81	P6M5	ДСТУ 19265-73
025	1	Свердло твердосплавне Ø15	2301-1721	ДСТУ 22736-77	ВК8	ДСТУ 3882-83
	2	Свердло твердосплавне Ø35	2301-1721	ДСТУ 22736-77	ВК8	ДСТУ 3882-83
	3	Головка розточувальна Ø60	6039-0010	ОСТ 423-1-76	ВК8	ДСТУ 3882-83
	4	Головка розточувальна Ø61	6039-0012	ОСТ 423-1-76	ВК6	ДСТУ 3882-83
	5	Головка розточувальна збірна Ø52/Ø62/Ø62,5	6039-0022	ОСТ 423-1-76	ВК8	ДСТУ 3882-83
	6,7	Пристрій для розточування канавок	6039-0356	ОСТ 456-3-78	ВК8	ДСТУ 3882-83
	8	Головка розточувальна Ø62H7	6039-0125	ОСТ 423-1-76	ВК6	ДСТУ 3882-83
	9	Свердло Ø10,5 твердосплавне	2301-2606	ДСТУ 22735-77	ВК8	ДСТУ 3882-83
	9	Зенківка фасочна Ø30	2350-0119	ДСТУ 21587-76	P6M5	ДСТУ 19265-73
	10	Мітчик M12-7H	2620-2625	ДСТУ 3266-81	P6M5	ДСТУ 19265-73
030	1,3	Круг шліфувальний ПП150x40x20 24А 10-П СМ1 7 К5 30 м/хв А1	5030-1025	ДСТУ 2424-83	ЭК	ДСТУ 21445-84
	2	Круг шліфувальний ПП150x40x20 24А 10-П СМ3 7 К5 30 м/хв А1	5030-1030	ДСТУ 2424-83	ЭК	ДСТУ 21445-84
040	1	Свердло Ø11	2301-2625	ДСТУ 22735-77	P6M5	ДСТУ 19265-73
	2	Зенкер Ø11,6	2350-0125	ДСТУ 21587-76	P6M5	ДСТУ 19265-73
	3	Розвертка 12H7	2620-2623	ДСТУ 3266-81	P6M5	ДСТУ 19265-73
<b>ШЕШТЕРНЯ</b>						
015	1,3	Різець 20x12	2112-0033	ДСТУ 18871-73	T15K6	ДСТУ 3882-83
	2,4	Різець 10x10	2142-0560	ДСТУ 10044-73	T15K6	ДСТУ 3882-83
020	1,2	Круг шліфувальний ПП150x40x20 24А 10-П СМ1 7 К5 30 м/хв А1	5030-1025	ДСТУ 2424-83	ЭК	ДСТУ 21445-84
			2145-0631	ДСТУ 25987-83	ВК6	ДСТУ 3882-83
025	1	Різець розточний	2405-1064	ДСТУ 18217-80	P6M5	ДСТУ 19265-73
030	1	Протяжка b7x3,3 Js9	2100-0013	ДСТУ 18878-73	ВК6	ДСТУ 3882-83
040	1	Різець 20x12				

ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ

Арк.

48

Зм Арк. № докум. Підпис Дата

Номер		Найменування інструменту	Стандарт		Різальна частина	
Операції	Переходу		Код	Стандарт	Матеріал	Стандарт
045	1	Фреза черв'ячна D200-z14	2245-0017	ДСТУ 6469-69	P6M5	ДСТУ 19265-73
055	1	Круг ЧК 100x25x20 63С 10-П М3 7 К5 30 м/хв А 1	5030-1048	ДСТУ 2424-83	ЭК	ДСТУ 21445-84
060	1	Круг ПП 20x40 24А 10-П С2 7К5 30м/хв А1	5030-1036	ДСТУ 2424-83	ЭК	ДСТУ 21445-84

Для складання необхідного різального інструменту використовуємо збірний допоміжний інструмент, який має меншу жорсткість по зрівнянню з суцільним; проте в цьому випадку суттєво зменшується номенклатура застосовуваного інструменту. Окрім того, збірний інструмент добре гасить виникаючі при обробці вібрації. На рисунку 2.6 наведена підсистема допоміжного інструменту для верстатів з ЧПК свердлильно-розточувальної та фрезерної груп. Цифрами позначені: 1 – оправка з конусом 7:24 для насадних фрез із поперечною шпонкою; 2, 3 – оправки для насадних фрез із продольною шпонкою; 4 – патрон цанговий для закріплення інструменту діаметром 20–40 мм; 5 – втулки перехідні для кінцевих фрез; 6 – патрони цангові для закріплення інструменту з діаметром хвостовика 5–20 мм; 7 – втулки перехідні для інструменту з конусом Морзе з лапкою; 8 – втулки перехідні для інструменту з конусом Морзе з різьбовим отвором; 9 – державки для регульованих патронів, втулок та оправок; 10–12 – оправки розточувальні відповідно для напівчистового, чистового розточування, для чистового розточування збірні; 13 – оправки для підрізних пластин; 14 – головки розточувальні двозубі; 15 – головки розточувальні універсальні; 16 – патрони цангові регульовані; 17 – втулки регульовані із внутрішнім конусом Морзе, універсальні; 18 – втулки регульовані довгі із внутрішнім конусом Морзе; 19 – оправки регульовані для насадних зенкерів та розверток; 20 – патрони регульовані різьбонарізні; 21 – оправки регульовані для напівчистового розточування; 22 – оправки регульовані розточувальні

двозубі; 23 – оправки регульовані для закріплення пластин перових свердел;  
 24 – оправки регульовані для дискових фрез; 25 – патрони регульовані; 26 –  
 патрон із конусом Морзе свердлильний трикулачковий; 27 – патрони з  
 конусом Морзе різьбонарізні; 28 – патрони з конусом Морзе розточувальні;  
 29 – оправки з конусом Морзе для насадних зенкерів та розверток.

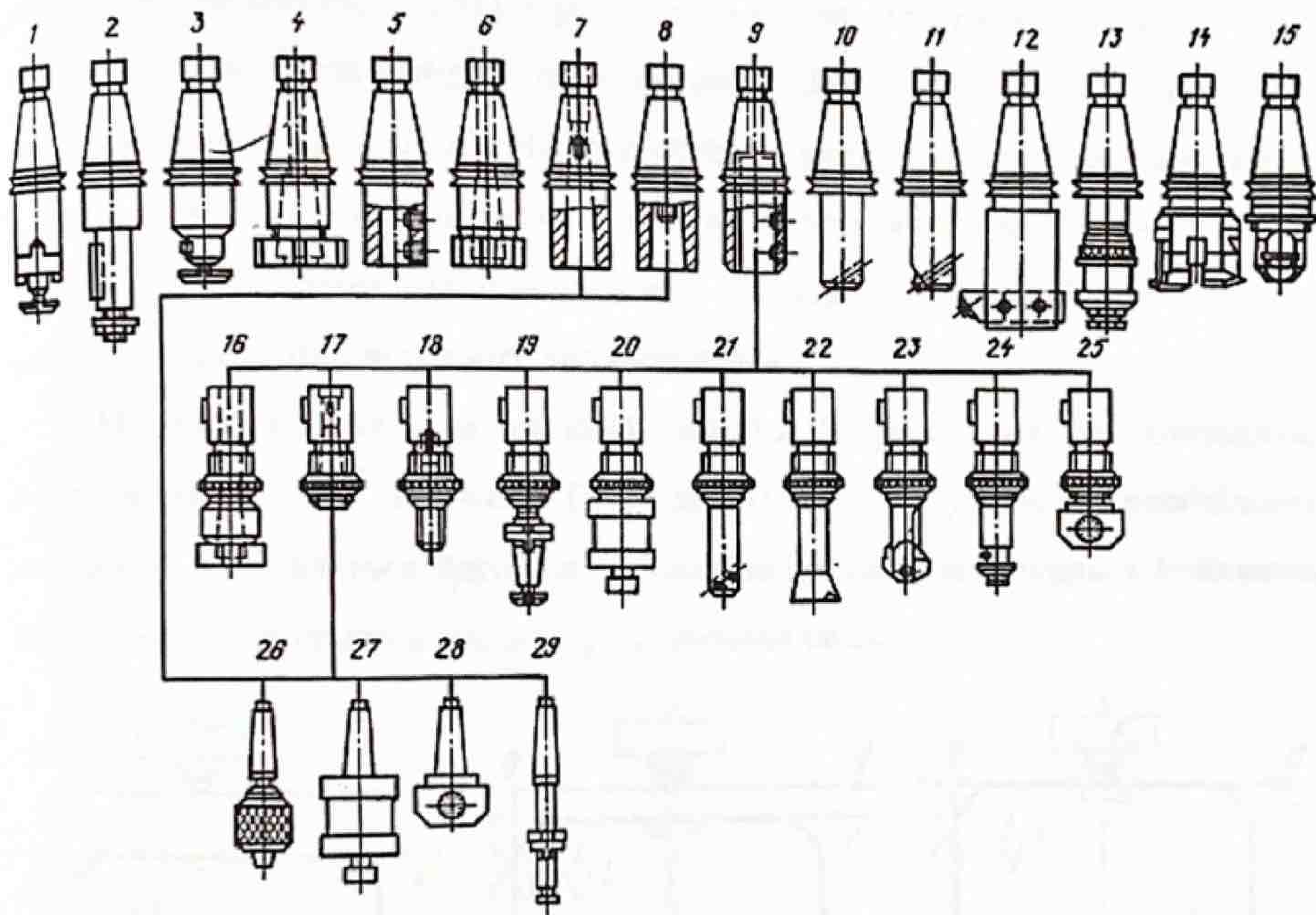


Рис. 2.6 – Підсистема допоміжного інструменту для верстатів з ЧПК

### 2.11. Вибір верстатних пристосувань

Для автоматичної орієнтації і закріплення супутника з заготовкою на верстаті застосовується спеціальне пристосування. Базування супутника в пристосуванні здійснюється в координатний кут (рис. 2.7). З проміжної позиції системи стикування супутник ланцюговим механізмом подається в робочу позицію пристосування і встановлюється на відстані:

- 1) 2 мм від базуючих поверхонь направляючої бази,
- 2) 5 мм від опорної бази (рис 2.7, а).

Точна орієнтація супутника в пристосуванні забезпечується спеціальним механізмом, що складається з автоматичного штовхача і клина, розташованого на бічній поверхні супутника. Оптимальне значення кута клина  $\alpha=38^\circ$ , при якому забезпечується гарантоване досилання до опорних точок направляючої й опорної баз, розраховано аналітично і перевірене експериментально [6, с. 231]. Орієнтація включає три фази. На першій фазі, коли супутник виставляється по установчій базі, віднімаються три ступені вільності (див. мал. 2.7, а). На другій фазі, коли супутник досилається до опорних поверхонь направляючої бази, віднімається ще два ступені вільності (мал. 2.7, б). На третій фазі при досиланні супутника до шостої опорної точки віднімається ступінь вільності, що залишився.

Момент контакту в опорній крапці 6 фіксується за допомогою електроконтактного датчика. При досягненні супутником необхідного положення відбувається його закріплення за допомогою чотирьох прихватів, що створюють зусилля в напрямку установчої бази.

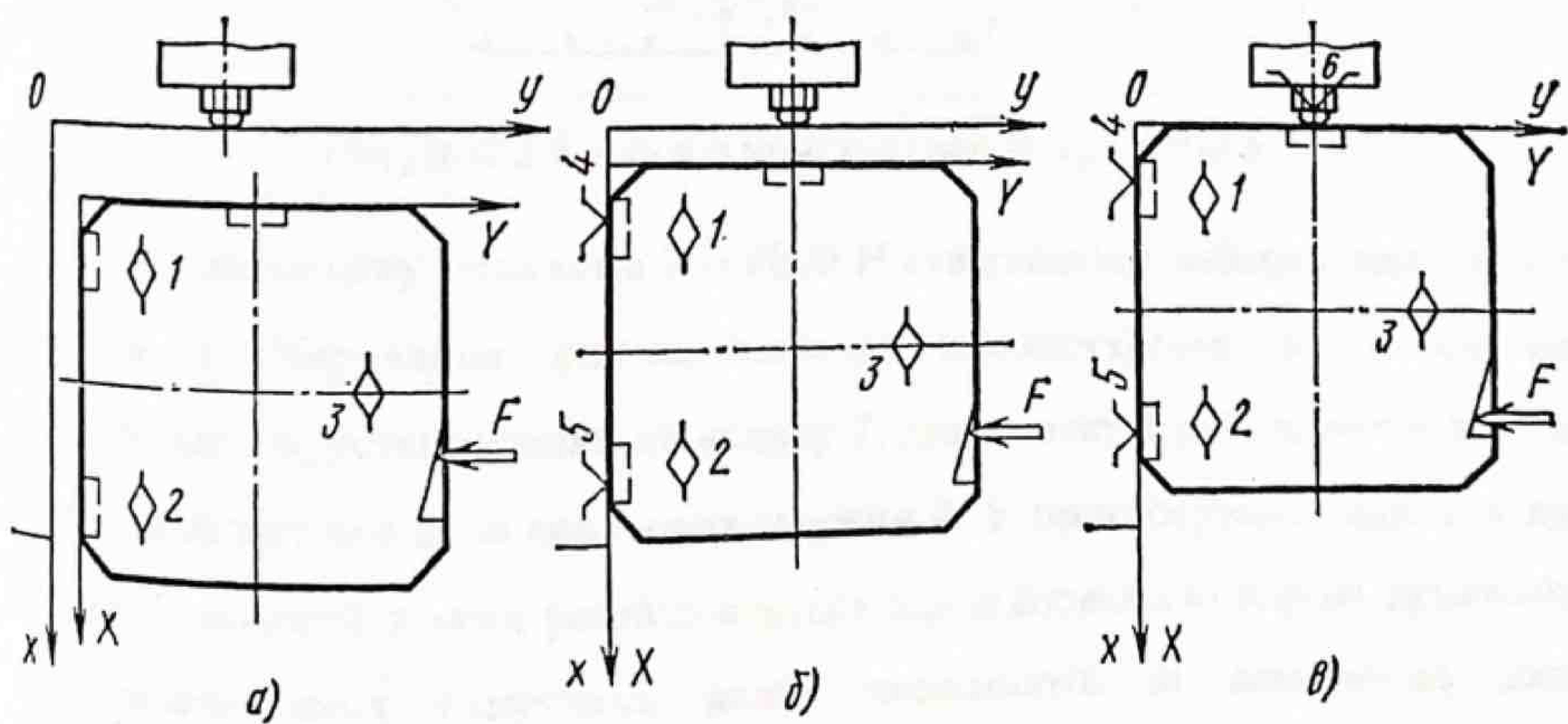


Рисунок 2.7 – Схема автоматичної орієнтації та закріплення супутника в пристосуванні

Загальний вид пристосування і конструктивне виконання його основних вузлів показані на рис. 2.8. Пристосування 1 закріплюється на

поворотному столі 2 і попередньо вивіряється таким чином, щоб центр установлюваного супутника збігався з центром обертання столу. При подачі супутника 3 у пристосування затискні прихвати 4 вільно входять у бічні пази супутника.

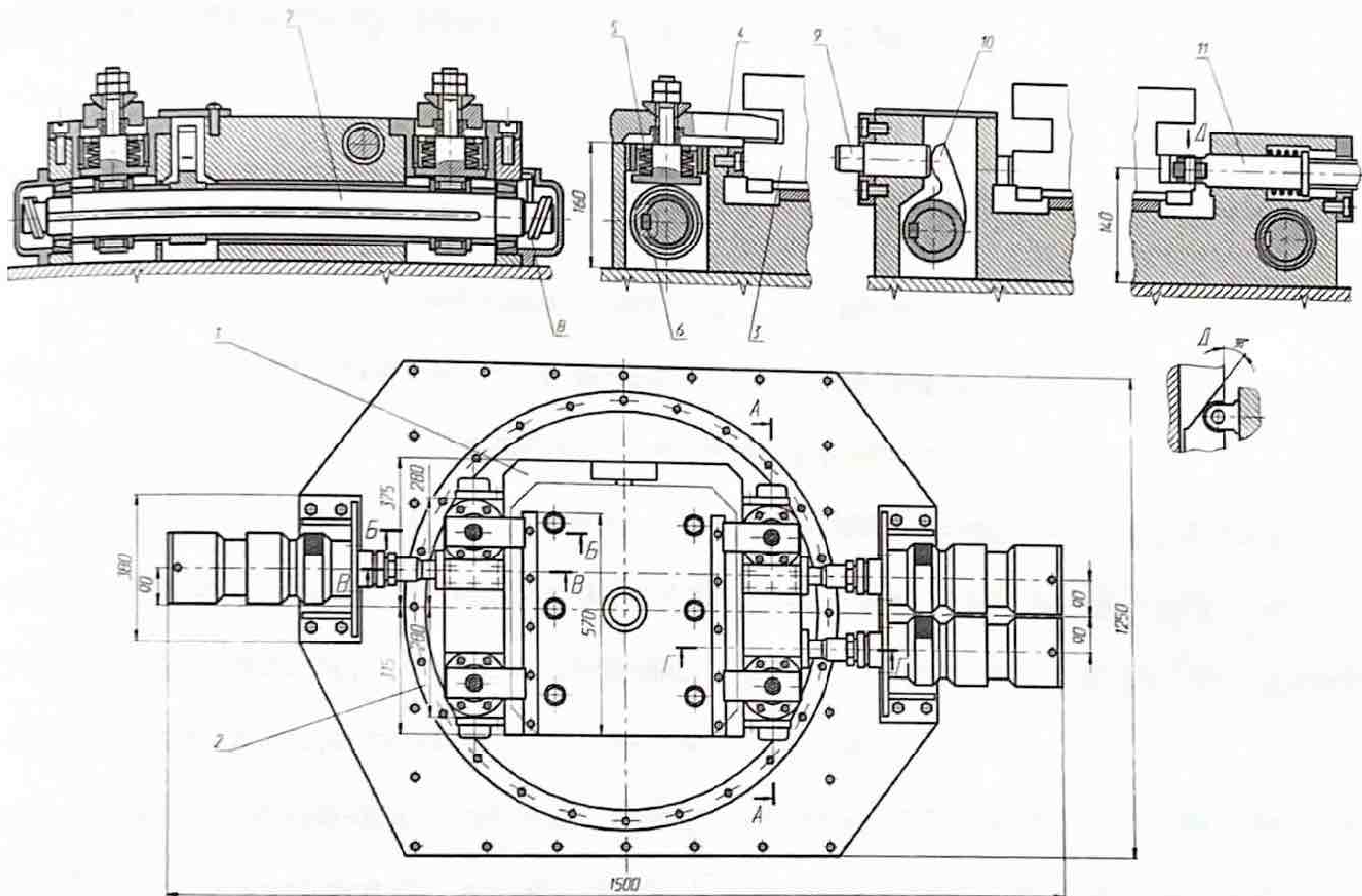


Рисунок 2.8 – Ескіз пристосування-супутника

Сила затиску прихватів  $P = 8000$  Н створюється набором тарілчастих пружин 5. Керування силою затиску забезпечується за допомогою ексцентриків 6, установлених на валику 7, що у свою чергу, повертається на необхідний кут під дією гвинтових пружин 8. У пристосуванні мають два валики 7, кожний з яких розташовується під відповідною парою прихватів. Для розкріплення супутника валик повертають за допомогою двох електромеханічних головок. Поступальне переміщення шпинделя головки передається через шток 9 на важіль 10, у результаті відбувається поворот валика 7. При повороті валика ексцентрики 6 стискають пакети тарілчастих пружин 5, піднімаючи тим самим прихвати на 1,5...2 мм. Переміщення пружин 5, піднімаючи тим самим прихвати на 1,5...2 мм. Переміщення штовхальника 11, що забезпечує досилання супутника в координатний кут,

ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ

Арк.

52

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
----	------	----------	--------	------

здійснюється за допомогою електромеханічної голівки. Три електромеханічні голівки, що виконують роль силових механізмів пристосування, розташовуються за межами поворотного столу. Точність автоматичної установки супутника в пристосуванні по лінійних параметрах складає 0,01...0,015 мм, а по кутовим – у межах до 0,03/500.

## 2.12. Визначення припусків на обробку та операційних розмірів деталі

Припуск на оброблення поверхонь деталей машин може бути призначений за відповідними довідниковими таблицями, ДСТУ або на основі розрахунково-аналітичного методу визначення припусків.

ДСТУ та таблиці дозволяють призначити припуски незалежно від технологічного процесу оброблення деталі та умов його здійснення і тому в загальному випадку є завищеними, містять резерви зниження витрат матеріалу та трудомісткості виготовлення деталі.

Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків на обробку (РАМВП), розроблений проф. В.М. Кованом, базується на «аналізуванні факторів, що впливають на припуски попереднього та виконаного переходів технологічного процесу оброблення поверхні. Значення припуску визначається методом диференційованого розрахунку по елементам, що складають припуск». При використанні РАМВП розраховуються «припуски по всім послідовно виконуваним технологічним переходам оброблення даної поверхні деталі, потім розраховані припуски додаються для визначення загального припуску на обробку поверхні і розраховуються проміжні розміри, що визначають положення поверхні та розміри заготовки. Розрахунковою величиною є мінімальний припуск на обробку, який достатній для уникнення на виконаному переході похибок оброблення та дефектів поверхневого шару, отриманих на попередньому переході, та компенсації похибок, що виникають на виконаному переході».

							Арк.
							53
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ		

Застосування РАМВП скорочує «в середньому відхід металу в стружку по зрівнянню з табличними значеннями, створює єдину систему визначення припусків на обробку та розмірів деталі по технологічним переходам та заготовок». Тому при визначенні припусків на обробку корпусів компресора будемо використовувати саме цей метод.

Боковину будемо розглядати як комплекс типових поверхонь, для яких проведемо розрахунок припусків.

Мінімальний припуск розраховуємо за наступними формулами:

При послідовному обробленні протилежних поверхонь (однобічний припуск – при фрезеруванні площин):

$$Z_{min} = (Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i; \quad (2.10)$$

При обробленні внутрішніх поверхонь (двобічний припуск – оброблення отворів):

$$2Z_{min} = 2 \left[ (Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2} \right] \quad (2.11)$$

Тут  $Rz_{i-1}$  – висота нерівностей профілю на попередньому переході;

$h_{i-1}$  – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході;

$\Delta_{\Sigma_{i-1}}$  – сумарні відхилення розташування поверхні;

$\varepsilon_i$  – похибка встановлення заготовки на виконуваному переході.

Порядок розрахунку наступний:

1. Мінімальний припуск розраховуємо із використанням розрахункової карти для кожної оброблюваної поверхні.
2. Допуск та параметри якості поверхні на кінцевому технологічному переході ( $Rz$  та  $h$ ) приймаємо за кресленням деталі.
3. Відхилення розташування  $\Delta_{\Sigma}$  враховуємо: у заготовок (під перший технологічний перехід); після чорного та напівчистового оброблення лезвійним інструментом (під наступний технологічний перехід).

							Арк.
							54
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ		

У зв'язку із зменшенням відхилень розташування поверхонь при обробці за декілька переходів на стадіях чистового оброблення  $\Delta_L$  нехтуємо.

4. Розрахунок припусків виконуємо із застосуванням ЕОМ за допомогою електронних таблиць Excel (див. табл. 2.12). Розраховані таким чином припуски зображуємо графічно (див. рис. 2.9).

Таблиця 2.12 – Припуски для отвору  $\varnothing 62H7$

Технологічний перехід	Елементи припуску				Квалітет	Розрахунковий припуск $2Z_{min}$ , мкм	Розрахунковий розмір $D_p$ , мм	Допуск, мкм	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мкм	
	Rz	h	$\Delta$	$\epsilon$					Lmin	Lmax	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
Заготовка	250	250	455	-	15	-	60,883	1000	59,883	60,883	-	-
Розточування чорнове	50	50	22,75	3	12	955,00989	61,838	400	61,438	61,838	955	1555
Розточування чистове	25	25	2,275	3	10	122,94695	61,961	50	61,936	61,986	148	498
Розточування тонке	5	5	-	3	7	53,765053	62,015	30	62,000	62,030	44	64
Загалом											1147	2117

Перевірка:

$$\text{Допуск на заготовку} - \text{допуск на деталь} = 970$$

$$2Z_{max} - 2Z_{min} = 970$$

Таблиця 2.13 – Припуски та допуски на поверхні деталі, які механічно оброблюються

Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск, мм	Квалітет	Технологічний допуск, мм
1. Площина фланців	Фрезерування чорнове	1,5	12	$\pm 0,37$
	Фрезерування чистове	1,0	10	$\pm 0,2$
	Шліфування	0,3	8	$\pm 0,05$
2. Технологічні отвори	Свердління	9	11	$\pm 0,2$
	Зенкерування	1,9	9	$\pm 0,05$
	Розвертання	0,5	7	$\pm 0,021$
	Чистове фрезерування	0,26	10	$\pm 0,1$
3. Отвір $\varnothing 62,5$	Чорнове розточування	2,5	11	$\pm 0,69$
	Чистове розточування	0,4	9	$\pm 0,17$
4. Отвір $\varnothing 35$	Свердління	2,5	11	$\pm 0,69$
	Розсвердлювання	0,4	9	$\pm 0,17$

ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ

Арк.

55

Зм Арк. № докум. Підпис Дата

Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск, мм	Квалітет	Технологічний допуск, мм
5.Отвори під штифти $\varnothing 12H7$	Свердління	1,6	12	$\pm 0,6$
	Зенкерування	0,25	10	$\pm 0,12$
	Розвертання	0,1	8	$\pm 0,05$

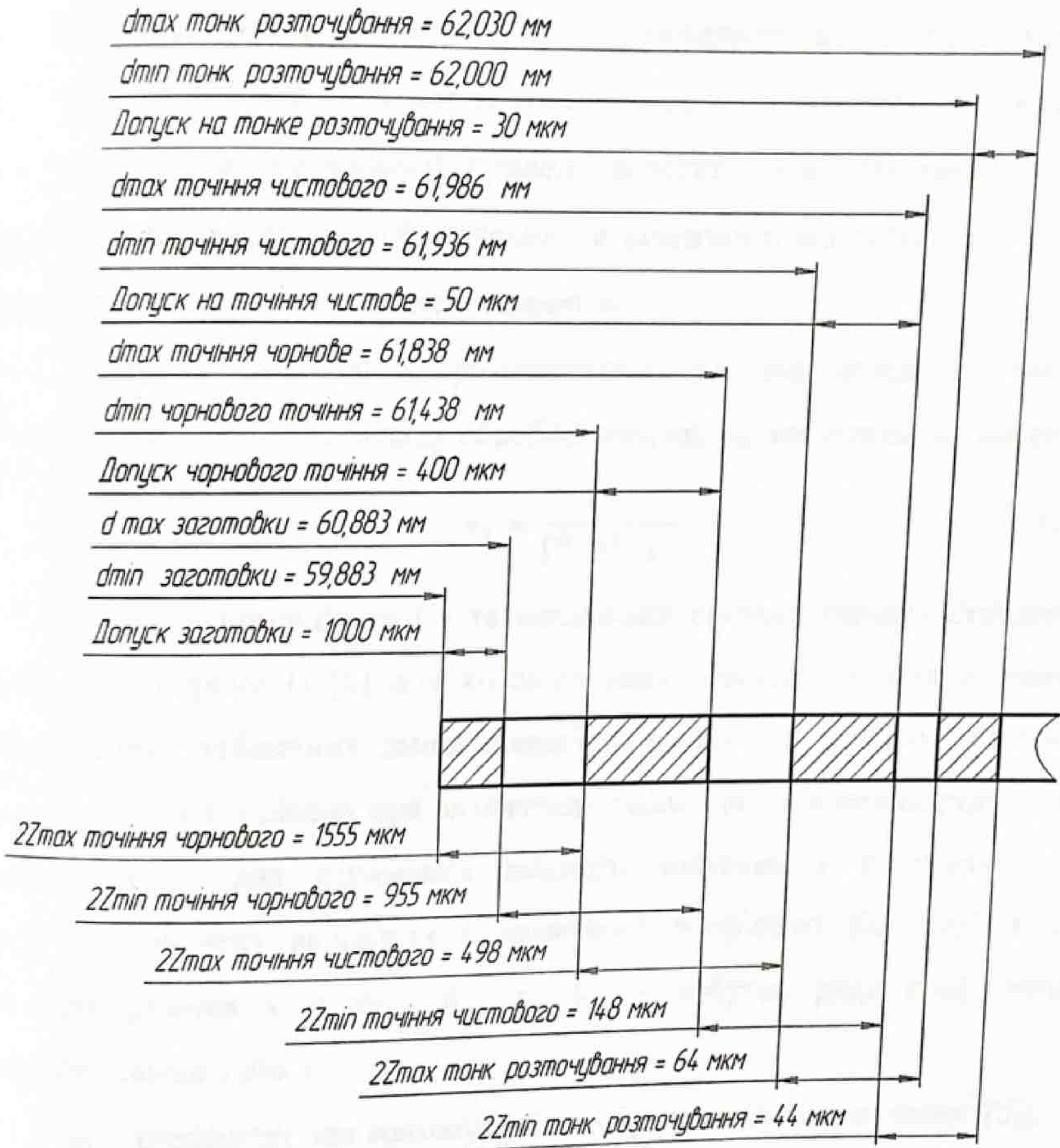


Рисунок 2.9 – Схема розташування припусків для отвору  $\varnothing 62H7$

Розраховані припуски для типових поверхонь деталі наведені у вигляді таблиці 2.13.

### 2.13. Визначення режимів різання

Елементи режимів різання визначаємо в наступному порядку [1,14]:

«Глибина різання  $t$ : при чорновому обробленні призначаємо по можливості максимальну глибину різання, яка дорівнює всьому припуску на оброблення, або його більшій частині; при чистовому обробленні – в залежності від вимог точності розмірів та шорсткості обробленої поверхні.

Подача  $s$ : при чорновому обробленні вибираємо максимально можливу подачу, виходячи із жорсткості та міцності системи верстат-притосування-інструмент-деталь, потужності приводу верстата, міцності твердосплавної пластинки; при чистовому обробленні – в залежності від потрібного ступеня точності та шорсткості обробленої поверхні.

Швидкість різання  $v$  розраховуємо по емпіричним формулам, встановленим для кожного виду оброблення», які мають загальний вигляд:

$$v_T = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \quad (2.12)$$

«Значення коефіцієнта  $C_v$  та показників степені, періоду стійкості  $T$  інструменту беремо із [5] для кожного виду оброблення. Розрахована із використанням табличних даних швидкість різання  $v_T$  враховує конкретні значення  $t$ ,  $s$  та  $T$  і дійсна при визначених табличних значеннях ряду інших факторів. Тому для отримання дійсного значення  $v$  із урахуванням конкретних значень вводиться поправочний коефіцієнт  $K_v$ . Тоді дійсна швидкість різання  $v = v_T \cdot K_v$ , де  $K_v$  – добуток ряду коефіцієнтів.

Найголовнішими з них є:

$K_{mv}$  – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу ([5]);

$K_{pv}$  – коефіцієнт, якості поверхні заготовки ([5]);

$K_{iv}$  – коефіцієнт, що враховує якість матеріалу інструменту ([5]).

Усі визначені режими різання заносимо до таблиці 2.14 разом із потрібним основним часом на оброблення».

Потужність різання визначаємо по таблицям [9], причому значення потужності різання:

$$N = N_{\text{табл}} \frac{v}{100} k, \quad (2.13)$$

де  $N_{\text{табл}}$  – умовна таблична потужність, кВт,

$v$  – швидкість різання, м/хв,

$k$  – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу, [7, с.

651].

Таблиця 2.14 – Режими різання при механічному обробленні деталей

Номер		Найменування поверхні	Глибина різання $t$ , мм	Подача		Швидкість різання	Частота обертів $n$ , об/хв	Потужність $N$ , кВт	Основний час $t_0$ , хв
Опер.	Перех.			$s_0$ , мм/об	$s_z$ , мм/зуб				
<b>БОКОВИНА</b>									
015	1	Площина фланців	1,5	-	0,25	88,1	280	2,93	8,73
	2	Технологічні отвори $\varnothing 10$	5	0,04	-	18,85	1200	0,27	0,625
	3	Отвір $\varnothing 8,5$	4,25	0,5	-	39,6	1640	1,16	0,19
	4	Фаска $1,6 \times 45^\circ$	1,6	0,5	-	69,5	2000	0,016	0,16
	5	Різьба М10-7Н	1,5	1,5	-	12,8	415	1,72	0,21
	6	Пази $16 \times 8$	3	-	0,2	43,2	400	0,6	3,2
020	1	Отвори $\varnothing 62H7/\varnothing 62,5$	2,5	-	0,12	40,7	462	1,34	2,07
	2	Фаски $1 \times 45^\circ$	1,0	-	0,4	37,4	295	0,021	1,91
	3	Отвір $\varnothing 10,5$	5,25	0,5	-	43,9	1640	1,28	0,216
	4	Фаска $1,6 \times 45^\circ$	1,6	0,5	-	73,5	2000	0,018	0,16
	5	Різьба М12-7Н	1,5	1,5	-	13,04	415	1,85	0,26
025	1	Площина	0,25	0,1 м/с	-	25 м/с	1650	0,3	5,48
	2	Площина	0,1	0,05 м/с	-	25 м/с	1750	0,16	7,48
<b>ШЕСТЕРНЯ</b>									
015	1,3	Торець	1,5	1,0	-	125	400	1,1	1,25
	2,4	Отвір	1,0	0,8	-	82	620	0,34	0,95
020	1,2	Торець	0,25	0,1 м/с	-	25 м/с	650	0,3	4,35
025	1	Отвір	0,1	0,2	-	120	1650	0,21	1,95
030	1	Шпонковий паз	3,3	0,25 м/с	-	92	-	0,86	0,7
040	1	Циліндрична поверхня	0,3	0,5	-	165	1200	0,95	3,2
045	1	Поверхня зубців	10	-	0,4	45	150	1,15	12,6
055	1	Торець	0,2	0,1 м/с	-	25 м/с	1650	0,3	3,95
060	1	Торець	0,2	0,1 м/с	-	25 м/с	1650	0,3	4,1
		Отвір	0,1	0,1 м/с	-	20 м/с	2000	0,2	3,8

## 2.14. Технічне нормування операцій

Штучний час оброблення деталі визначається за наступною формулою:

				Арк.		
				58		
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	

$$T_{шт} = t_0 + t_v + t_{обс} + t_{п}, \quad (2.14)$$

де  $t_0 = \sum t_{0j}$  – основний час на операцію, хв.;

$t_{0j}$  – основний час на виконання  $j$ -го переходу оброблення елементарної поверхні, хв. (див. табл. 2.14);

$t_v = t_{в.у.} + t_{м.в.}$  – допоміжний час, що включає час  $t_{в.у.}$  на встановлення і зняття заготовки, та  $t_{м.в.}$ , пов'язаний із виконанням допоміжних переходів та переміщень при обробленні поверхні, хв.;

$t_{обс}$  – час обслуговування робочого місця, хв.;

$t_{п}$  – час на особисті потреби, хв.

Для операції 015 Фрезерно-свердлильної маємо наступне:

$$t_0 = 8,73 \cdot 2 + 0,625 \cdot 2 + 8 \cdot (0,19 + 0,16 + 0,21) + 3,2 \cdot 2 = 29,59 \text{ хв.}$$

Час на встановлення деталі при застосуванні універсального пристосування  $t_{в.у.} = 3,3$  хв (за [14]).

Час на виконання допоміжних переходів:

Сумарний час на заміни інструментів:

$$\sum t_{з.і.} = n \cdot t_{з.і.} = 5 \cdot 0,5 = 2,5 \text{ хв,}$$

де  $n = 5$  – кількість замін інструменту за операцію;

$t_{з.і.} = 0,5$  хв – час заміни інструменту (за [14]).

Сумарний час установочних та швидких переміщень:

$$\sum t_{у.п.} \approx 1 \text{ хв (із використанням [14])}, \text{ тоді } t_{м.в.} = \sum t_{з.і.} + \sum t_{у.п.} = 2,5 + 1,0 = 3,5 \text{ хв}$$

Час на обслуговування робочого місця та особисті потреби за [14]:

$$t_{обс} + t_{п} = 0,16(t_0 + t_{в.у.} + t_{м.в.}) = 0,16(29,59 + 3,3 + 3,5) = 5,8 \text{ хв.}$$

В склад робіт по організаційному обслуговуванню робочого місця включені: огляд, нагрівання системи ЧПК та гідросистеми, опробування обладнання, отримання інструменту від майстра на протязі зміни,

змащування та очищення верстата на протязі зміни, пред'явлення контролеру пробної деталі, прибирання верстата.

Штучний час оброблення деталі:

$$T_{шт} = 29,59 + 3,3 + 3,5 + 5,8 = 42,49 \text{ хв.}$$

Час роботи верстата за програмою керування (час циклу оброблення):

$$t_{п.у.} = t_0 + t_{м.в.} = 29,59 + 3,5 = 33,1 \text{ хв.}$$

Для наступних переходів час оброблення розраховується за вищенаведеною методикою.

## 2.15. Розроблення розрахунково-технологічних карт та керуючих програм

Вихідними даними для розроблення керуючої програми та необхідного налагодження верстатів є креслення деталі, розроблена технологія та технологічні дані обладнання. Визначивши задачі кожної операції та вибравши технологічні бази розробляємо схему встановлення заготовки на верстаті.

Для кожної з сторін заготовки на основі креслення розробляємо геометричний план оброблення і визначаємо послідовність виконання технологічних переходів. Кожному отвору на плані оброблення надаємо номер у відповідності із послідовністю його оброблення. Таким чином, отвори одного розміру мають послідовні номери.

У відповідності із прийнятою схемою базування для кожного встановлення деталі вибираємо систему відліку (нуль заготовки W). Відносно цієї координатної системи виконуємо перерахунок всіх розмірів, що визначають положення оброблюваних поверхонь деталей.

Для фрезерування поверхонь задаємо координати положення осі фрези, що відповідають початку та кінцю робочого ходу, враховуючи величину врізання та перебігу фрези.

Використовуючи дані верстата з рекомендаціями по створенню формоутворюючих та допоміжних рухів, складаємо розрахунково-

							Арк.
							60
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ		

технологічну карту. В цій карті показуємо траєкторію відносного переміщення різального інструменту, вказуємо координати опорних точок відносного положення заготовки та інструменту, показуємо положення нульової площини.

Для складання керуючої програми розроблений технологічний процес виготовлення деталі кодуємо за допомогою міжнародного стандартного коду ISO-7 bit. При цьому використовуються таблиці шифру різального інструменту, таблиці кодів підготовчих та допоміжних технологічних команд, подачі та частоти обертання шпинделя, коди стандартних циклів. Керуюча програма формується із ряду послідовних кадрів, що мають формат:

N3 G2. X+33. Y+33. Z+32. V32. F2. S2. T2. M2. ПС

Кодування процесу оброблення записується у вигляді технологічної програмної карти, яка показує в кодованому записі послідовність та зміст підготовчих команд та виконуваних технологічних переходів, кожний з яких представлений декількома кадрами керуючої програми.

Підготовчі команди та стандартні цикли кодуються індексом G та відповідними цифрами, подача та швидкість – індексами F та S, різальний інструмент – T, а допоміжні команди – M. Розташування опорних точок, осей та площини оброблюваної деталі задаються координатами  $X \pm \dots, Y \pm \dots, Z \pm \dots$

									Арк.
									61
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ				

## РОЗДІЛ 3. КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 3.1. Описання та принцип роботи затискного пристосування

Під час оброблення корпусних деталей (у нашому випадку – деталь "боковина") в умовах автоматизованого виробництва ми пропонуємо використувати пристосування-спутники. При цьому для автоматичної орієнтації і закріплення супутника з заготовкою на верстаті застосовується спеціальне пристосування. Базування супутника в пристосуванні здійснюється в координатний кут (рис. 3.1) за схемою  $T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \Delta y_4, \Delta y_5, \Delta x_6)$ . З проміжної позиції системи стикування супутник ланцюговим механізмом подається в робочу позицію пристосування і встановлюється на відстані:

- 3) 2 мм від базуючих поверхонь направляючої бази,
- 4) 5 мм від опорної бази (рис 3.1, а).

Точна орієнтація супутника в пристосуванні забезпечується спеціальним механізмом, що складається з автоматичного штовхача і клина, розташованого на бічній поверхні супутника. Оптимальне значення кута клина  $\alpha=38^\circ$ , при якому забезпечується гарантоване досилання до опорних точок направляючої й опорної баз, розраховано аналітично і перевірене експериментально [6, с. 231]. Орієнтація включає три фази. На першій фазі, коли супутник виставляється по установчій базі, віднімаються три ступені вільності (див. рис. 3.1, а):  $(\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3) \Rightarrow (c_y, \lambda_y, \beta_y)$ . На другій фазі, коли супутник досилається до опорних поверхонь направляючої бази, віднімається ще два ступені вільності (рис. 3.1, б)  $(\Delta y_4, \Delta y_5) \Rightarrow (b_y, \gamma_y)$ . На третій фазі при досиланні супутника до шостої опорної точки віднімається ступінь вільності, що залишився,  $\Delta x_6 \Rightarrow a_y$ .

					<b>ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Горошинський		23.07		62	
Перевір.		Коробко		23.08			
Керівник.							
Н. контр.		Васильєв		28.08			
Затверд.		Орисенко		28.08			
					<b>Конструкторська частина</b>		
					<b>ННІ ІТР, 2024 р.</b>		

Момент контакту в опорній точці 6 фіксується за допомогою електроконтактного датчика. При досягненні супутником необхідного положення відбувається його закріплення за допомогою чотирьох прихватів, що створюють зусилля в напрямку установчої бази.

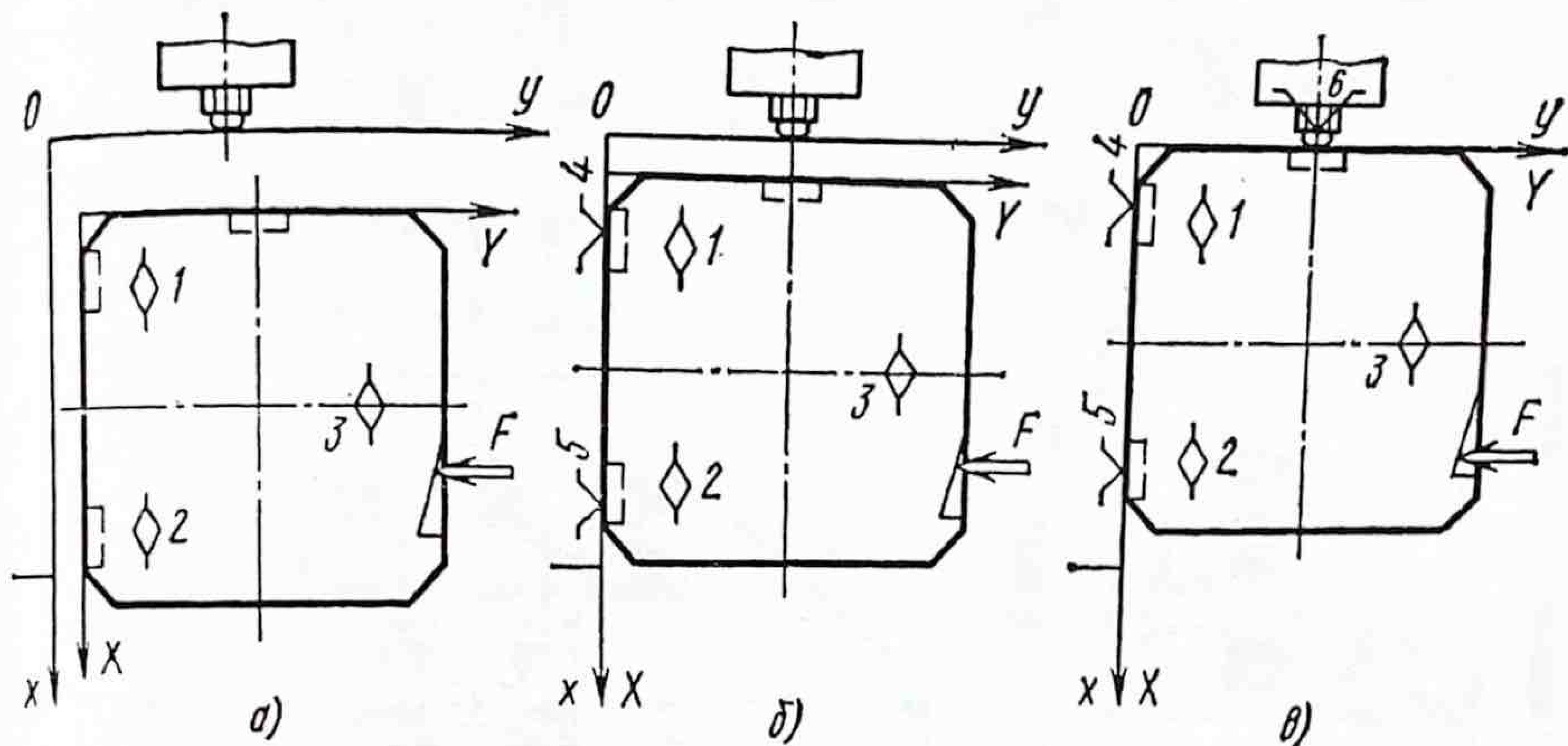


Рисунок 3.1 – Схема автоматичної орієнтації та закріплення супутника в пристосуванні

Загальний вид пристосування і конструктивне виконання його основних вузлів показані на рис. 3.2. Пристосування 1 закріплюється на поворотному столі 2 і попередньо вивіряється таким чином, щоб центр установлюваного супутника збігався з центром обертання столу. При подачі супутника 3 у пристосування затискні прихвати 4 вільно входять у бічні пази супутника.

Сила затиску прихватів створюється набором тарілчастих пружин 5. Керування силою затиску забезпечується за допомогою ексцентриків 6, установлених на валику 7, що у свою чергу, повертається на необхідний кут під дією гвинтових пружин 8. У пристосуванні мають два валики 7, кожний з яких розташовується під відповідною парою прихватів. Для розкріплення супутника валик повертають за допомогою двох електромеханічних головок. Поступальне переміщення шпинделя головки передається через шток 9 на важіль 10, у результаті відбувається поворот валика 7.

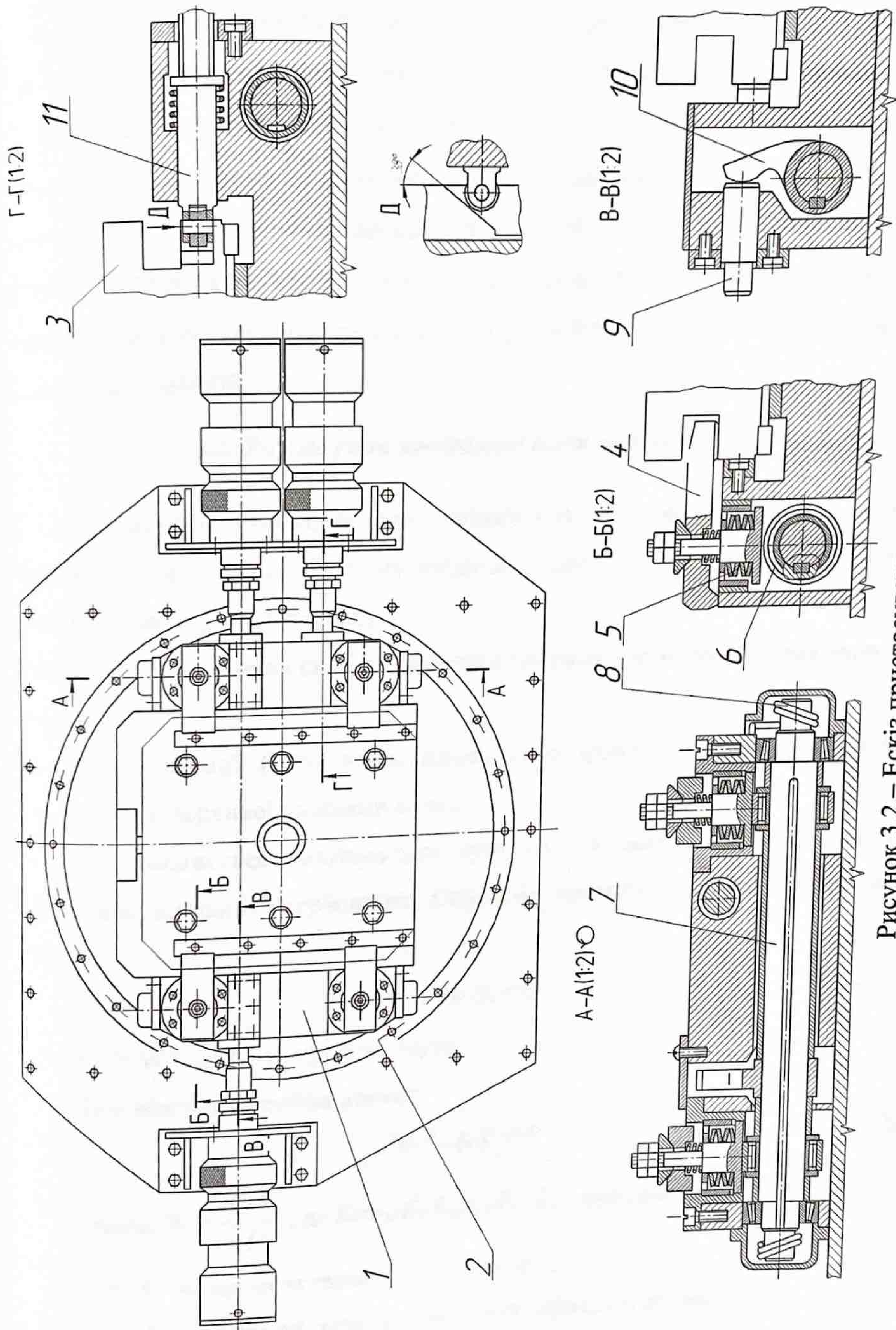


Рисунок 3.2 – Ескіз пристосування-супутника

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
----	------	----------	--------	------

ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ

Арк.

64

При повороті валика ексцентрики 6 стискають пакети тарілчастих пружин 5, піднімаючи тим самим прихвати на 1,5...2 мм. Переміщення штовхальника 11, що забезпечує досилання супутника в координатний кут, здійснюється за допомогою електромеханічної голівки. Три електромеханічні головки, що виконують роль силових механізмів пристосування, розташовуються за межами поворотного столу. Точність автоматичної установки супутника в пристосуванні по лінійних параметрах складає 0,01...0,015 мм, а по кутовим – у межах до 0,03/500.

### 3.2. Розрахунок необхідної сили затискання

Розрахуємо необхідну силу затискання при обробці нашої деталі "боковина" на операції 020 Фрезерно-свердлильній під час фрезерування площини пов. 2 (див. табл. 2.8).

Складемо схему діючих сил і визначимо з неї силу, яка необхідна для затиску  $W$  (рис. 3.3).

На даній операції (025) максимальна сила різання  $P_z$  при чорновому фрезеруванні верхньої площини деталі.

Сила  $P_z$  намагається виштовхнути супутник із закріпленою заготовкою паралельно площині закріплення. Складемо рівняння рівноваги у вигляді

$$\Sigma F_{iy}: \quad F_{TP} - K \cdot P_z = 0; \quad (3.1)$$

$F_{TP} = W \cdot f$ , де  $f$  – коефіцієнт тертя.

Тоді рівняння прийме вигляд:

$$W \cdot f - K \cdot P_z = 0 \quad (3.2)$$

Звідки  $W = \frac{K \cdot P_z}{f}$ , де  $K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5$  – коефіцієнти запасу.

$K_0 = 1,5$  – коефіцієнт гарантованого запасу;

$K_1 = 1,2$  – коефіцієнт, який враховує стан поверхні деталі;

$K_2 = 1,4$  – коефіцієнт, який враховує затуплення  $P_1$ ;

$K_3=1,2$  – коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання при перервному різанні;

$K_4=1,0$  – коефіцієнт, який враховує постійність сил затискання;

$K_5=1,2$  – коефіцієнт, який враховує ергономіку затискних пристосувань.

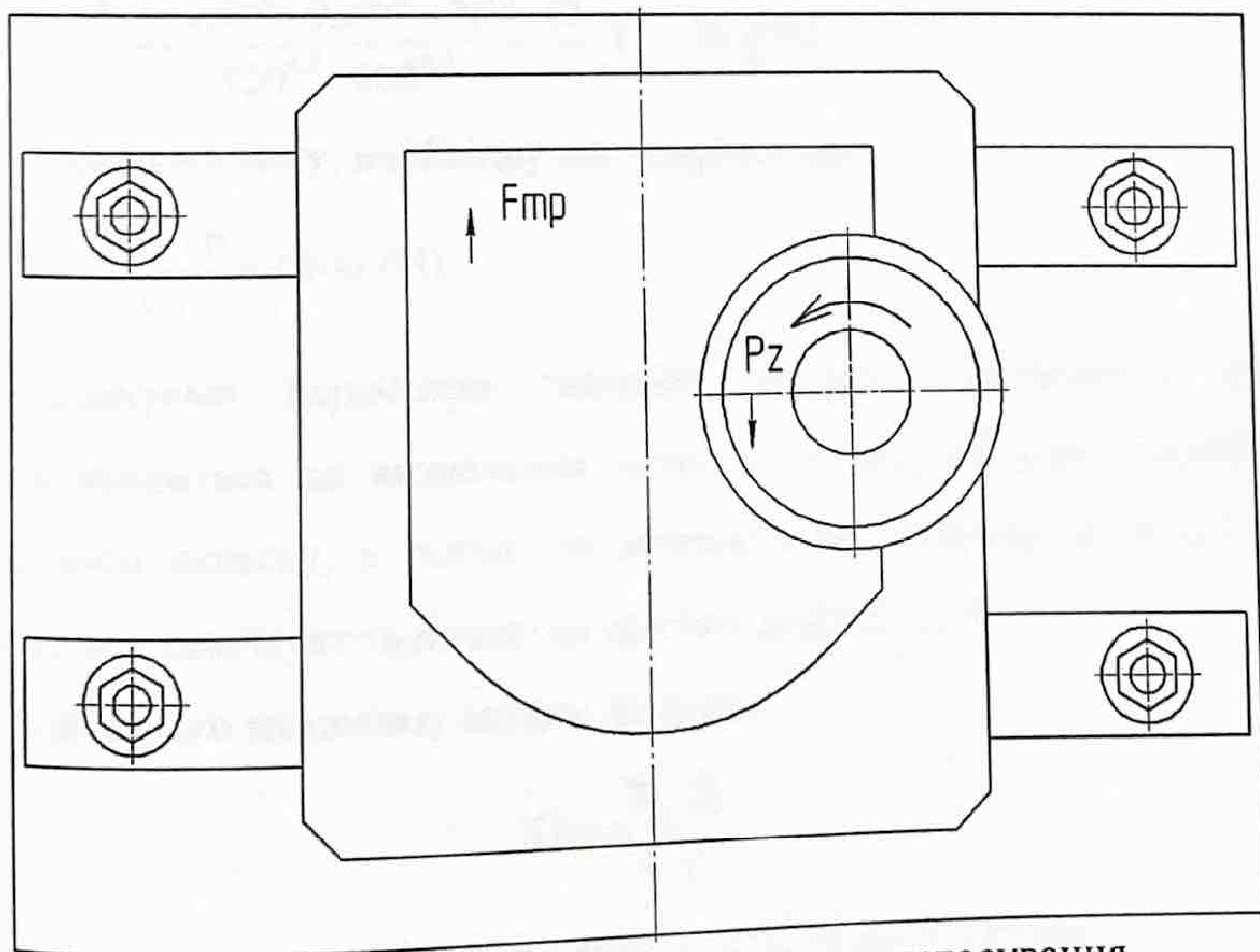
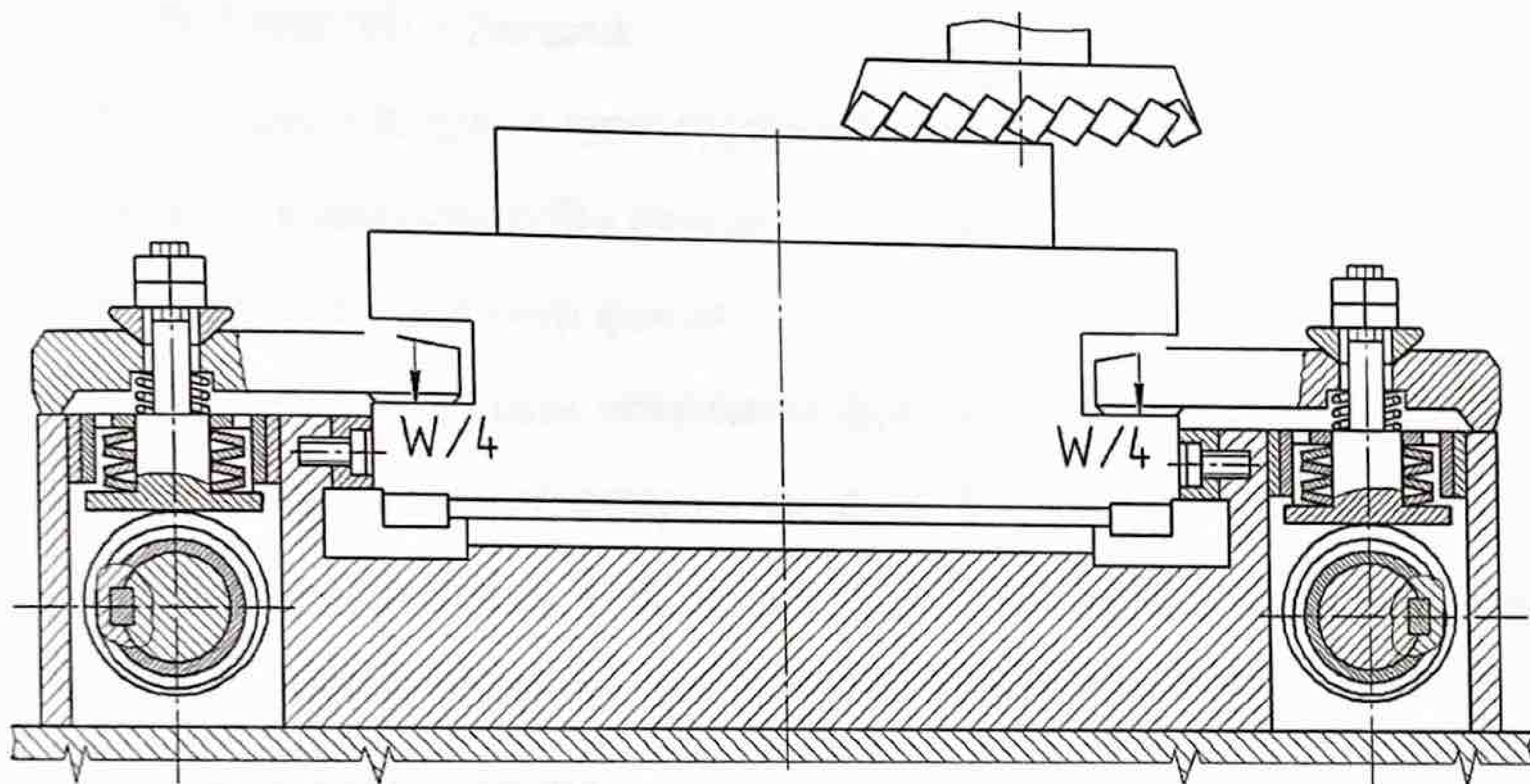


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема пристосування

Тоді  $K$  дорівнює:  $K=1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0=3,6$ .

$f=0,1$  – коефіцієнт тертя.

Силу різання  $P_z$  визначимо за формулою:

$$P_z = \frac{C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^\omega} \cdot K_p, \quad (3.3)$$

де  $t = 2,0$  мм – глибина різання;

$S = 0,3$  мм/зуб – подача;

$B = 74$  мм – ширина фрезерування;

$z = 12$  – кількість зубів фрези;

$D = 120$  мм – діаметр фрези;

$n = 600$  хв<sup>-1</sup> – частота обертання фрези;

$K_p = 1,1$  – загальний поправочний коефіцієнт.

$C_p = 825$ ;  $x = 1,0$ ;  $y = 0,75$ ;  $u = 1,1$ ;  $q = 1,3$ ;  $\omega = 0,2$  – коефіцієнт та показники степеню, які вибираються з таблиць.

Визначимо силу різання:

$$P_z = \frac{825 \cdot 2,0^{1,0} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 74^{1,1} \cdot 12}{120^{1,3} \cdot 600^{0,2}} \cdot 1,1 = 50 \text{ (Н)}.$$

Визначимо силу, необхідну для закріплення:

$$W = \frac{50 \cdot 3,6}{0,1} = 1800 \text{ (Н)}.$$

Розрахуємо параметри силового приводу. Розрахунок силового приводу зводиться до визначення зусилля на ведучій ланці механізму по відомій силі затиску, а потім, по визначеному зусиллю на ведучій ланці підбирається комплект тарілчастих пружин (рис. 3.4).

Для даного механізму можна записати:

$$Q = \frac{W \cdot b}{4 \cdot a}, \quad (3.4)$$

де 4 – кількість прихватів у конструкції пристосування.

Звідки:

$$Q = \frac{1800 \cdot 0,18}{4 \cdot 0,06} = 1350 \text{ Н}.$$

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

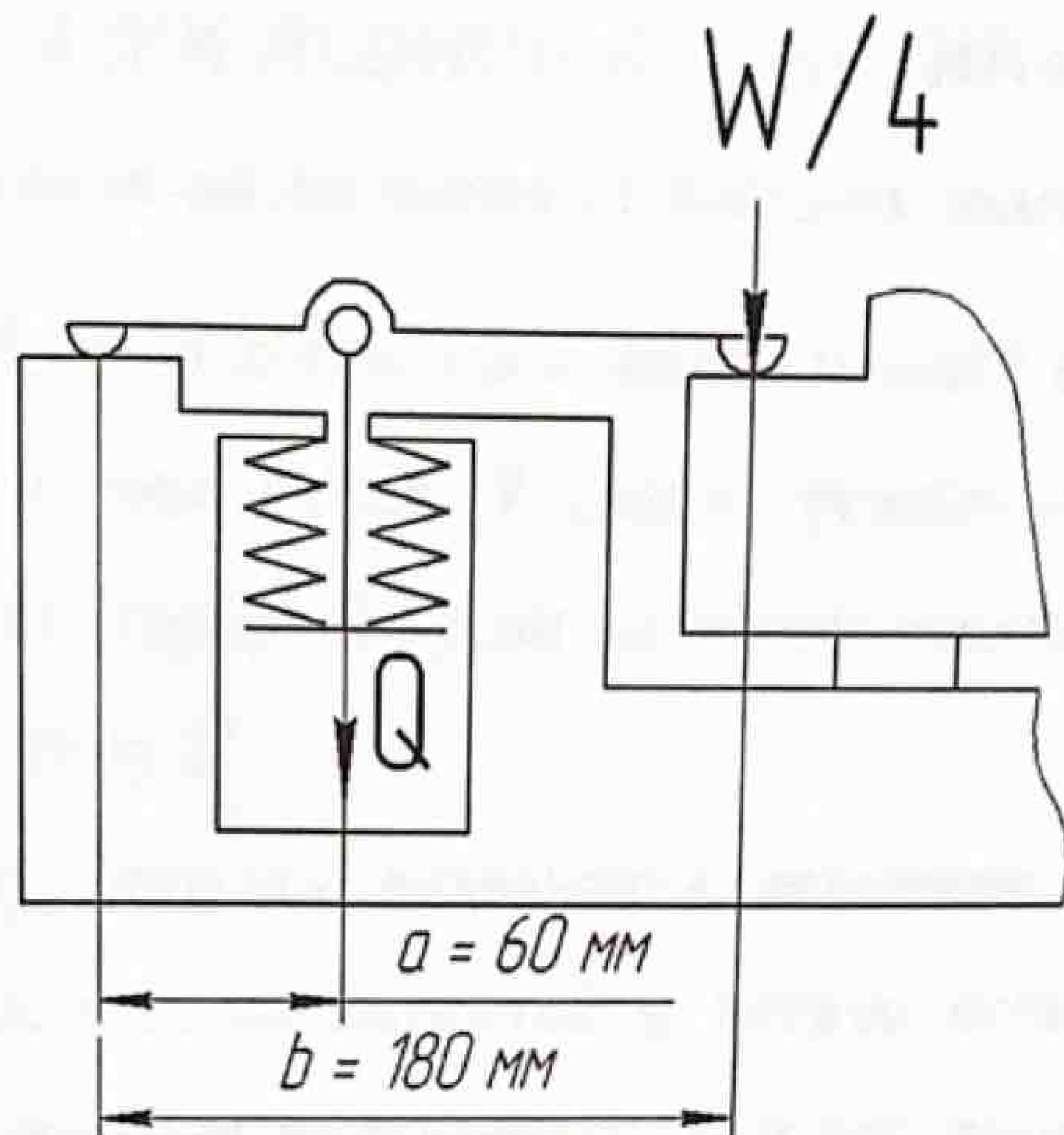


Рисунок 3.4 – Схема до розрахунку тарілчастих пружин

За одержаним значенням  $Q$  підбираємо набір тарілчастих пружин із сумарною силою тиску  $1500 \text{ Н}$ .

				ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ		Арк.
						68
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

### 4.1. Методи визначення стійкісних залежностей

Під час оброблення деталі «боковина» у даній кваліфікаційній роботі ми використовуємо торцеві фрези. У даному розділі ми розробимо математичну модель стійкості торцевої фрези на основі реалізації повнофакторного експерименту [8, 14] типу  $2^3$ .

У загальному випадку визначення величини стійкості різального інструмента і стійкісних залежностей є досить складним і пов'язано із знаходженням спрацювання інструменту. Під час проведення випробувань треба враховувати багато факторів: властивості інструментального і оброблюваного матеріалу, геометрію інструмента, режими різання і т.ін. Але, під час досліджень найбільш розповсюдженою є задача визначення економічно доцільних режимів різання, тобто визначення функції  $T = f(V, S, t)$ . Наявна значна кількість експериментальних даних, що описують залежність стійкості інструменту від швидкості різання  $V$ , подачі  $S$  та глибини різання  $t$ . Найбільшим чином впливає на стійкість інструменту, як правило, швидкість різання, тому залежностям  $T=f(V)$  надається велика увага при розгляді різних методів розрахунків режимів обробки металів різанням.

Функціональні залежності стійкості від швидкості різання та елементів перерізу, шару, що зрізується, представлені у функціональному вигляді, тобто можна допустити, що для прийнятих  $V$ ,  $S$  і  $t$  для даного інструменту і оброблюваного матеріалу, змащувально-охолоджувальної рідини та інших умов обробки буде гарантовано отримання цілком визначеного значення стійкості. Але в той же час експериментальні дослідження і практичні випробування та виробнича практика показують, що це не зовсім відповідає дійсності.

					<b>ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Горошинський		23.08		69	
Перевір.		Коробко		23.08			
Керівник.							
Н. контр.		Васильєв		28.08			
Затверд.		Орисенко		28.08			
					<b>Дослідницька частина</b>		
					<b>ННІ ІТР, 2024 р.</b>		

Величина стійкості різального інструмента у зв'язку з впливом багатозначних параметрів [8, 14], які не враховуються розрахунком, – не постійна. Тому дані, «які ми вже маємо, не звільняють нас від проведення додаткових випробувань по визначенню залежностей типу II, так як відомі залежності не охоплюють всі можливі варіанти обробки, і можуть бути тільки початком під час розв'язання конкретних практичних задач. У зв'язку з цим опанування методики постановки і вирішення цих задач визначає рівень кваліфікації не тільки випробувача, але і інженера-технолога сучасного виробництва». При встановленні залежності  $T = f(V, S, t)$  існує два наступних підходи:

- виконання серії однофакторних експериментів;
- виконання багатофакторного експерименту з одночасним варіюванням отриманих змінних факторів в прийнятих межах вимірювання.

У першому випадку методика встановлення залежності  $T = f(V, S, t)$  зводиться до того, що «з розглядуваних аргументів шуканої функції вимірюванню підлягає лише один, а всі інші підтримуються постійними. Не зважаючи на простоту, до суттєвих недомог такого шляху встановлення залежностей між стійкістю і основними факторами процесу різання слід віднести його трудомісткість і ненадійність отриманих результатів для практичного використання».

Ненадійність результатів пояснюється тим, що «визначена таким чином залежність із-за неврахування взаємодії між собою досліджуваних факторів легко втрачає свою силу при відхиленні від умов експерименту навіть в границі випробуваних значеннях змінних».

Виконання багатофакторного експерименту з одночасним варіюванням досліджуваних факторів в обраних границях їх вимірювання і визначення залежності  $T = f(V, S, t)$  методами математичного планування

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

експерименту [8] «дозволяє зменшити кількість дослідів та підвищити точність визначення даної залежності.

У загальному випадку моделлю називається такий матеріальний або уявний об'єкт, який в процесі дослідження замінює об'єкт-оригінал, зберігаючи основні для даного випробування типові його риси. Модель необхідна для того, щоб зрозуміти будову випробовуваного об'єкту; навчитися керувати процесом і визначити найкращі способи керування при заданих цілях і критеріях; прогнозувати прямі та побічні наслідки реалізації заданих способів і форм на досліджуваній об'єкт». Математична модель, у нашому випадку, дає нам можливість отримати математичну формулу яка характеризує процес обробки металів торцевою фрезою.

## 4.2. Етапи побудови математичної моделі методом повно факторного експерименту

### 4.2.1. Планування експерименту

Планування експерименту [8] – «це процедура вибору числа і умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для вирішення поставленої задачі з необхідною точністю. При цьому одночасно варіюються всі змінні за спеціальними правилами».

Необхідно провести експеримент і побудувати в результаті обробки експериментальних даних залежність виду

$$T^m = \frac{C_v}{V \cdot S^y \cdot t^x}, \quad (4.1)$$

де  $C_v$  - постійна величина;

$V$  – швидкість різання в м/хв.;

$S$  – подача в мм/об;

$t$  – глибина різання в мм;

$m, x, y$  – показники степеня.

Прологарифмувавши обидві частини рівняння можна записати:

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + \theta, \quad (4.2)$$

де  $y = \lg T$ ;

$x_1, x_2, x_3$  - логарифми  $V, S, t$ , тобто фактори, які впливають на об'єкт дослідження;

$b_0, b_1, b_2, b_3$  - коефіцієнти;

$\theta$  - похибка експерименту.

Для кожного фактору проводиться вибір діапазону вимірювання його значень з обліком можливостей обладнання і практично застосовуваних режимів різання. Вибрані границі заносимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Межі варіювання

Швидкість різання при фрезеруванні, $V$ , м/хв.	Верхній	$V_{\max}$	110
	Нижній	$V_{\min}$	90
Подача, $S$ , мм/зуб	Верхній	$S_{\max}$	0,45
	Нижній	$S_{\min}$	0,35
Глибина фрезерування $t$ , мм	Верхній	$t_{\max}$	4
	Нижній	$t_{\min}$	3

Для зручності дані рівні кодують за допомогою наступних формул перетворення таким чином, що нижній рівень буде відповідати “-1”, а верхній “+1”.

$$X_1 = \frac{2(\lg V - \lg V_{\max})}{\lg V_{\max} - \lg V_{\min}} + 1 = \frac{2(\lg 100 - \lg 110)}{\lg 110 - \lg 90} + 1 = 0,0501;$$

$$X_2 = \frac{2(\lg S - \lg S_{\max})}{\lg S_{\max} - \lg S_{\min}} + 1 = \frac{2(\lg 0,4 - \lg 0,45)}{\lg 0,45 - \lg 0,35} + 1 = 0,0627;$$

$$X_3 = \frac{2(\lg t - \lg t_{\max})}{\lg t_{\max} - \lg t_{\min}} + 1 = \frac{2(\lg 3,5 - \lg 4)}{\lg 4 - \lg 3} + 1 = 0,0717.$$

Матриця планування трифакторного експерименту приведена в таблиці 4.2.

						ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк. 72
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 4.2 – Матриця планування експерименту

№ п/п	V, м/хв.	S, мм/зуб	t, мм	Кодовані значення			T <sub>i</sub> , хв.	y <sub>i</sub> =lgT
				X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>		
1	V <sub>min</sub> =90	S <sub>min</sub> =0,35	t <sub>min</sub> =3	-1	-1	-1	278	2,44
2	V <sub>max</sub> =110	S <sub>min</sub> =0,35	t <sub>min</sub> =3	1	-1	-1	149	2,17
3	V <sub>min</sub> =90	S <sub>max</sub> =0,45	t <sub>min</sub> =3	-1	1	-1	211	2,32
4	V <sub>max</sub> =110	S <sub>max</sub> =0,45	t <sub>min</sub> =3	1	1	-1	113	2,05
5	V <sub>min</sub> =90	S <sub>min</sub> =0,35	t <sub>max</sub> =4	-1	-1	1	243	2,39
6	V <sub>max</sub> =110	S <sub>min</sub> =0,35	t <sub>max</sub> =4	1	-1	1	130	2,11
7	V <sub>min</sub> =90	S <sub>max</sub> =0,45	t <sub>max</sub> =4	-1	1	1	184	2,27
8	V <sub>max</sub> =110	S <sub>max</sub> =0,45	t <sub>max</sub> =4	1	1	1	99	1,99
9	V <sub>cp</sub> =100	S <sub>cp</sub> =0,4	t <sub>cp</sub> =3,5	0	0	0	160	2,2
10	V <sub>cp</sub> =100	S <sub>cp</sub> =0,4	t <sub>cp</sub> =3,5	0	0	0	160	2,2
11	V <sub>cp</sub> =100	S <sub>cp</sub> =0,4	t <sub>cp</sub> =3,5	0	0	0	160	2,2
12	V <sub>cp</sub> =100	S <sub>cp</sub> =0,4	t <sub>cp</sub> =3,5	0	0	0	160	2,2

#### 4.2.2. Дисперсія відтворення експерименту

Досліди в нульовій точці (9, 10, 11, 12) необхідні для визначення похибки експерименту. Підрахуємо похибку відтворення паралельних дослідів. Середньоквадратичне значення 9 рівне

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad (4.3)$$

де n – кількість дослідів;

y<sub>i</sub> – значення у в кожній точці,

$$\bar{y} = \frac{2,44 + 2,17 + 2,32 + 2,05 + 2,39 + 2,11 + 2,27 + 1,99}{8} = 2,22$$

Наявність відхилень говорить про змінність значень повторних дослідів. Для вимірювання даної змінності використовують виборочну дисперсію  $-S^2$ , що визначається за формулою

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{8-1} [(2,44 - 2,22)^2 + (2,17 - 2,22)^2 + (2,32 - 2,22)^2 + (2,05 - 2,22)^2 + (2,39 - 2,22)^2 + (2,11 - 2,22)^2 + (2,27 - 2,22)^2 + (1,99 - 2,22)^2] = 0,027$$

де  $(n-1)$  – кількість степенем вільності, рівне кількості дослідів мінус один ступінь вільності використану для визначення середнього.

Корінь квадратний від дисперсії, взятий з позитивним знаком, називається середньоквадратичним відхиленням

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = 0,16$$

Чим більша дисперсія і середньоквадратичне відхилення, тим більше розсіяні значення паралельних дослідів навколо середнього значення.

Наявність різковідхилюваних значень (так називаних грубих відхилень спостережень) свідчить порушення нормального розподілення. Для визначення браку можна використовувати критерій Стюдента.

$$\frac{y - \bar{y}}{S} \geq t \quad (4.4)$$

$t$  – табличне значення критерію Стюдента,  $t = 1,86$

$$\frac{1,99 - 2,22}{0,16} = 2,1 > 1,86$$

Тому браку не буде.

#### 4.2.3. Обробка результатів експериментів

Визначаємо коефіцієнти  $b_i$  за наступними формулами:

$$b_0 = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_8}{8} = 2,22;$$

$$b_1 = \frac{-y_1 + y_2 - y_3 + y_4 - y_5 + y_6 - y_7 + y_8}{8} = -0,16;$$

$$b_2 = \frac{-y_1 - y_2 + y_3 + y_4 - y_5 - y_6 + y_7 + y_8}{8} = -0,0375;$$

$$b_3 = \frac{-y_1 - y_2 - y_3 - y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8}{8} = -0,005.$$

де  $b_i$  – значення коефіцієнтів в рівнянні. Підставивши розрахункові значення в рівняння

$$y = b_0 + b_1 \lg V + b_2 \lg S + b_3 \lg t = 2,22 - 0,16 \cdot 0,05 - 0,0375 \cdot 0,0627 - 0,005 \cdot 0,0717$$

#### 4.2.4. Перевірка адекватності моделі

Перевірка придатності отриманої моделі називається перевіркою адекватності моделі. При проведенні повнофакторного експерименту  $2^3$ , число ступенів вільності буде

$$f = N - (k + 1) = 8 - (3 + 1) = 4.$$

де  $k+1$  – число коефіцієнтів моделі,  $k=3$ .

Залишкова сума квадратів поділена на число ступенів вільності, називається залишковою дисперсією або дисперсією адекватності  $S^2_{ад}$  і визначається за формулою

$$S^2_{ад} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta y_i^2}{f}, \quad (4.5)$$

де  $\Delta y_i = y_i - y$ ,

$y_i$  – значення  $y$  в  $i$ -тій точці, отримане експериментальним шляхом;

$$y = 2,184;$$

$f$  – число ступенів вільності.

$$\Delta y_1 = 2,44 - 2,184 = 0,256;$$

$$\Delta y_2 = 2,17 - 2,184 = -0,014;$$

$$\Delta y_3 = 2,32 - 2,184 = 0,136;$$

$$\Delta y_4 = 2,05 - 2,184 = -0,134;$$

$$\Delta y_5 = 2,39 - 2,184 = 0,206;$$

$$\Delta y_6 = 2,11 - 2,184 = -0,074;$$

$$\Delta y_7 = 2,27 - 2,184 = 0,086;$$

$$\Delta y_8 = 1,99 - 2,184 = -0,194.$$

Тоді  $S^2_{ад}$  буде

$$S^2_{ад} = \frac{0,256^2 + (-0,014)^2 + 0,136^2 + (-0,134)^2 + 0,206^2 + (-0,074)^2 + 0,086^2 + (-0,194)^2}{4} = 0,0581$$

Значення дисперсії адекватності  $S^2_{ад}$  і дисперсію відтворювання  $S^2$ , за критерієм Фішера (F-критерій), перевіряємо гіпотезу про адекватність моделі за наступною формулою:

$$F = \frac{S^2_{ад}}{S^2} = \frac{0,0581}{0,027} = 2,15 \quad (4.6)$$

Якщо розраховане значення F-критерія не перевищує табличне при заданому рівні значимості (0,05)  $F_{\phi} = 3,8$

$$F < F_{\phi}$$

$$2,15 < 3,8.$$

Отже з відповідною довірчою ймовірністю модель можна вважати адекватною.

Також всі ці розрахунки приведені в комп'ютерному варіанті і виконані за допомогою програми Excel 2000 (рис. 4.1, 4.1).

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Матриця планування експерименту

№ п/п	Фактори			Кодовані значення			T <sub>i</sub> , хв.	y <sub>i</sub> =lgT
	V, м/хв.	S, мм/зуб	t, мм	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>		
1	V <sub>min</sub> =90	S <sub>min</sub> =0,35	t <sub>min</sub> =3	-1	-1	-1	278	2,44
2	V <sub>max</sub> =110	S <sub>min</sub> =0,35	t <sub>min</sub> =3	1	-1	-1	149	2,17
3	V <sub>min</sub> =90	S <sub>max</sub> =0,45	t <sub>min</sub> =3	-1	1	-1	211	2,32
4	V <sub>max</sub> =110	S <sub>max</sub> =0,45	t <sub>min</sub> =3	1	1	-1	113	2,05
5	V <sub>min</sub> =90	S <sub>min</sub> =0,35	t <sub>max</sub> =4	-1	-1	1	243	2,39
6	V <sub>max</sub> =110	S <sub>min</sub> =0,35	t <sub>max</sub> =4	1	-1	1	130	2,11
7	V <sub>min</sub> =90	S <sub>max</sub> =0,45	t <sub>max</sub> =4	-1	1	1	184	2,27
8	V <sub>max</sub> =110	S <sub>max</sub> =0,45	t <sub>max</sub> =4	1	1	1	99	1,99
9	V <sub>cp</sub> =100	S <sub>cp</sub> =0,4	t <sub>cp</sub> =3,5	0	0	0	160	2,2
10	V <sub>cp</sub> =100	S <sub>cp</sub> =0,4	t <sub>cp</sub> =3,5	0	0	0	160	2,2
11	V <sub>cp</sub> =100	S <sub>cp</sub> =0,4	t <sub>cp</sub> =3,5	0	0	0	160	2,2
12	V <sub>cp</sub> =100	S <sub>cp</sub> =0,4	t <sub>cp</sub> =3,5	0	0	0	160	2,2

Рисунок 4.1 – Вікно програми ExcelXP

18	Середньоквадратичне значення	$\bar{y}$	2,22										
19	Вибірочна дисперсія	S <sup>2</sup>	0,027										
20	Середньоквадратичне відхилення	S	0,16										
21	Значення критерія Стюдента	t	2,1	Табличне			1,86						
22	Коефіцієнти	b <sub>0</sub>	2,22										
23		b <sub>1</sub>	-0,16										
24		b <sub>2</sub>	-0,0375										
25		b <sub>3</sub>	-0,005										
26	Рівняння	$y = b_0 + b_1 \lg V + b_2 \lg S + b_3 \lg t = 2,22 - 0,16 \cdot 0,05 - 0,0375 \cdot 0,0627 - 0,005 \cdot 0,0717$											
28		$\Delta y_1=0,256$											
29		$\Delta y_2=-0,014$											
30		$\Delta y_3=0,136$											
31		$\Delta y_4=-0,134$											
32		$\Delta y_5=0,206$											
33		$\Delta y_6=-0,074$											
34		$\Delta y_7=0,086$											
35		$\Delta y_8=-0,194$											
36	Дисперсія адекватності	S <sup>2</sup> <sub>ад</sub>	0,0581										
37	Критерій Фішера	F	2,15	Табличне			3,8						

Рисунок 4.2 – Вікно програми ExcelXP

## ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи зі спеціальності «Галузеве машинобудування» було розроблено проект виготовлення здвоєного гідравлічного насоса із дослідженням технологічних процесів обробки деталей «боковина» та «шестерня».

Були розроблені маршрут обробки деталей, структура та зміст технологічних операцій обробки; визначені особливості обробки базових та робочих поверхонь, розраховані режими обробки; вибрано схеми базування заготовок, підібране металорізальне обладнання, різальний інструмент, верстатні пристрої, вимірювальний інструмент та контрольні пристрої. У дослідній частині була розв'язана задача оптимізації режимів різання шляхом побудови математичної моделі із застосуванням методів лінійного програмування. При виконанні дослідницької частини враховано багато факторів: властивості інструментального і оброблюваного матеріалу, геометрію інструмента, режими різання, що описують залежність стійкості інструменту від швидкості різання  $V$ , подачі  $S$  та глибини різання  $t$ . Найбільшим чином впливає на стійкість інструменту, як правило, швидкість різання, тому залежностям  $T=f(V)$ .

Отримані в результаті досліджень функціональні залежності стійкості від швидкості різання та елементів перерізу, шару, що зрізується, представлені у функціональному вигляді, підтверджують забезпечення достатнього рівня стійкості інструменту.

Унаслідок виконання магістерської кваліфікаційної роботи були закріплені теоретичні знання та вироблені практичні навички, що потрібні при роботі випускникам спеціальності «Галузеве машинобудування» освітнього ступеня «магістр» на виробництві.

								Арк.
								78
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ			

## ЛІТЕРАТУРА

1. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок: Підручник.– Львів: Світ, 1996.
2. Баладінський В.Л., Назаренко І.І., Онищенко О.Г. Будівельна техніка: підручник.– Київ-Полтава: КНУБА-ПНУБА, 2002.– 462 с.
3. Вольтерс О.Ю., Головань В.П., Діктерук М.Г. Підйомно-транспортна техніка будівельної індустрії: навч. посіб.– К.: КНУБА, 2001.– 208 с.
4. Назаренко І.І. Машина для виробництва будівельних матеріалів: підручник.– К.: КНУБА, 1999.– 488 с.
5. Ніколенко І.В., Дащенко О.Ф., Красовський Є., Сосновський С., Яковенко А.М. Гідравліка, гідравлічні машини, гідроприводи: навч. посіб.– Сімферополь: РВВ НАПКБ, 2008.– 321 с.
6. Русан І.В., Гаркавенко О.М., Вольтерс О.Ю. Механізми і устаткування транспортуючих машин: навч. посіб.– К.: КНУБА, 2007. – 240 с.
7. Сукач М.К., Ніколенко І.В., Вольтерс О.Ю. Будівельна техніка: навч. посіб.– К.-Сімф-ль: КНУБА-НАПКС, 2010.– 296 с.
8. Пілюшенко В. Л., Шкрабак І. В., Славенко Е. І. Наукове дослідження: Організація, методологія, інформаційне забезпечення: навч. посіб. Київ: Лібра, 2004. 344 с.
9. ДБН В.2.8-3-95. Будівельна техніка, оснастка, інвентар та інструмент. Технічна експлуатація будівельних машин. Вид. офіц. Київ: Держкоммістобуд України, 1995. 42 с.
10. Іпполітова І. Я., Сорокотяженко К. С. Формування організаційно економічного механізму енергозбереження на підприємстві. Глобальні та національні проблеми економіки. 2015. Вип. 8. С. 406–411.
11. Краснікова Л. І., Останін Д. В. Оцінка ефективності виробництва та споживання електроенергії в Україні. Наукові записки НАУКМА: Т. 15. Економіка. 1999. С. 38–46.

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк.
						79
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Микитенко В. В. Енергоефективність промислового виробництва : монографія. Київ : Об'єд. ін-т економіки, 2004. 281 с.
13. Іщук С. І., Гладкий О. В. Техніко-економічні основи промислового виробництва : навч. посіб. Київ : Академія, 2011. 296 с.
14. Сердюк Л. І. Теорія розмірностей, теорія подібності та математичне моделювання : посіб. для студ. та аспірантів. Полтава : ПолтНТУ. 2005. 154 с.
15. ДСТУ ДСТУ 8.417-2002. Міждержавний стандарт. Державна система забезпечення єдності вимірів. Одиниці величин. ДНАОП. Законодавча база. Чинний від 2003-09-01. Вид. офіц. 2002. 24 с.

					ГММ 602-ММв.029-00.00.000 ПЗ	Арк.
						80
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		