

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ**  
**«Сумський державний університет»**

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи (проєкту)

перший (бакалаврський)  
(освітньо-науковий рівень)

на тему «Проектування технологічного процесу виготовлення корпусу КПП.2.440 пневмостола верстата моделі 2E440A»

Виконав: студент IV курсу, групи VI-91-1  
спеціальності: \_\_\_\_\_

133 «Галузеве машинобудування»  
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми: \_\_\_\_\_

«Металорізальні верстати та системи»  
(назва освітньої програми)

Микита СКАБЕНОК  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник Павло КУШНІРОВ  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент Андрій ДОВГОПОЛОВ  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ**  
**«Сумський державний університет»**

Інститут, факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів  
Освітньо-науковий перший (бакалаврський)  
рівень (назва)  
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»  
(шифр і назва)  
Освітня програма «Металорізальні верстати та системи»  
(назва освітньої програми, за наявності)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри технології  
машинобудування, верстатів та  
інструментів

Віталій ІВАНОВ

«   »     2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) СТУДЕНТУ**

Скабенюк Микита Максимович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Проектування технологічного процесу виготовлення  
корпусу КПП.2.440 пневмостола верстата моделі 2E440A

керівник проєкту Кушніров Павло Васильович, канд. техн. наук, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «04» квітня 2023 року № 0338 -VI

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) «01» червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи (проєкту)

3.1 Робоче креслення деталі «корпус КПП.2.440».

3.2 Річний обсяг випуску деталей – 5000 шт.

3.3 Базовий технологічний процес виготовлення деталі «корпус КПП.2.440».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Аналіз службового призначення верстата, вузла, деталі

4.2 Розроблення робочого креслення заданої деталі

4.3 Аналіз технологічності конструкції деталі

4.4 Вибір способу отримання заготовки й розроблення технічних вимог до неї

4.5 Розроблення технологічного процесу виготовлення заданої деталі

4.6 Розрахунок припусків на механічне оброблення поверхонь

4.7 Проектування верстатного пристрою

4.8 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

## 5. Зміст графічної частини (перелік креслень, які потрібно розробити)

5.1 Креслення вихідної заготовки

5.2 Креслення маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі

5.3 Креслення операційного налагодження

5.4 Креслення верстатного пристрою

## 6. Інша конструкторська та технологічна документація

## 5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

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

6. Дата видачі завдання « 01 » \_\_\_\_ 03 \_\_\_\_ 2023 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	11.05.2023	
2	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	16.05.2023	
3	Оформлення пояснювальної записки	20.05.2023	
4	Оформлення креслень	25.05.2023	
5	Оформлення презентації	31.05.2023	

Студент

(підпис)

**Микита СКАБЕНОК**

(ім'я та ПІРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи (проєкту)

(підпис)

**Павло КУШНІРОВ**

(ім'я та ПІРІЗВИЩЕ)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**

---

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
(повна назва інституту/факультету)

---

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ *Віталій Іванов*  
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_ 2023\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»,  
(код та назва)

освітньо-наукової програми  
(освітньо-професійної / освітньо-наукової)

*«Металорізальні верстати та системи»*

(назва програми)

на тему: *Проектування технологічного процесу виготовлення корпусу КПП.2.440 пневмостола верстата моделі 2E440A*

Здобувача групи ВІ-91-1 Скабенюк Микита Максимович  
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ *Микита СКАБЕНЮК*

\_\_\_\_\_ (підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник доцент, к.т.н., доцент Павло КУШНІРОВ

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_ (підпис)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 65 с., 15 табл., 18 рис., 25 джерел;

Мета роботи: Проєктування технологічного процесу виготовлення корпусу КП1.2.440 пневмостола верстата моделі 2E440A.

Об'єкт дослідження: деталь корпус пневмостола верстата моделі 2E440A.

В бакалаврській роботі було розроблено технологічний процес виготовлення корпусу пневмостола координатно-розточувального верстата моделі 2E440A. Було проведено аналіз службового призначення верстата, вузла, деталі та аналіз технологічності конструкції корпусу КП1.2.440.

Обрана партія виготовлення кількістю 5000 деталей, для можливого подальшого використання заданих деталей в ремонтних цілях на інших верстатах заданої моделі. В процесі виконання проєкту були проаналізовано та вибрано спосіб отримання заготовки – лиття у кокіль. Розраховані припуски на механічне оброблення поверхонь для  $\varnothing 170H9$ .

В роботі запропонований модернізований технологічний процес виготовлення заданої деталі з використанням сучасних верстатів з ЧПК. Виконався аналіз технологічних операцій: 025 Токарна з ЧПК та 050 Багатоцільова з ЧПК, відразу при цьому було проведено обґрунтування вибору схеми базування і закріплення заготовки, технологічного оснащення та верстатного обладнання, підібрані режим різання і виконано нормування часу. Графічна частина роботи виконана для таких креслень: деталі, заготовки, маршрутного технологічного процесу, спеціального пристрою та операційного налагодження для обробки даного корпусу.

КОРПУС, МОДЕРНІЗОВАНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ЗАГОТОВКА, ПРИПУСК, ІНСТРУМЕНТ, НОРМИ ЧАСУ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ПРИСТРІЙ

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналіз службового призначення верстата, вузла, деталі.....	8
2 Розроблення робочого креслення заданої деталі.....	14
3 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	16
4 Вибір способу отримання заготовки й розроблення технічних вимог до неї.....	18
5 Розроблення технологічного процесу виготовлення заданої деталі.....	22
5.1 Розрахунок припусків на механічне оброблення поверхонь.....	22
5.2 Аналіз та обґрунтування схем базування й закріплення заготовки.....	25
5.3 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів.....	29
5.4 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів.....	31
5.5 Визначення режимів різання.....	35
5.6 Технічне нормування операцій.....	39
6 Вибір верстатного пристрою.....	41
Висновки.....	54
Список використаної літератури.....	55
Додаток А.....	58
Додаток Б.....	59
Додаток В.....	60
Додаток Г.....	65
Додаток Д.....	66

					<b>ВІ 21510038-00 ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Скабенюк			Проектування технологічного процесу виготовлення корпусу КПП.2.440 пневмостола верстата моделі 2E440A	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Кушніров				6	66	
Реценз.						<b>СумДУ, ВІ-91-1</b>		
Н. контр.		Євтухов						
Затверд.		Іванов						

## ВСТУП

У наш час розвиток машинобудування характеризується різними інноваційними нововведеннями, а також удосконаленнями машинобудування. Вдосконалення конструкції машини технології та їх виробництва.

Основною виробництва машин є мета підвищення якості продукції, а саме необхідна кількість та якість з мінімальними матеріальними витратами. Розробка технології обробки деталей на верстах є однією з важливіших елементів верстатобудування.

Важливими завданням машинобудування являється зміна виробничої структури з ціллю підвищення якості обладнання та виготовленої завдяки неї продукції. Особливе місце у цьому має модернізація машинобудування, яка має залежити від технічного рівня верстатобудівної промисловості.

Сьогодні українське машинобудування перебуває в дуже ганебному стані, майже на всіх підприємствах використовується старе обладнання, частина яких намагається модернізувати та покращити це обладнання. Через недостатнє фінансування фірми змушені й надалі працювати на застарілому обладнанні. Один з варіантів вирішення проблеми являє собою допомогу від іншої держави, та збільшенням кваліфікованих спеціалістів, які зможуть знайти більш економічні шляхи виробництва.

Метою даної кваліфікаційної роботи бакалавра є поліпшення базового технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус», з урахуванням використання прогресивних методів обробки металу із застосуванням верстатів з ЧПУ, підвищення продуктивності праці за рахунок використання механізованого верстатного пристрою.

Деталь «Корпус» входить до складу вузла, який є частиною координатно-розточувального верстата моделі 2E440A.

# 1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ВЕРСТАТА, ВУЗЛА, ДЕТАЛІ. ОПИС КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДЕТАЛІ ТА УМОВ ЇЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Деталь «Корпус» входить до складу вузла пневмостола, який є частиною координатно-розточного верстата моделі 2E440A.

Початок серійного виробництва координатно-розточувального верстата 2E440A – 1977 рік. Він замінив у виробництві застарілий верстат 2B440A.

Координатно-розточувальний верстат 2E440A особливо високої точності (А за ГОСТ 8-71) призначений для обробки отворів з точним розташуванням осей, розміри між якими задані у прямокутній системі координат.

Поряд із розточуванням на верстаті можуть виконуватися свердління, легке (чистове) фрезерування, розмітку та перевірку лінійних розмірів, зокрема і міжцентрових відстаней. Верстат забезпечений поворотними столами, що дає можливість проводити обробку отворів, заданих у полярній системі координат, похилих та взаємно перпендикулярних отворів та проточування торцевих площин.

Координатно-розточувальний верстат 2E440A використовується для робіт в інструментальних цехах (обробка кондукторів та пристроїв) та у виробничих цехах для точної обробки деталей без спеціального оснащення.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд координатно-розточувального верстата моделі 2E440A



Основні вузли верстату:

- Станіна;
- Стіл-салазки;
- Масштаб поздовжній;
- Масштаб поперечний;
- Привід переміщення стола;
- Привід переміщення санок;
- Коробка швидкостей;
- Стійка;
- Шпиндельна бабка;
- Блок напрямних;
- Шпіндель;
- Пристрій встановлення на глибину;
- Охолодження;
- Станція охолодження.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики верстата 2E440A

Найменування параметру	Значення
1	2
Точність встановлення координат, мм	0,005
Точність відстаней між осями отворів, що розточуються на верстаті, мм	0,008
Точність діаметра, що розточується, мм	0,004
Частота обертання шпинделя, об./хв	50...2000
Подача гільзи шпинделя, мм/об.	0,03-0,16
Подача стола (лазок), мм/хв:	1600
Найбільший діаметр свердління	25
Найбільший діаметр розточування	250
Внутрішній конус шпинделя (спеціальний) № 40	7:24

Продовження таблиці 1.1

1	2
Клас точності згідно з ГОСТ 8-71	А
Допустима вага виробу, що обробляється при установленні на столі верстата, кг	320
Ціна поділу відлікового пристрою встановлення координат, мм	0,001
Найбільший конус інструменту, що закріплюється Морзе	4
Число Т-подібних пазів на столі	5
Потужність головного приводу, кВт	4,5
Габарити верстата, мм:	
- Довжина	2440
- ширина	2195
- висота	2430
Вага верстата, кг	3500

Корпус КП1.2.440 пневмостола являє собою стіл круглий нерухомий з пневматичним затиском і Т-подібними пазами ГОСТ 20218-74.

Круглий нерухомий стіл з пневматичним затиском і Т-подібними пазами призначений для встановлення та закріплення заготовок при виконанні стандартних робіт на координатно-розточувальному верстаті моделі 2Е440А.

Стіл (рис.1.2) являє собою установку, що складається з корпусу КП1.2.440 пневмостола і поршня зі штоком.

Монтаж столу можна здійснювати за допомогою крану.

Експлуатація даного стола можлива на фрезерних, свердлильних та інших верстатах подібних до них. Для працездатності виробу потрібна пневмомережа (0,4МПа), температура  $+25^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ , та вологістю повітря не більше 60%.

Корпус (рис.1.3) призначений для складання затискного механізму і встановлення заготовок на нього для подальшої обробки на верстаті 2Е440А.

Корпус має Т-подібні пази, у котрі можуть вставлятися затискні прилади (гвинти), закріплюючи пази, за які закріплюється стіл, циліндричну камеру, для руху в ній поршня, отвори для подачі повітря до циліндричної камери, впадини на циліндричній поверхні.

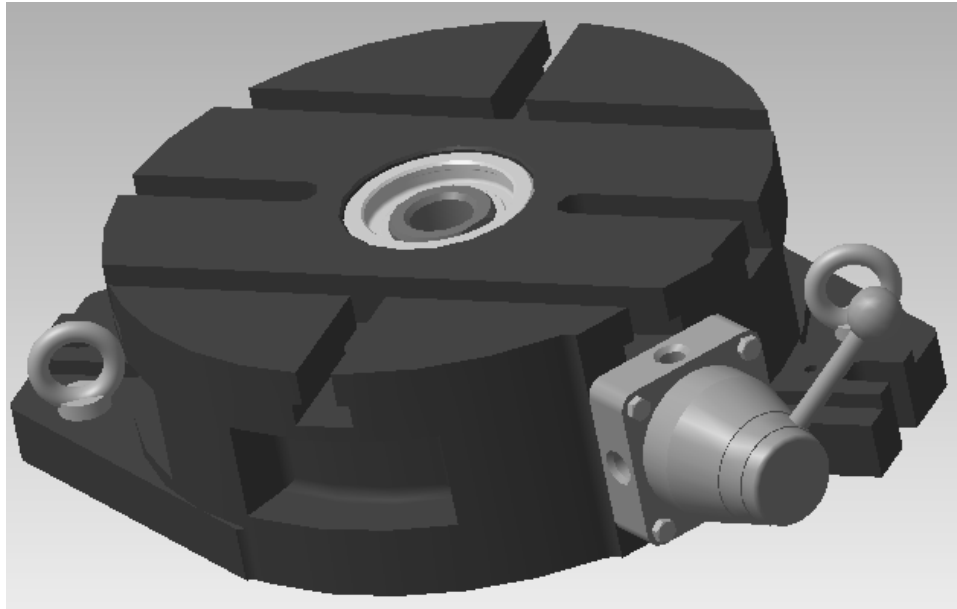


Рисунок 1.2– Стіл круглий нерухомий з пневматичним затиском і Т-подібними пазами

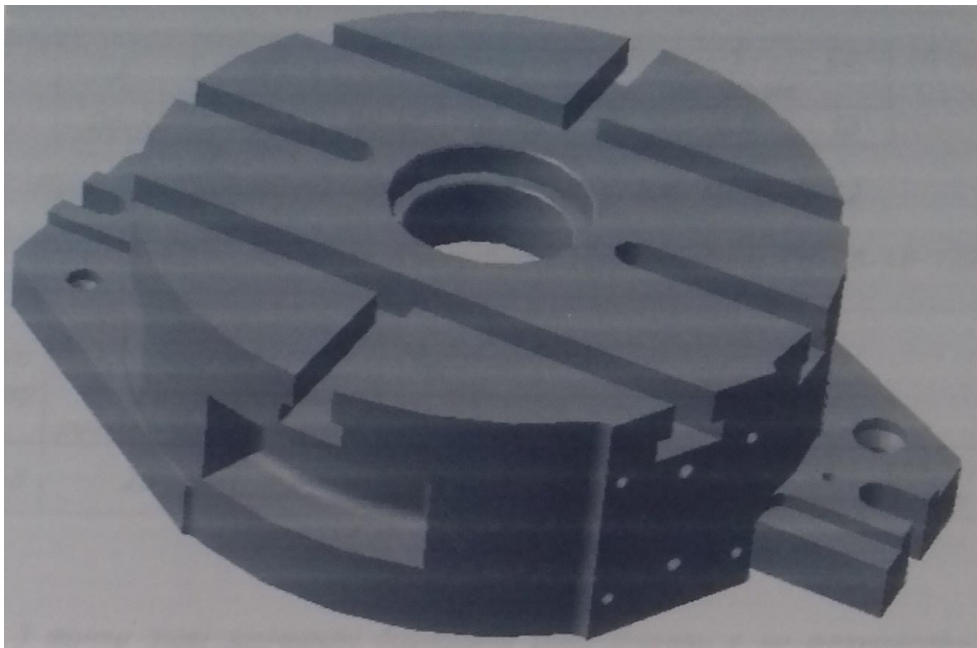


Рисунок 1.3– Корпус КП1.2.440 пневмостола координатно-розточувального верстата моделі 2E440A

Класифікація поверхонь деталі (рис. 1.4):

1. Конструкторські бази:
  - основні: 9, 14, 22.
  - допоміжні: 5, 6, 7, 8, 18, 20, 23, 24, 25, 26, 27.
2. Вільні бази: 1, 2, 3, 4, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 21.

Корпус встановлюється на торець 14, через пази 22 закріплюється за допомогою двох болтів, які притискають корпус, після цього в паз 9 вставляється палець для запобіганню обертання.

Поверхні 5, 6, 7, 8 являють собою Т-подібні пази які становляться допоміжними базами при обробці закріплених деталей. Поверхні 18, 20, 23, 24, 25, 26, 27 використовуються для закріплення робочого приводу пневмостола.

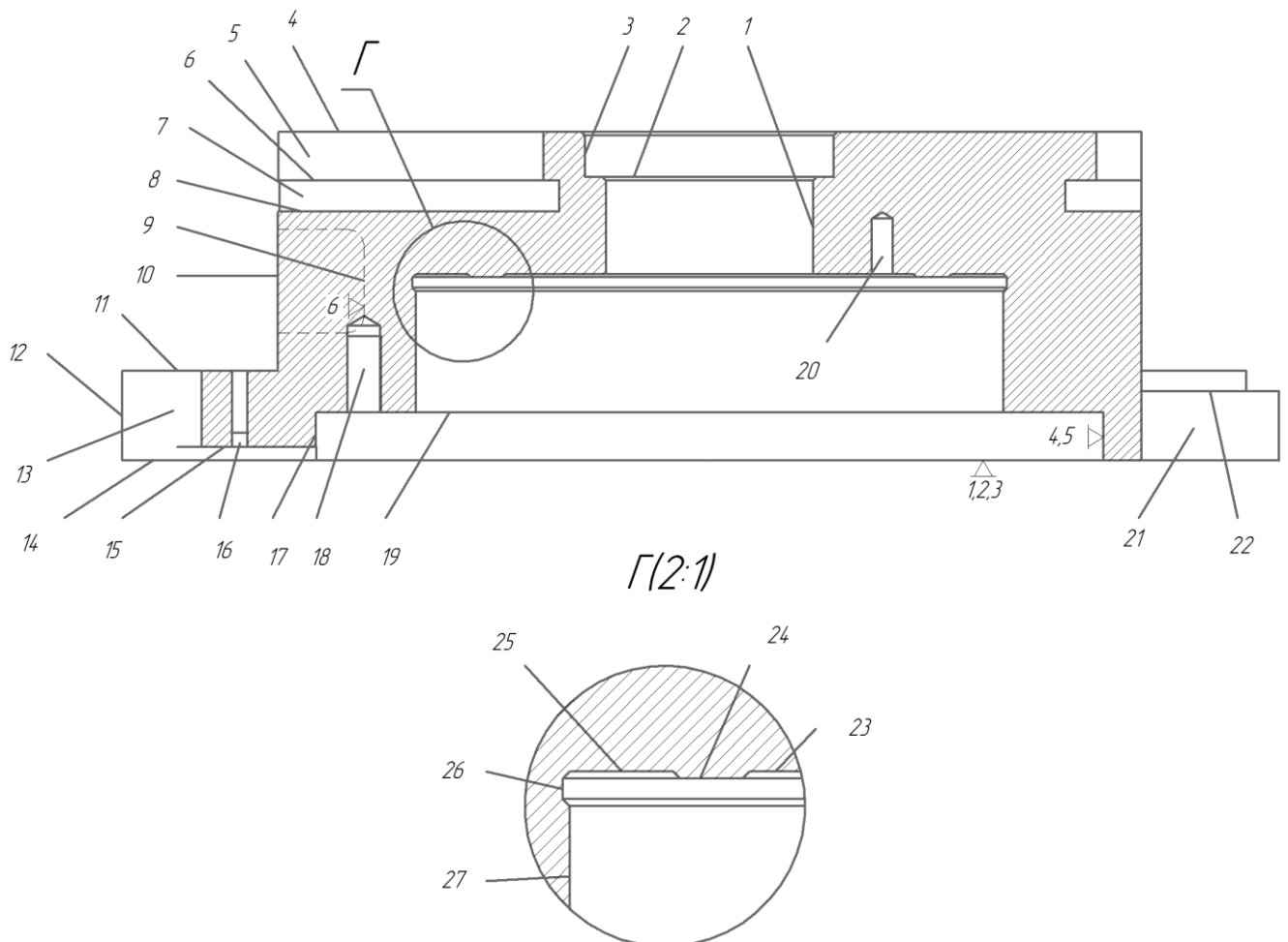


Рисунок 1.4 - Класифікація поверхонь деталі

Також покажемо таблицю відповідностей. Наша деталь позбавлена шести ступенів вільності. Установча база, нижній торець, позбавляє трьох ступенів вільності обертання X та Y і переміщення по Z. Подвійна опорна база, внутрішній циліндр, позбавляє двох ступенів вільності: переміщення по X і Y. Опорна база, паз на зовнішньому циліндрі, позбавляє однієї ступені вільності обертання по Z. У результаті не залишається вільних рухів, що необхідне для нормального функціонування деталі у виробі.

Таблиця 1.2 – Таблиця відповідностей

	X	Y	Z	Найменування баз
1	0	0	1	УБ
$\alpha$	1	1	0	
1	1	1	0	ПОБ
$\alpha$	0	0	0	
1	0	0	0	ОБ
$\alpha$	0	0	1	
$\Sigma$	2	2	2	6 Ступенів

## 2 РОЗРОБЛЕННЯ РОБОЧОГО КРЕСЛЕННЯ ЗАДАНОЇ ДЕТАЛІ

Розроблення робочого креслення деталі «Корпус» що входить до складу вузла пневмостола, який є частиною координатно-розточувального верстата моделі 2E440A виконувалося з допомогою САД системи. За чинними стандартами зображено достатню кількість проєкцій і перетинів, позначені розміри деталі, їх точність, шорсткість та надані технічні вимоги для її виготовлення. Виконане креслення за вимогами ЄСКД показано на рисунку 2.1.

Допуск симетричності канавки L14 відносно осі симетрії Ц. Витримується за рахунок обробки за одне закріплення.

Допуск симетричності Т-подібної канавки L14 відносно осі симетрії Ц. Витримується за рахунок обробки за одне закріплення.

Допуск паралельності внутрішнього отвору  $\varnothing 60H10$  відносно бази Ж внутрішній отвір  $\varnothing 170H9$ . Витримується за рахунок центрування заготовки при установленні відносно осі.

Допуск плоскості поверхні L95 дорівнює 0,01 мм. Витримується за рахунок обробки шліфуванням.

Допуск паралельності торця L95H10 відносно бази E L340. Витримується за рахунок обробки шліфуванням.

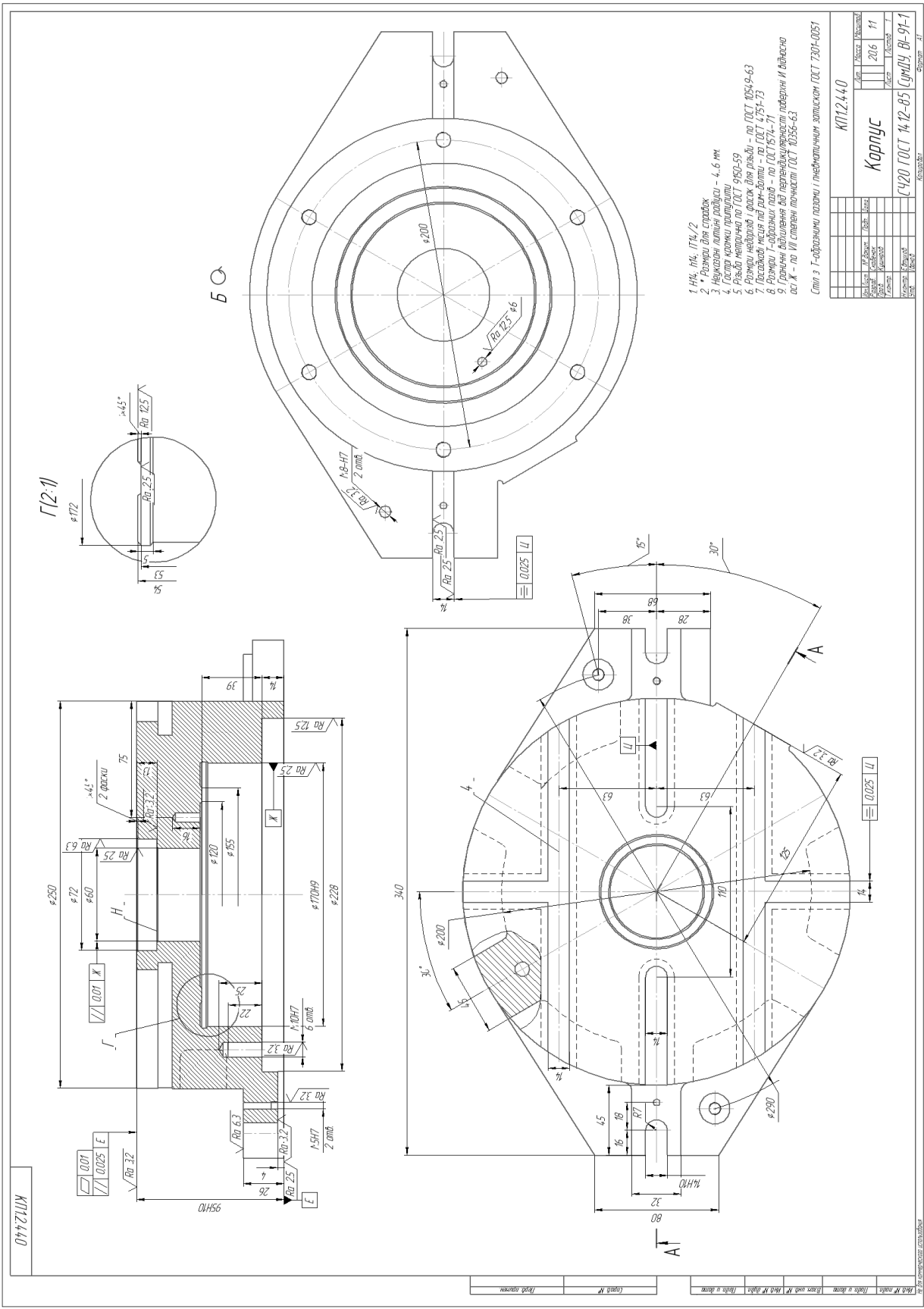


Рисунок 2.1 – Кресления деталі Корпус

### 3 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІ ДЕТАЛІ

У сучасному світі значну роль відіграє технологічність деталей, адже це впливає на трудомісткість і собівартість виробництва. Покращення технологічності дозволяє уникнути збитків підприємству.

Матеріал деталі – сірий чавун СЧ 28-48 ГОСТ 1412-70.

Замінники – СЧ 30 ГОСТ 1412-85.

Призначення – корпуси, муфти, пів муфти, чавунні шківни.

Хімічний склад чавуну (див. таблицю 3.1)

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сірого чавуну СЧ 28-48 ГОСТ 1412-70, у відсотках

C	Si	Mn	Cr	P	S	Cu
				Не більше		
2,8~3,2	1,4~1,8	0,8~1,0	0,6~0,8	0,15~1,3	0,12	1,8

Механічні властивості чавуну (див таблицю 3.2)

Таблиця 3.2 – Механічні властивості сірого чавуну СЧ 28-48 ГОСТ 1412-70

Марка чавуну	Границя міцності кг/мм <sup>2</sup>		Твердість НВ	Призначення
	При розтягненні	При згинанні		
28-48	28	48	170-241	Для відповідальних і складних деталей машинобудування



З точки зору зручності базування дана деталь є не технологічною, так як необхідне застосування спеціальних пристроїв на певних стадіях обробки.

Також в деталі присутні такі не технологічні елементи як:

- Глухі різьбові отвори (Рисунок 3.1);
- Глуха внутрішня циліндрична поверхня з канавкою (Рисунок 3.2);
- Т-подібні пази (Рисунок 3.3).

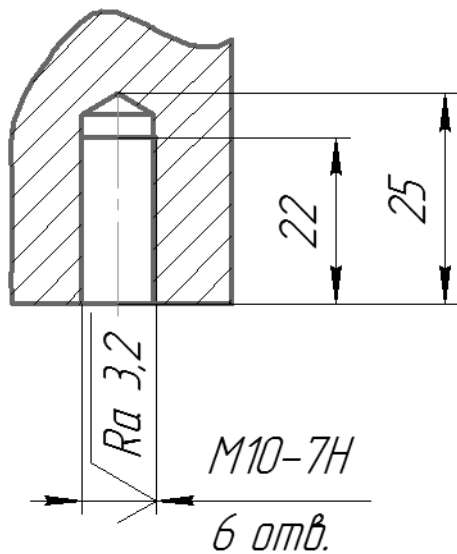


Рисунок 3.1 – Глухі отвори

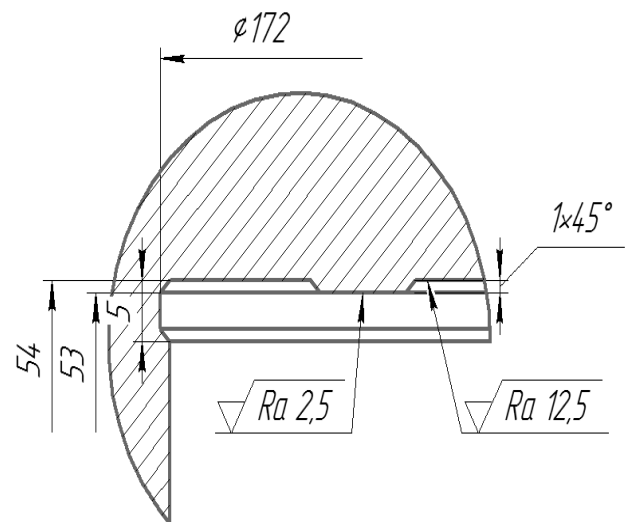


Рисунок 3.2 – Глуха циліндрична поверхня за канавкою

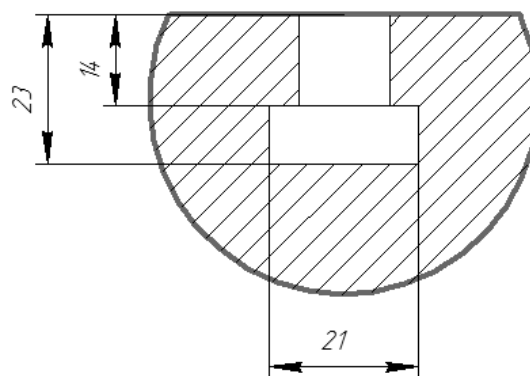


Рисунок 3.3 – Т-подібні пази

Незважаючи на не технологічні елементи в конструкції деталі вони не вимагають удосконалення, так як справно виконують свої функції та не мають аналога.

## 4 ВИБІР СПОСОБУ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВКИ Й РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО НЕЇ

Під час проектування процесу виготовлення деталі, важливу роль відіграє і вибір заготовки. Раціонально встановлений метод її отримання, форми і величини припусків та напусків впливають на обсяг майбутньої механічної обробки, а також фінансові витрати на виготовлення деталі.

Варто пам'ятати, що в процесі конструкторської підготовки виробництва вже визначений матеріал деталі. Маса та обсяг випуску також впливають на спосіб отримання заготовки.

Виготовлення деталей машин виконується з застосуванням наступних заготовок:

- лиття,
- кування,
- штампування,
- пресування
- металопрокат
- труби
- вирізання з листового матеріалу або холодне штампування

Спосіб отримання заготівки в базовому технологічному процесі представляв собою – лиття у глиняно-пісчану форму. Перевагами даного способу отримання заготовки є дешевизна. Недоліками є те, що для отримання деталі велика кількість металу йде у відходи, витрачається більше часу на механічну обробку, що веде за собою збільшення собівартості обробки. У пропонованому технологічному процесі заготовка виходить литтям у кокіль. Після розрахунків порівняємо вартість обох заготовок  $S_1$  і  $S_2$ , та виберемо найвигідніший.

Спочатку здійснимо розрахунок вартості заготовки, отриманої литтям у глиняно-пісчану форму.

Виконується за формулою:

$$S_1 = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{II} \right) - (Q - q) \cdot S_{отх} \quad (4.1)$$

де  $C_i$  – базова вартість 1 т заготовок, грн.;

$Q = 25,6$  кг – маса заготовки;

$q = 20,6$  – маса деталі;

$K_T = 1,0$  – коефіцієнт, який залежить від класа точності;

$K_C = 1,0$  – коефіцієнт, який залежить від ступеня складності;

$K_B = 0,8$  – коефіцієнт, який залежить від маси заготівки;

$K_M = 1,04$  – коефіцієнт, який залежить від марки матеріалу;

$K_{II} = 0,52$  – коефіцієнт, який залежить від обсяга випуску заготовок.

Після підстановки усіх значень отримуємо:

$$S_1 = \left( \frac{92000}{1000} \cdot 25,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,04 \cdot 0,52 \right) - (25,6 - 20,6) \cdot 5 = 993,95 \text{ грн.}$$

Далі виконаємо економічний розрахунок заготовки методом лиття у кокіль.

Виконується за формулою (1):

$K_T = 1,0$  – коефіцієнт, який залежить від класа точності;

$K_C = 0,83$  – коефіцієнт, який залежить від ступеня складності;

$K_B = 0,8$  – коефіцієнт, який залежить від маси заготівки;

$K_M = 1,04$  – коефіцієнт, який залежить від марки матеріалу;

$K_{II} = 0,52$  – коефіцієнт, який залежить від обсяга випуску заготовок.

Після підстановки усіх значень отримуємо:

$$S_2 = \left( \frac{92000}{1000} \cdot 25,6 \cdot 1,0 \cdot 0,83 \cdot 0,8 \cdot 1,04 \cdot 0,52 \right) - (25,6 - 20,6) \cdot 5 = 820,73$$

грн.

Після підрахунку витрат на заготовку методом лиття і прокату, ми можемо виконати розрахунок економічного ефекту

$$E_{зар} = (S_1 - S_2) \cdot N, \quad (4.2)$$

де  $S_1$  і  $S_2$  – вартість заготовки базового варіанта та того, що проектується, відповідно;

N – річний обсяг випуску деталей.

Підставляємо наші значення та отримуємо:

$$E_{\text{заг}} = (993,95 - 820,73) \cdot 5000 = 866\,100 \text{ грн.}$$

З розрахунків бачимо, що найбільш вигідним для наших умов буде використання заготовки отриманої методом лиття у кокіль. А економія на 5000 деталей буде складати 866 100 грн.

Технічні вимоги до заготовки:

1. Невказані ливарні радіуси 5 мм
2. Граничне відхилення зсуву відливки по площинам роз'єму 0,5 мм
3. На необроблюваних поверхнях допускаються раковини до 3 мм глибиною не більше 0,5 мм
4. Клас точності відливки 9..9..5..4 ГОСТ 26645-85
5. Допуски по ГОСТ 26645-85
6. Питоме жолобління 108 мкм
7. Очищення - піскострум.

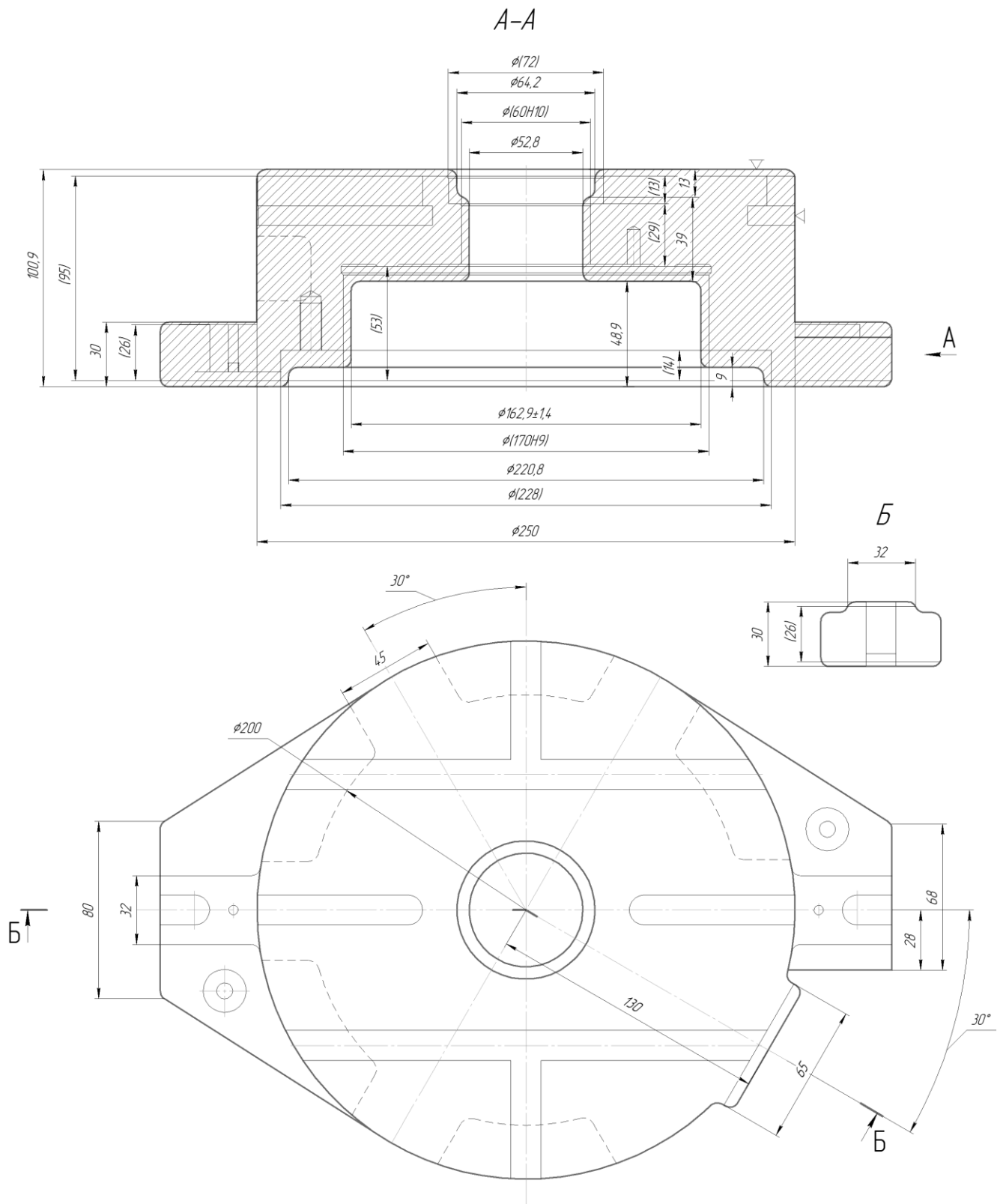


Рисунок 4.1 – Заготовка корпусу (виливок)

## 5 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАДАНОЇ ДЕТАЛІ

### 5.1 Розрахунок припусків на механічне оброблення поверхні $\varnothing 170\text{H9}$

Для одного з точних діаметральних розмірів деталі  $\varnothing 170\text{H9}^{(+0,1)}$  проведемо розрахунки припусків. Згідно з розрахунково-аналітичним методом професора В.М.Кована, цей розрахунок робимо за допомогою комп'ютерної програми "Pripusk".

Для розрахунків використаємо вихідні дані:

– маршрут оброблення заданої поверхні:

чорнове розточування (IT 11, Ra 12,5),

напівчистове розточування (IT 9, Ra 2,5),

– необхідні параметри поверхні (для вилівка класа точності 9 за таблицями програми для ЕОМ «Pripusk» такі: Rz = 200 мкм, T = 250 мкм; після чорнового розточування маємо шорсткість Rz = 80 мкм, дефектний шар маємо T = 80 мкм; після напівчистового розточування маємо Rz = 20 мкм, дефектний шар 20 мкм;

– просторове відхилення, для литва маємо:

$$\rho = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2} \quad (5.1)$$

Тоді за таблицями програми «Pripusk», похибка зміщення  $\rho_{зм}=1,96$  мм, похибка коробління  $\rho_{кор}=1$  (мкм/мм)·340(мм) = 340 мкм = 0,340 мм,

$$\rho_{заг} = \sqrt{1,96^2 + 0,340^2} = \sqrt{3,83 + 0,1156} = \sqrt{3,94} = 1,985(\text{мм}) = 1985\text{мкм}$$

Відхилення просторові, що є залишковими за виконаним переходом знайдемо, використовуючи коефіцієнти уточнення:

$$\rho_i = K_y \cdot \rho_{заг} \quad (5.2)$$

де  $K_y$  – це коефіцієнт уточнення,

$\rho_{заг}$  – це кривизна заготовки.

Тоді для чорнового розточування маємо:

$$\rho_1 = 0,06 \cdot \rho_{заг} = 0,06 \cdot 1,985 = 0,12 \text{ (мм)} = 120 \text{ (мкм)};$$

для напівчистового розточування:

$$\rho_2 = 0,04 \cdot \rho_{заг} = 0,04 \cdot 1,985 = 0,08 \text{ (мм)} = 80 \text{ (мкм)}.$$

Похибки базування та закріплення входять до похибки установлення.

Для вилівка за таблицями програми «Priskus» похибка базування  $\varepsilon_{61} = 100$  мкм, похибка закріплення  $\varepsilon_{31} = 0$  мкм;

Для напівчистового розточування (установлення в пристрої):  $\varepsilon_{62} = 80$  мкм та  $\varepsilon_{32} = 0$  мкм.

Результати розрахунків наведено у роздруку, у додатку Б

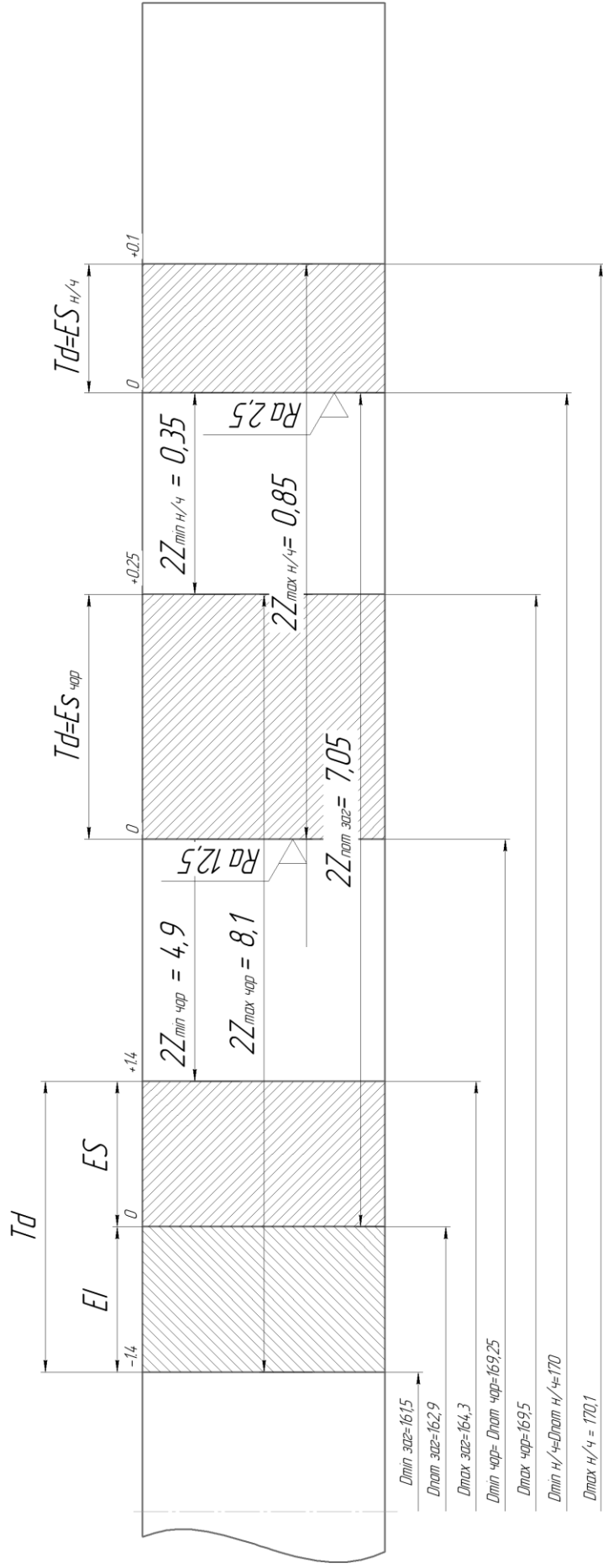


Рисунок 5.1 – Схема розгашування припусків та допусків на  $\text{Ø}170\text{H}9(^{+0,1})$



## 5.2 Аналіз та обґрунтування схем базування і закріплення заготовки

Для розгляду цього питання в якості технологічної операції була прийнята операція – 025 «Токарна з ЧПК» технологічного процесу. На даній операції обробляються поверхні, виділені на рисунку 5.2

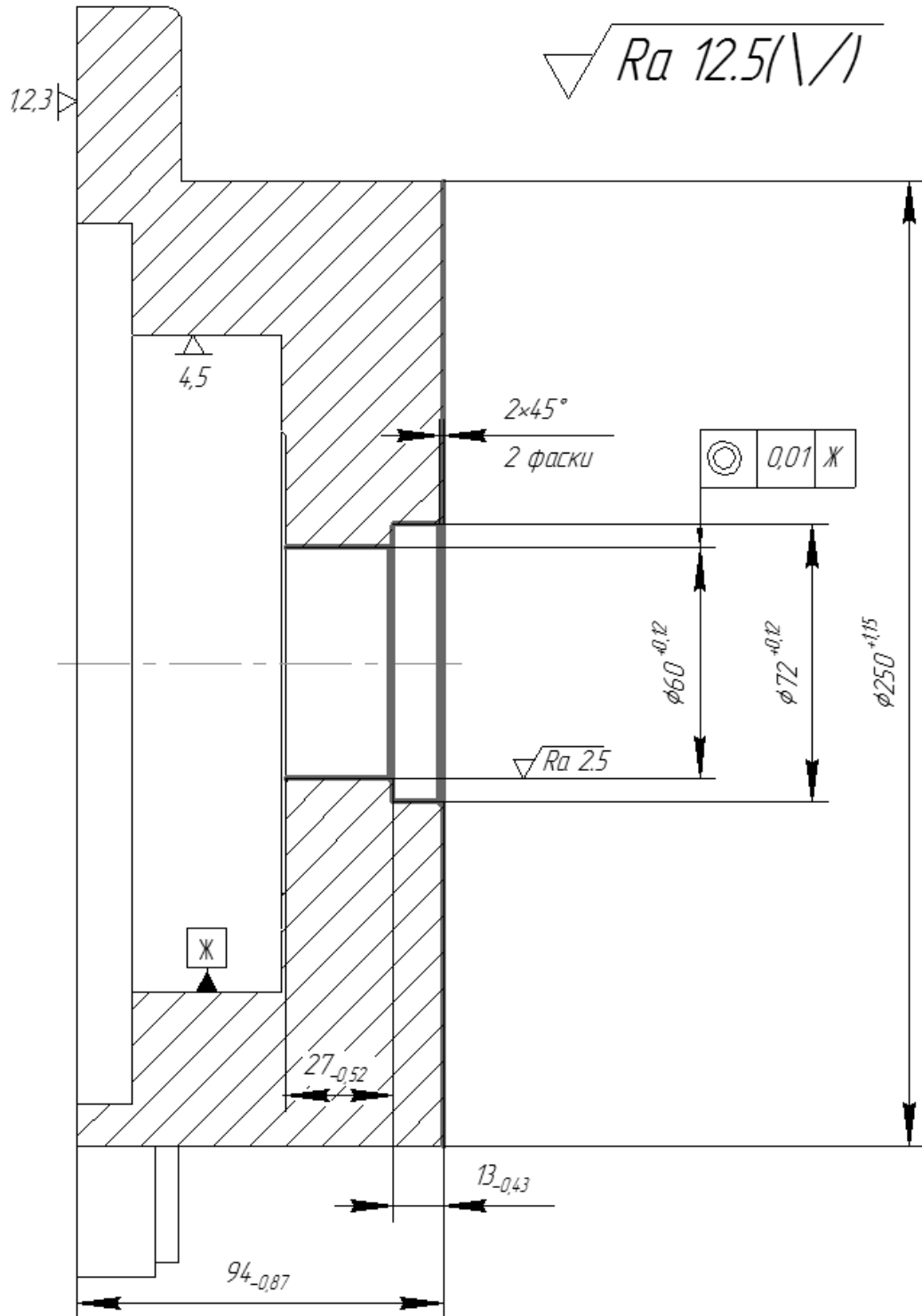


Рисунок 5.2 – Ескіз обробки заготовки на операції 025

Проаналізувавши поверхні, обирається спосіб базування в трьохкулачковий патрон з упором в торець. Зазначені поверхні є доступними, не заважають доступу ріжучого інструменту до оброблюваних поверхонь.

На даній операції заготовка позбавляється 5 ступенів вільності. При цьому виникають дві бази:

- Установча база, лівий торець, позбавляє трьох ступенів вільності: переміщення по X та обертання по Y та Z;
- Подвійна опорна база, внутрішній циліндр, позбавляє двох ступенів вільності переміщення по Y та Z.

Таблиця 5.1 – Таблиця відповідності

	Степені вільності	Найменування баз
1,2,3	I, IV, V	УБ
4,5	II, III	ПОБ

Таблиця 5.2 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування баз
1	1	0	0	УБ
$\alpha$	0	1	1	
1	0	1	1	ПОБ
$\alpha$	0	0	0	
$\Sigma$	1	2	2	5 Ступенів

Наступною операцією було прийнято - 050 «Багатоцільова з ЧПК» на якій фрезеруються Т подібні пази пази виділені на рисунку 5.3

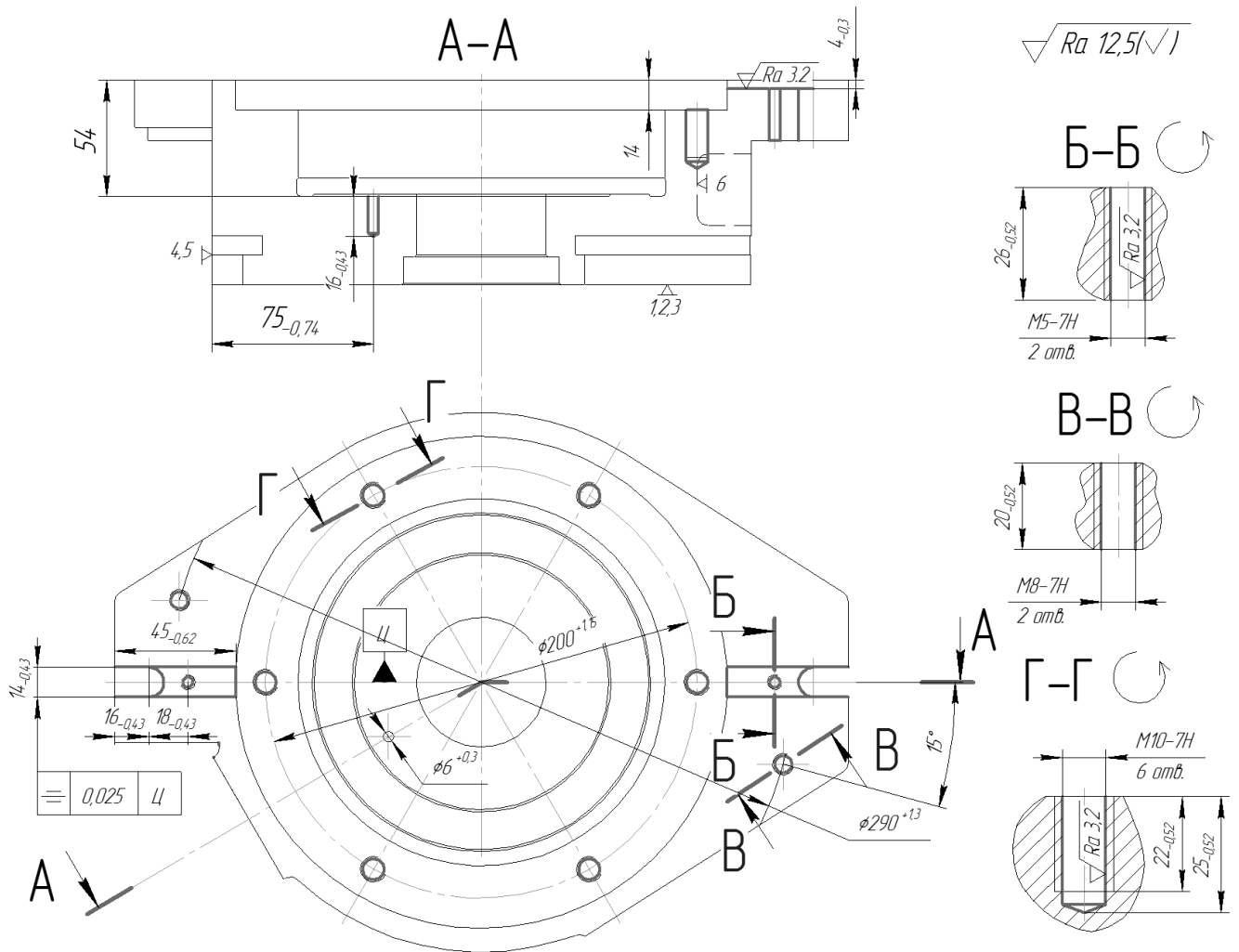


Рисунок 5.3 – Ескіз обробки заготовки на операції 050

Проаналізувавши поверхні, обирається спосіб базування в спеціальному пристрої пневматичним приводом однобічної дії. Зазначені поверхні є доступними, не заважають доступу ріжучого інструменту до оброблюваних поверхонь.

На даній операції заготовка позбавляється 6 ступенів вільності. При цьому виникають три бази:

– установча база, нижній торець, позбавляє трьох ступенів вільності обертання  $X$  та  $Y$  і переміщення по  $Z$ .

– подвійна опорна база, зовнішній циліндр, позбавляє двох ступенів вільності: переміщення по  $X$  і  $Y$ ;

– опорна база, паз на зовнішньому циліндрі, позбавляє однієї ступені вільності обертання по  $Z$ .

Таблиця 5.3 – Таблиця відповідності

	Ступені вільності	Найменування баз
1,2,3	II, IV, VI,	УБ
4,5	I, III	ПОБ
6	V	ОБ

Таблиця 5.4 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування баз
1	0	0	1	УБ
$\alpha$	1	1	0	
1	1	1	0	ПОБ
$\alpha$	0	0	0	
1	0	0	0	ОБ
$\alpha$	0	0	1	
$\Sigma$	2	2	2	6 Ступенів

### 5.3 Обґрунтування вибору металорізального верстату

Для виконання операції операції 025 «Токарна з ЧПК» вибираємо токарний верстат з ЧПК HaasST-20. При виборі даного обладнання з огляду на технологічні методи обробки поверхонь на даній операції (на операції проводиться точіння внутрішніх поверхонь і точіння торця) прийшли до висновку, що даний верстат цілком придатний для здійснення заданої операції. Технічна характеристика верстата приведена в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 - Технічні характеристики HaasST-20

Найменування параметрів	Величини	Од.вим.
Максимальний діаметр точіння над станиною	806	мм
Максимальний діаметр точіння над супортом	527	мм
Максимальна довжина обробки зовнішніх поверхонь	521	мм
Діаметр отвору у шпинделі	76	мм
Максимально допустиме зусилля по осі X	20,46	кН
Максимально допустиме зусилля по осі Z	25,80	кН
Максимальна потужність приводу обертання головного шпинделя	14,9	кВт
Розмір робочого переміщення по осі X	236	мм
Розмір робочого переміщення по осі Z	533	мм
Клас точності станка	П	

Для виконання операції 050 «Багатоцільова з ЧПК» вибираємо вертикально фрезерний центр з ЧПК HaasUMC-500. При виборі даного обладнання з огляду на технологічні методи обробки поверхонь на даній операції (на даних операціях проводиться фрезерування Т-подібних пазів та свердління отворів) прийшли до висновку, що даний верстат цілком придатний для здійснення заданої операції. Технічна характеристика верстата приведена в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Технічні характеристики HaasUMC-500

Найменування параметрів	Величини	Од.вим.
Макс. переміщення по осі X	610	мм
Макс. переміщення по осі Y	406	мм
Макс. переміщення по осі Z	406	мм
Макс. навантаження на планшайбу	226,8	кг
Макс. робочі подачі по осях	16,5	м/мин
Мінімальна відстань від столу до торця шпинделя	102	мм
Максимальна відстань від столу до торця шпинделя	508	мм

#### 5.4 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів

На операцію – 025 «Токарна з ЧПК» вибираємо верстатні пристрої, металорізальні та вимірювальні інструменти.

Для установлення і закріплення «Корпусу» використовуємо трьохкулачковий патрон (Патрон 7108-0021 ГОСТ 2571-71). Передача руху заготовці здійснюється через головний привід.

Для обробки торця використовуємо різець токарний прохідний (Різець прохідний, ТК510 MDLBL2525M20).

Для обробки внутрішніх поверхонь використовуємо різець розточувальний (Різець розточний, T15K6 D25GSCEAL15).

Для контролю розмірів використовуємо штангенциркуль ШЦ-II-150-0,1 ГОСТ 166-89 та ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-89.

Зведемо до таблиці 5.7 технологічну оснастку, що використовується при механічній обробці на операції 025.

Таблиця 5.7 – Ріжучий та вимірювальний інструмент, що використовується при обробці на операції 025 токарна з ЧПК

Номер та зміст переходу	Ріжучий інструмент	Верстатний пристрій	Вимірювальний інструмент
Точіння торця, розточування внутрішніх поверхонь	Різець прохідний, ТК510 MDLBL2525M20 Різець розточний, T15K6 D25GSCEAL15	Трьохкулачковий патрон 7108-0021 ГОСТ 2571-71	штангенциркуль ШЦ-II-150-0,1 ГОСТ 166-89; ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-89; ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89.

На операцію – 050 «Багатоцільова з ЧПК» вибираємо наступні верстатні пристрої, металорізальні та вимірювальні інструменти.

Для установлення і закріплення «Корпусу» використовуємо спеціальний верстатний пристрій .

Для фрезерування канавки використовуємо фрезу концеву  $\varnothing 14$  (Концева фреза  $\varnothing 14$  Т5К10 2223-0019 ГОСТ 17026-71).

Для свердління скрізних та глухих отворів використовуємо свердла (Свердло центровочне  $\varnothing 3$  Р6М5 2317-0118 ГОСТ 14952-75, Свердло  $\varnothing 4$  2301-1410 Р6М5 ГОСТ22736-77, Свердло  $\varnothing 6$  2301-1410 Р6М5 ГОСТ22736-77, Свердло  $\varnothing 7$  2301-1410 Р6М5 ГОСТ22736-77, Свердло  $\varnothing 9$  2301-1410 Р6М5 ГОСТ22736-77)

Для розгортання отворів використовуємо розгортки (Розгортка  $\varnothing 4.7$  2363-3436 Р6М5 ГОСТ1672-80, Розгортка  $\varnothing 5$  2363-3452 Р6М5 ГОСТ1672-80, Розгортка  $\varnothing 7.7$  2363-3436 Р6М5 ГОСТ1672-80, Розгортка  $\varnothing 8$  2363-3452 Р6М5 ГОСТ1672-80, Розгортка  $\varnothing 9.7$  2363-3436 Р6М5 ГОСТ1672-80, Розгортка  $\varnothing 10$  2363-3452 Р6М5 ГОСТ1672-80)

Для нарізання різьби використовуємо мітчик (Мітчик М5-7Н 2620-1437 Р6М5 ГОСТ 3266-81, Мітчик М8-7Н 2620-1437 Р6М5 ГОСТ 3266-81, Мітчик М10-7Н 2620-1437 Р6М5 ГОСТ 3266-81)

Зведемо до таблиці 5.8 технологічну оснастку, що використовується при механічній обробці на операції 050



Таблиця 5.8 – Ріжучий та вимірювальний інструмент, що використовується при обробці на операції 050 багатоцільова з ЧПК

Номер та зміст переходу	Ріжучий інструмент	Верстатний пристрій	Вимірювальний інструмент
1	2	3	4
Фрезерування канавок, свердління та нарізання різьби	<p>Концева фреза <math>\varnothing 14</math> T5K10 2223-0019 ГОСТ 17026-71,</p> <p>Свердло центровочне <math>\varnothing 3</math> P6M5 2317-0118 ГОСТ 14952-75,</p> <p>Свердло <math>\varnothing 4</math> 2301-1410 P6M5 ГОСТ22736-77,</p> <p>Свердло <math>\varnothing 6</math> 2301-1410 P6M5 ГОСТ22736-77,</p> <p>Свердло <math>\varnothing 7</math> 2301-1410 P6M5 ГОСТ22736-77,</p> <p>Свердло <math>\varnothing 9</math> 2301-1410 P6M5 ГОСТ22736-77,</p> <p>Розгортка <math>\varnothing 4.7</math> 2363-3436 P6M5 ГОСТ1672-80,</p> <p>Розгортка <math>\varnothing 5</math> 2363-3452 P6M5 ГОСТ1672-80,</p> <p>Розгортка <math>\varnothing 7.7</math> 2363-3436 P6M5 ГОСТ1672-80,</p> <p>Розгортка <math>\varnothing 8</math> 2363-3452 P6M5 ГОСТ1672-80,</p>	спеціальний верстатний пристрій	<p>штангенциркуль ШЦ-II-350-0,1 ГОСТ 166-89;</p> <p>ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89.</p>

Продовження таблиці 5.8

1	2	3	4
	<p>Розгортка ø9.7 2363-3436  Р6М5 ГОСТ1672-80,  Розгортка ø10 2363-3452  Р6М5 ГОСТ1672-80,  Мітчик М5-7Н 2620-1437  Р6М5 ГОСТ 3266-81,  Мітчик М8-7Н 2620-1437  Р6М5 ГОСТ 3266-81,  Мітчик М10-7Н 2620-1437  Р6М5 ГОСТ 3266-81.</p>		

## 5.5 Розрахунки режимів різання

Розрахунок режимів різання будемо проводити для операції 025 токарна з ЧПК.

На токарно-револьверному центрі з ЧПК HaasST-20 проводиться чорнове точіння торця і розточування поверхонь  $\varnothing 72H10$  та  $\varnothing 60H10$ .

Вибір режимів різання по стадіям проводжу по нормативам режимів різання:

Вибір подач  $S_o$ , мм/об.

1. Вибираю подачу для чорнового розточування  $S_o$  (мм/об) поверхонь з урахуванням поправочних коефіцієнтів.

Для різця №2, який розточує поверхню  $\varnothing 72$  за 1 прохід, та  $\varnothing 60$  за 2 проходи, таблична подача, яка обирається в залежності від оброблюваного діаметру – до 180 мм та глибини різання – до 2мм, рівна  $S_o = 0,23$ мм/об.

Поправочні коефіцієнти на подачу в залежності від:

1. Властивостей оброблюваного матеріалу  $K_{sm}=0,8$
2. Виліту різця (оправки)  $K_{sl}=1,0$
3. Радіуса при вершині різця  $K_{sr}=1,0$
4. Квалітету оброблюваної деталі  $K_{sk}=0,85$
5. Кінематичного кута в плані  $K_{s\phi}=0,8$
6. Діаметру деталі  $K_{sD}=0,8$

$$K = K_{sm} \cdot K_{sl} \cdot K_{sr} \cdot K_{sk} \cdot K_{s\phi} \cdot K_{sD} \quad (5.3)$$

При цьому  $K=0,544$ , тоді подача для чорнового розточування по формулі буде рівна

$$S_o = 0,23 \cdot 0,544 = 0,13 \text{ мм/об.}$$

Вибір швидкості різання  $V_p$ , м/хв.

2. Вибираю швидкість різання  $V_p$  (м/хв.) для чорнового розточування з урахуванням поправочних коефіцієнтів.

Для різця №2, який обробляє поверхні  $\varnothing 72$ ,  $\varnothing 60$ , таблична швидкість різання рівна  $V_T=185$  м/хв.

Поправочні коефіцієнти на швидкість різання в залежності від:

1. Групи оброблюваного матеріалу  $K_{vc}=1,15$
2. Виду обробки  $K_{vo}=1,0$
3. Жорсткості верстату  $K_{vj}=0,75$
4. Механічних властивостей оброблюваного матеріалу  $K_{vm}=1,0$
5. Геометричних параметрів різця  $K_{v\varphi} = 1,0$
6. Періоду стійкості ріжучої частини різця  $K_{vt}=1,0$
7. Наявності охолодження  $K_{vj}=1,0$
8. Інструментального матеріалу  $K_{vi} = 1,0$
9. Способу кріплення пластини  $K_{vp} = 1,0$

Розрахункова швидкість різання буде рівна:

$$V_p = V_T \cdot K \quad (5.4)$$

де  $K$  – добуток всіх поправочних коефіцієнтів швидкості різання даної стадії обробки, тобто:

$$K = K_{vc} \cdot K_{vo} \cdot K_{vj} \cdot K_{vm} \cdot K_{v\varphi} \cdot K_{vt} \cdot K_{vj} \cdot K_{vi} \cdot K_{vp} \quad (5.5)$$

При цьому  $K=0,86$ , тоді розрахункова швидкість різання для чорнового розточування по формулі буде рівна:

$$V_p = 185 \cdot 0,86 = 159,1 \text{ м/хв.}$$

Визначаю розрахункові частоти обертання шпинделя  $n_p$  на всі стадії обробки для кожної поверхні по формулі:

$$n_p = (1000 \cdot V) / (\pi \cdot D), \text{ об/хв.} \quad (5.6)$$

Чорнове розточування поверхонь  $\varnothing 72$ ,  $\varnothing 60$  та торцю

$$n_p = (1000 \cdot 159,1) / (3,14 \cdot 250) = 203 \text{ об/хв.}$$

Розрахункові частоти обертання шпинделя корегую по паспорту верстата і приймаю фактичні частоти обертання шпинделя  $n_f$ . Так як верстат HaasST-20 має безступінчасту коробку частот обертання шпинделя, тому розрахункові частоти обертання шпинделя просто округлюємо до цілих значень з найменшою похибкою для зручності складання керуючої програми:

Чорнове розточування поверхонь  $\varnothing 72$ ,  $\varnothing 60$ .  $n_f = 210$  об/хв.

Визначаю фактичні швидкості різання  $V_f$  по формулі:

$$V_f = \frac{\pi \cdot D \cdot n_p}{1000}, \text{ м/хв.} \quad (5.7)$$

Чорнове розточування поверхонь  $\varnothing 72$ ,  $\varnothing 60$ :

$$V_f = (3,14 \cdot 250 \cdot 210) / 1000 = 165 \text{ м/хв.}$$

Визначаю хвилинну подачу  $S_m$  (мм/хв..) по стадіям користуючись формулою:

$$S_m = S_o \cdot n_f \text{ (мм/хв)} \quad (5.8)$$

де  $S_o$  – подача на оберт, мм/об.

$n_f$  – фактична частота обертання шпинделя, об/хв.

Чорнове розточування поверхонь  $\varnothing 72$ ,  $\varnothing 60$

$$S_m = 0,23 \cdot 210 = 48,3 \text{ мм/хв.}$$

Операція 050 багатоцільова з ЧПК, свердління.

Розрахунок режимів різання будемо проводити для операції 050 токарна з ЧПК, розрахуємо режими різання для свердління отворів  $\varnothing 10$ ,  $\varnothing 8$ ,  $\varnothing 6$ ,  $\varnothing 5$ .

Для свердління 6 отворів Ø10 мм:

$$S = 0.24 \text{ мм/об};$$

$$t = 5 \text{ мм};$$

$$V = ((C_v * D_{qv}) / (T_{mv} * S_{yv})) * k_v. \quad (5.9)$$

$$V = ((14,7 * 100,25) / (600,125 * 0,240,55)) * 1,636 = 10,2 \text{ м/хв.}$$

$$n = (1000 * 10,2) / (3,14 * 10) = 325 \text{ об/хв.}$$

Для свердління 2 отворів Ø8 мм:

$$S = 0.24 \text{ мм/об};$$

$$t = 4 \text{ мм};$$

$$V = ((14,7 * 80,25) / (600,125 * 0,240,55)) * 1,636 = 13,4 \text{ м/хв.}$$

$$n = (1000 * 13,4) / (3,14 * 8) = 533,4 \text{ об/хв.}$$

Для свердління 3 отворів Ø6 мм:

$$S = 0.24 \text{ мм/об};$$

$$t = 3 \text{ мм};$$

$$V = ((14,7 * 60,25) / (600,125 * 0,240,55)) * 1,636 = 10,1 \text{ м/хв.}$$

$$n = (1000 * 10,1) / (3,14 * 6) = 536 \text{ об/хв.}$$

Для свердління 6 отворів Ø 5 мм:

$$S = 0.25 \text{ мм/об};$$

$$t = 2,5 \text{ мм};$$

$$V = ((14,7 * 50,25) / (600,125 * 0,250,55)) * 1,636 = 8,1 \text{ м/хв.}$$

$$n = (1000 * 8,1) / (3,14 * 5) = 516 \text{ об/хв.}$$

## 5.6 Технічне нормування операцій

В основі розрахунків продуктивності праці лежить технічне нормування операцій. З цією метою розраховують технічні норми штучно-калькуляційного часу, так як раніше було визначено тип виробництва – середньосерійне. Технічне нормування будемо проводити для операції 050 багато цільова з ЧПК та 025 токарна з ЧПК. Технічне нормування операцій здійснюємо згідно вибору з відповідної літератури норм допоміжного часу. Метою даного нормування є визначення норми штучно-калькуляційного часу на операції.

$T_{пз}$  - норма підготовчо-завершального часу - це час на підготовку робітників та засобів виробництва до виконання операцій.

$T_{шт}$  - норма штучного часу - час виконання обсягу праці, що дорівнює одиниці нормування.

$$T_{шт} = T_{об} + T_{оп} . \quad (5.10)$$

$T_{об}$  - норма часу на обслуговування робочого місця та на відпочинок.

$T_{оп}$  - норма оперативного часу - це час, що витрачається на виконання однієї технологічної операції.

$$T_{оп} = T_{о} + T_{д} . \quad (5.11)$$

$T_{о}$  - норма основного часу - це час на досягнення безпосередньої мети заданої операції чи переходу по якісному чи кількісному змінні предмету праці.

$T_{д}$  = норма допоміжного часу на дії, які дають можливість виконувати основну роботу.

$$T_{д} = T_{д\ уст} + T_{д\ оп} + T_{д\ ізм} . \quad (5.12)$$

$T_{д\ уст}$  - норма на установку, закріплення та зняття деталі.

$T_{д\ оп}$  - норма допоміжного часу пов'язана з виконанням операції.

$T_{д\ ізм}$  - норма часу на проведення вимірювань.

(5.13)

$$T_{\text{шк}} = T_{\text{пз/п}} + T_{\text{шт}}$$

$$T_{\text{д}} = 0,52 + 0,45 + 1,03 = 2,0 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{оп}} = 8,2 + 2,0 = 10,2 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шт}} = 0,5 + 10,2 = 10,7 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шк}} = 30/1181 + 10,7 = 10,725 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{д}} = 0,23 + 0,28 + 0,59 = 1,1 \text{ хв}$$

$$T_{\text{оп}} = 2,9 + 1,1 = 4 \text{ хв}$$

$$T_{\text{шт}} = 4 + 0,4 = 4,4 \text{ хв}$$

$$T_{\text{шк}} = 4,4 + 30 / 1181 = 4,4 + 0,025 = 4,425$$

Таблиця 5.9 - Норми часу на механічних операціях, хв

Номер, назва операції	$T_{\text{о}}$	$T_{\text{д}}$	$T_{\text{оп}}$	$T_{\text{об}}$	$T_{\text{шт}}$	$T_{\text{пз}}$	$T_{\text{шк}}$
025 Токарна з ЧПК	2,9	1,1	4	0,4	4,4	30	4,425
050 Багатоцільова	8,2	2	10,2	0,5	10,7	30	10,725



## 6 ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ

### 6.1 Обґрунтування необхідності створення пристрою, вибір системи пристрою

Даний пристрій застосовується для операції 035 – багатоцільова – обробка 4 Т подібних пазів по програмі. Для даної операції використано багатоцільовий верстат з ЧПК моделі HaasUMC-500.

Проектований пристрій з пневматичним рушієм однобічної дії (робочий хід виконується перетворенням енергії, а зворотній-дією пружини), тобто перетворює енергію стисненого повітря в механічну енергію руху штока, який і затискає деталь.

Переваги даного пристрою.

Перевагами даного пристрою в порівнянні зі стандартними та гідравлічними пристроями є:

- Швидкий затиск і розтиск заготовки.
- Надійність і довговічність роботи.
- Висока точність базування та обробки деталі.
- Відсутність шкідливих та небезпечних для здоров'я людини відходів.
- Простота конструкції.
- Використане повітря виходить в атмосферу без допоміжних трубопроводів.

Шток – за допомогою пружини притискає деталь зрізаною шайбою до оправки.

### 6.2 Уточнення мети технологічної операції

Визначення кількісних і якісних результатів виконання операції

#### 6.2.1 Точність розмірів

На даній операції 035 формується 4 Т-подібних паза, шириною пазу визначається номінальний розмір 14 мм, клас точності – IT 14 поле допуску Н.

Знаходимо значення допуску:

$$T_{14H14} = 0,43 \text{ мм}$$

$$ES = +0,43 \text{ мм}$$

$$EI = 0 \text{ мм}$$

### 6.2.2 Точність форми

Точність форми бокових поверхонь характеризується допуском площинності. Допуск площинності для даної поверхні на кресленні не вказаний, тому допуск площинності розраховується, як 60% від допуску на ширину пазу:

$$T = T_{14H14} * 0,6 \quad (6.1)$$

$$T = 0,43 * 0,6 = 0,258 \text{ мм}$$

### 6.2.3 Точність розташування

Точність взаємного розміщення характеризується допуском паралельності. Допуск паралельності для даної поверхні вказаний, тому допуск паралельності дорівнює 0,025 мм.

### 6.2.4 Шорсткість

Шорсткість оброблюваних поверхонь, що зазначена на кресленні, має значення  $Ra = 12,5$  мкм.

6.3 Визначення кількісних і якісних відомостей про заготовку, котра надходить на операцію.

На початковому етапі розроблення схеми базування проводимо аналіз точності поверхонь, що претендують на роль базових.

Аналіз креслення деталі дозволив запропонувати ряд поверхонь, що можуть бути використанні як технологічні бази. Це внутрішній отвір  $\varnothing 170H9$ .

Використання цих поверхонь як технологічних баз дозволить виконати принципи суміщення та постійності баз.

### 6.3.1 Точність розмірів

Діаметри базової поверхні 170H9(+0,1; 0) мм, номінальний розмір – 170 мм; квалітет – 9-й, поле допуску – Н, величина допуску  $T_{170H9} = 0,1$  мм, верхнє відхилення поля допуску  $ES = +0,1$  нижнє відхилення поля допуску  $EI = 0$  мкм.

### 6.3.2 Точність форми

Похибка форми діаметру 170H9 характеризується відхиленням від круглості та циліндричності. Оскільки допуск циліндричності та круглості не вказано в технічних вимогах і на кресленні деталі, то він може бути встановлений у межах допуску на розмір:

$$T = T_{170H9} * 0,3 \quad (6.2)$$

$$T = 0,1 * 0,3 = 0,003 \text{ мм}$$

### 6.3.3. Точність розташування

Точність взаємного розміщення характеризується допуском паралельності. Допуск паралельності для даної поверхні вказаний, тому допуск паралельності дорівнює 0,01 мм.

### 6.3.4 Шорсткість

Шорсткість циліндричних базових поверхонь  $Ra = 2,5$  мкм.

В пристрої, який проектується, будуть оброблятися заготовки із базовими поверхнями тільки наведеної точності розмірів, форми і шорсткістю.

6.4 Визначення умов, в яких буде виготовлятися та експлуатуватися проєктований пристрій.

Річна програма випуску задана в 5000 деталей. Така програма з урахуванням трудомісткості відповідає середньо серійному типу виробництва. Можна стверджувати, що пристрій будуть використовувати з досить великою інтенсивністю. В цілому, за період виготовлення деталі “Корпус” (1 рік) пристрій повинен здійснити 5000 робочих циклів.

Основні параметри верстата:

- Перемещение по оси X – 610 мм
- Перемещение по оси Y – 406 мм
- Перемещение по оси Z - 406 мм
- Количество осей станка – 5
- Максимальные обороты шпинделя - 8100 об/мин
- Емкость сменщика инструмента - 30

6.5 Складання переліку функцій, які реалізуються

1. Переміщення і попередня орієнтація заготовки;
2. Базування заготовки;
3. Закріплення заготовки;
4. Базування пристрою на верстаті;
5. Закріплення пристрою на верстаті;
6. Підведення і відведення енергоносія;
7. Утворення вихідної сили для закріплення;
8. Керування енергоносієм;
9. Об'єднання функціональних вузлів;
10. Фрезерування поверхонь;
11. Створення безпечних умов праці.

6.6 Розробка і обґрунтування схеми базування

Із усього комплексу поверхонь, що утворюють заготовку, на базову поверхню може претендувати циліндричний отвір  $\varnothing 170H9$ . На її користь свідчить таке:

- вона досить точно оброблена: IT9,  $T_{\varnothing 170} = 0,1$  мм;
- вона досить чисто оброблена: шорсткість її поверхні  $Ra = 2,5$  мкм.

Крім того, застосування цієї поверхні як базової не перешкоджає доступу інструментів до оброблюваних поверхонь.

Циліндрична поверхня  $\varnothing 170H9$ , будучи прийнятою в якості базової, позбавляє заготовку двох ступенів свободи, тобто являються подвійною опорною базою – але це при використанні короткої оправки (рисунок 6.1

У якості установчої бази беремо торець деталі  $l = 340$  мм, він позбавляє заготовку трьох ступенів свободи.

І для позбавлення останньої шостої ступені волі, ми використовуємо у вигляді опорної бази зрізаний палець, який вставляємо у паз на зовнішній циліндричній поверхні. Що забезпечує позиційний допуск розташування отриманих Т-подібних пазів. Дана схема базування показана на рисунку 6.1

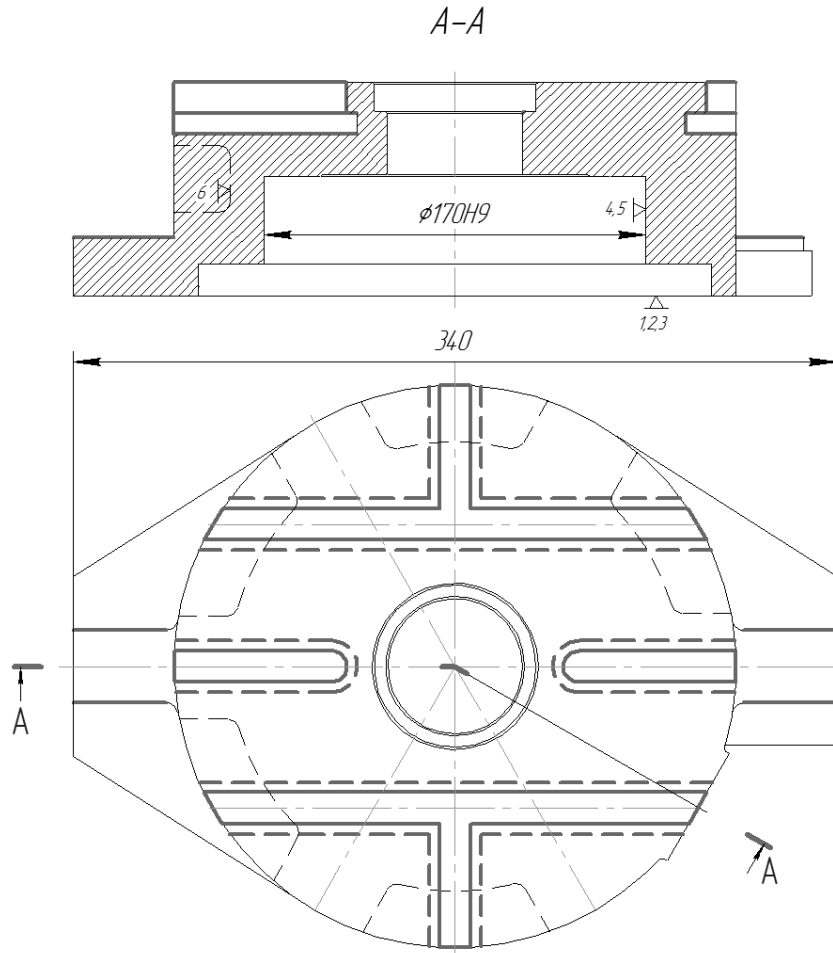


Рисунок 6.1 – Схема базування

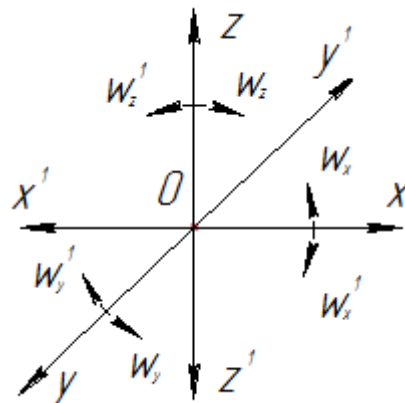


Рисунок 6.2 – Схема однобічних зв'язків, що покладають на заготовку (до таблиці 6.1)

Таблиця 6.1 – Індеси та номери зв'язків

Індекс координати		x	x'	y	y'	z	z'	$\omega_x$	$\omega'_x$	$\omega_y$	$\omega'_y$	$\omega_z$	$\omega'_z$
Спосіб реалізації	Реакція	R	R	R	R	-	R	R	R	R	R	R	R

### 6.7 Побудова функціональної структури пристрою

З набору функцій, що наведені в пункті 5, виділимо ті, які реалізуються на протязі оперативного часу: 0,1,2,5,6,7. Функції 3,4 впливають на підготовчо-заклучний час; функції 8,10 прямого впливу на штучний час не здійснює.

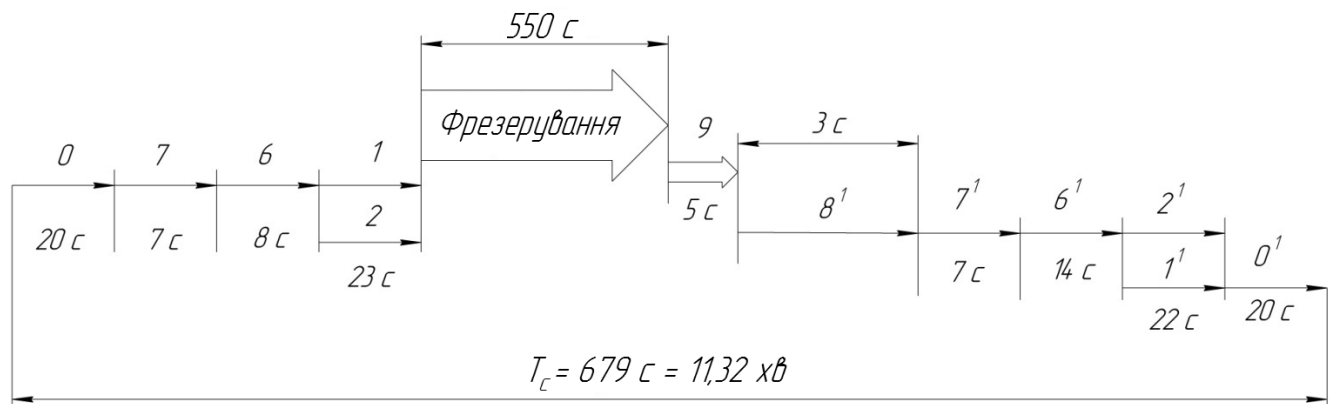


Рисунок 6.3 – Схема послідовної реалізації функцій

Функціональна структура пристрою представлена на рисунку 6.4.

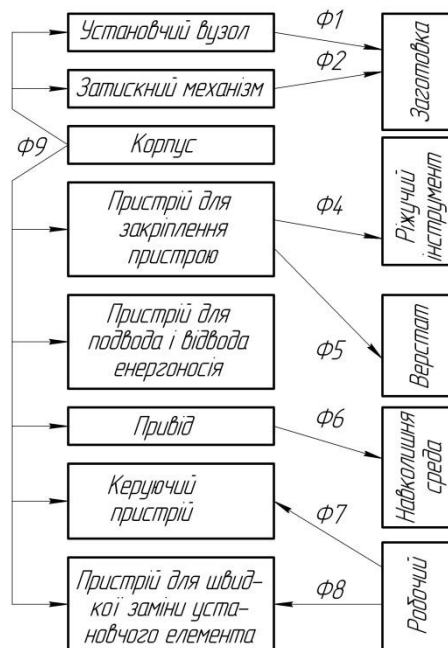


Рисунок 6.4 – Функціональна структура проектованого пристрою

## 6.8 Розробка та обґрунтування схеми закріплення

Для аналізу структури та якості зв'язків, що виникають при закріпленні заготовки, будемо таблицю однобічних зв'язків.

Таблиця 6.2 – Однобічні зв'язки

Індекс зв'язку		x	x'	y	y'	z	z'	$\omega_x$	$\omega'_x$	$\omega_y$	$\omega'_y$	$\omega_z$	$\omega'_z$
Спосіб реалізації	Реакція	R	R	R	R	-	R	R	R	R	R	R	R
	Сила закріплення	-	-	-	-	W	-	-	-	-	-	-	-
	Сила тертя	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F(W)	F(W)

Проводжу вивід формули необхідну для затиску заготовки:

Обертний момент відносно точки а:  $M_{кр_a} = P_{oc} \cdot H$

Обертний момент відносно точки b:  $M_{кр_b} = Pz \cdot (R_{cb} + 1) - Pz \cdot (1 - R_{cb})$

$$M_{кр_b} = Pz \cdot (R_{cb} + R_{cb})$$

$$M_{кр_b} = Pz \cdot D_{cb}$$

Сумарний обертовий момент:  $M = \sqrt{(P_{oc} \cdot H)^2 + (Pz \cdot D_{cb})^2}$

Необхідну силу затиску знаходжу по формулі:

$$Q = \frac{k \sqrt{(P_{oc} \cdot H)^2 + (Pz \cdot D_{cb})^2}}{D/2} \quad (6.3)$$

Визначаємий коефіцієнт запасу

$$k = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$$

де:  $K_0$ - коефіцієнт запасу сил затиску, він враховує неточність розрахунків, знос інструменту;

$K_1$  - коефіцієнт запасу сил затиску, він враховує стан технологічної бази;

K2 - коефіцієнт запасу сил затиску, він враховує збільшення сили різання від затуплення ріжучого інструменту;

K3 - коефіцієнт запасу сил затиску, він враховує ударне навантаження на інструмент;

K4 - коефіцієнт запасу сил затиску, він враховує стабільність силового приводу;

K5 - коефіцієнт запасу сил затиску, він враховує зручність і розташування в ручних затискних пристроях;

K6- коефіцієнт запасу сил затиску, він враховує наявність моментів прагнучих повернути заготовку.

По формулі  $K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,16$

Визначаю силу  $P_z$  через потужність різання:  $N = 1,2 \text{ кВт} = 1200 \text{ Вт}$ ,

кутова швидкість різання,  $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$

$$N = M_{кр} \cdot \omega \Rightarrow M_{кр} = \frac{N}{\omega} = \frac{1200}{3,14 \cdot \frac{366}{30}} = 32 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$P_z \cdot R_{св} = M_{кр} \Rightarrow P_z = M_{кр} / R_{св} = 32 / 0,0145 = 2207 \text{ Н}$$

Необхідну силу затиску знаходжу по формулі:

$$Q = \frac{2,16 \sqrt{(400 \cdot 0,0825)^2 + (2207 \cdot 0,029)^2}}{0,3/2} = 4840 \text{ Н}$$

Розтиск заготовки здійснюється за допомогою пневмоприводу. Зусилля при затиску на шток передається поршнем при стисненні за рахунок упругої енергії пружини, при розтисненні за рахунок тиску повітря.

Вихідна сила  $Q$ , яка передається на шток при розтисненні рівна:

$$Q = P S = P \pi d^2 \eta / 4 \quad (6.4)$$



де:  $P$  – тиск повітря - 0,4 - 0,63 МПа

$d$  - діаметр поршня пневмоциліндру

$$Q = 0,4 \cdot 10^6 \cdot 3.14 \cdot 0,200^2 / 4 = 12560$$

Для розрахунків пневмоприводу необхідно визначити силу, яка передається поверхні штоку.

Вданому випадку сила на штоку рівна силі затиску заготовки  $W=Q=51600$  Н.

Затиск здійснюється пружинами. Сумарна сила упругості пружин повинна бути більше сили затиску. Візьмемо чотири пружини, сила упругості кожної  $E$ , Н:

$$E=W/4=51600/4= 12900 \text{ Н} \quad (6.5)$$

Для наступних розрахунків, з метою забезпечити коефіцієнт запасу на змінені умови по затиску заготовки, приймаю  $E = 13000$  Н.

Розрахунок пружини виконую за допомогою програми SPRING прикладних бібліотек КОМПАС 8 плюс.

Приймаю пружину стиснення 3 класу по ГОСТ 9386-75 з параметрами наведеними нижче (Рисунок 6.5).

Сила пневмоциліндру, достатня для полного стиснення пружин:

$$W > E \cdot 4 = 13000 \cdot 4 = 52000 \text{ Н}$$

Розрахунок діаметру пневмоциліндру виконується із формули:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{P \cdot \pi \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 51600}{400000 \cdot 3.14 \cdot 0,95}} = 0,149 \text{ м} \quad (6.6)$$

Так як діаметру 149 мм пневмоциліндру не має, то приймаємо діаметр пневмоциліндру  $D = 200$  мм

Вихідна сила  $W$ , яка передається на шток при розтисненні рівна:

$$W = 0,4 \cdot 10^6 \cdot 3.14 \cdot 0,200^2 \cdot 0,95 / 4 = 11932 \text{ Н}$$

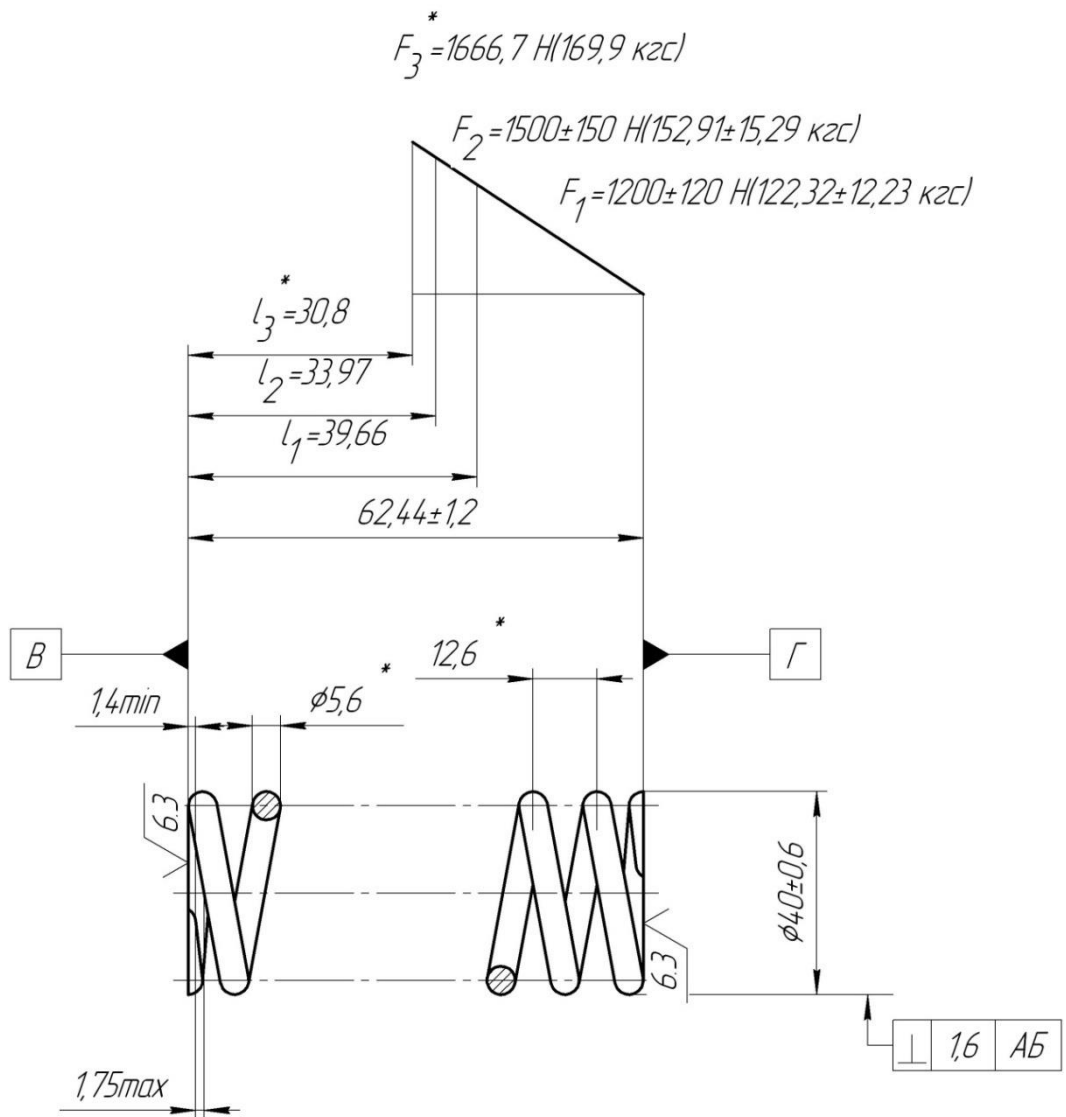


Рисунок 6.5 - Проектоване креслення циліндричної пружини стиснення з відрисовкою розмірів та діаграми

Навантаження на кожену пружину дорівнює:

$$P = W/4 \quad (6.9)$$

$P = W/4 = 6664 / 4 = 1666 \text{ Н} \approx 166 \text{ кг}$  при стисненні;

6.9 Розрахунки пристрою на точність

Розрахункову похибку пристрою знаходимо за формулою:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = T - K_T \sqrt{(K_{T1} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_6^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_u^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{\text{поз}}^2} \quad (6.10)$$

де,  $T = 0,129 \text{ мм} = 129 \text{ мкм}$  – найбільший жорсткий допуск розміру, що одержують на даній операції;

$K_T = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує можливий відступ окремих складових від нормального закону розподілу випадкових величин;

$K_{T1} = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує деяке зменшення граничного значення похибки базування;

$\epsilon_6 = 0$  – похибка базування заготовки в пристрої (вимірювальна і технологічна бази співпадають);

$\epsilon_3 = 0$  – похибка закріплення, виникає в результаті зсуву оброблених поверхонь заготовок від дії затискної сили (не збігається напрям сили закріплення до допуску розміру, що вимірюється).

$\epsilon_y = 0,005$  мкм – похибка установлення пристрою на верстаті;

$\epsilon_n = 0$  – похибка перекосу інструмента (втулки не використовуються).

$\epsilon_{и}$  – похибка, що виникає внаслідок зношування встановлювальних елементів пристрою. Визначається за формулою:

$$\epsilon_{и} = N \cdot \beta, \quad (6.11)$$

де,  $\beta = 0,001$  – постійний коефіцієнт, що залежить від виду встановлювальних елементів і умов контакту поверхонь [4, табл. 3.6 с.41];

$N = 5000$  шт – кількість контактів заготовки з опорою в рік;

$$\epsilon_{и} = 5000 \cdot 0,001 = 5 \text{ мкм}.$$

$K_{T2} = 0,6$  – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки обробки.

$\omega = 120$  мкм – середня економічна точність обробки.

$\epsilon_{поз} = 0$  – похибка позиціонування (заготовка не повертається).

Підставляємо значення:

$$\epsilon_{пр} = 129 - 1,2 \sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0 + 0,005^2 + 0 + 5^2 + (0,6 \cdot 120)^2 + 0} = 24 \text{ мкм}$$

Приймаємо допуск паралельності базових поверхонь пристрою 0,05 мм.

## 6.10 Складання і експлуатація пристрою

Пристрій в зборі повинне задовольняти технічним вимогам креслення загального виду й забезпечувати практичну обробку заготовки по заданим розмірам.

Всі деталі й вузли пристрою піддати візуальному контролю, а виявлені дефекти усунути:

### Збирання пристрою.

Всі деталі і вузли пристрою піддати візуальному контролю, виявлені дефекти усунути.

В корпус столу 1 поміщую гільзу 3, в поршень 7 вставляю кільця ущільнення 10 і в профрезеровану канавку поміщую чотири пружини 8. Потім поршень встановлюю в гільзу, вкручую шток в поршень та фіксую гайкою 16, в кришку поміщую кільце ущільнення 11 та прикріплюю кишку до корпусу за допомогою чотирьох болтів 13. Вкорпус поміщую втулку 4, та прикріплюю до корпусу стакан за допомогою з'єднання болт-шайба-гайка (14,15,18). Встановлюю деталь. До корпусу прикручую штуцер 12. В штуцер подається стиснене повітря поршень стискає пружини, на деталь поміщую розрізну шайбу 9. Штуцер відкидаю і деталь затискається пружинами.

## Експлуатація пристрою

1. Встановити і закріпити пристрій на верстаті з урахуванням нульової точки верстата.
2. Підготувати базові поверхні до установки заготовки
3. Встановити заготовку
4. На шток пристрою встановити швидкознімну шайбу .
5. Затиснути заготовку пружинами
6. Обробити заготовку.
7. Поворотом рукоятки розподільного крана на штуцері віджимати заготовку.
8. Зняти швидкознімну шайбу з штока пристрою .
9. Підготувати базові поверхні пристрою до установки наступної заготовки.
10. В процесі експлуатації пристрою виконувати пункти технічних вимог.
11. Пристрій зберігати на дерев'яній підставі. Дія атмосферних опадів і агресивних середовищ неприпустимо.

## ВИСНОВКИ

В процесі виконання бакалаврського проекту були отримані наступні результати:

- Було проведено аналіз службового призначення координатно-розточного верстата моделі 2E440A, який містить корпус, що входить до пневмостола з Т-подібними пазами. Був виконаний опис конструктивних особливостей даного корпусу та умов його експлуатації. Виконано аналіз технічних вимог на виготовлення деталі.

- Задано тип виробництва - середньосерійний,
- Була проаналізовано деталь на технологічність;
- Наведений модернізований технічний процес. Підібрані сучасні верстатні пристрої та ріжучі інструменти.

Під час виконання роботи було розроблено дві операції: токарна та багатоцільова: підібрані найбільш належні схеми базування, обладнання для обробки та верстатне оснащення; розраховано режими різання та технічне нормування операцій. Виконаний розрахунок і спроектовано спеціальне пристосування для закріплення заготовки на верстаті.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи / укладачі: І.М.Дегтярьов, А. В. Євтухов, А. О. Нешта. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 37 с.
2. Технологія машинобудування : навч. посіб. / Є. О. Горбатюк, М. П. Мазур, А. С. Зенкін, В. Д. Каразей. – Львів : Новий Світ-2000, 2012. – 358 с.
3. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування [Електронний ресурс] : монографія / Є. А. Фролов, С. І. Кравченко, С. В. Попов, С. М. Гнітько. – Полтава : ПНТУ, 2019. – 204 с.
4. Технологія машинобудування. Посібник-довідник : навч. посіб. / За ред. І.І. Юрчишина. – Львів : Нац. ун-т "Львівська політехніка", 2009. – 528 с.
5. Гевко Б. М., Матвійчук А. В., Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. – К.: Кондор, 2009. – 220 с.
6. Технологія верстатних робіт: навч.пос. / М. А. Вайнтрауб, В. Й. Засельський, Д. В. Пополов, за наук. ред. М. А. Вайнтрауба. – К. : 2015. – 199 с.
7. 4692 Методичні вказівки до лабораторної роботи "Випробування точності токарного верстата" з дисципліни "Ремонт та випробування верстатів" : для студ. освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр" спец. 133 "Галузеве машинобудування" / Б. А. Ступін, І. М. Дегтярьов, П. В. Кушніров, О. В. Івченко. – Суми : СумДУ, 2020. – 15 с. Метод. вказівки до кваліфікаційної роботи бакалаврів для студ. спец. 6.05050201 «Технології машинобудування» / укл. В.Г.Євтухов. – Суми: Сумський держ. ун-т, 2017. – 45 с.
8. Приходько, В.Н. Проектування оснастки для машин, верстатів і роботів: Навчальн. посіб. – В. Н. Приходько, О.В. Литвин. – К.: НТУУ «КПІ імені І.Сікорського», 2019. – 213 с.
9. Методичні вказівки з оформлення документації при виконанні курсового та дипломного проектів з технології машинобудування для студ. ОКР: «бакалавр» за напрямом підготовки: 6.050502 «Інженерна механіка»,

- «спеціаліст» спец. 7.090202 «Технологія машинобудування» усіх форм навчання: – Ч. 1. / укл.: В.Г.Євтухов, В.О.Іванов. – Суми: Сумськ. держ. ун-т, 2012. – 57 с.
10. Методичні вказівки з оформлення документації при виконанні курсового та дипломного проектів з технології машинобудування для студ. ОКР: «бакалавр» за напрямами підготовки: 6.050502 «Інженерна механіка», «спеціаліст» спец. 7.090202 «Технологія машинобудування» усіх форм навчання: – Ч. 2. / укл.: В.Г.Євтухов, В.О.Іванов. – Суми: Сумськ. держ. ун-т, 2012. – 24 с.
  11. Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї - наука - виробництво : тези доповідей Десятої Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. 26-30 жовтня 2010 р. / Уклад.: Д.В. Криворучко, В.О. Іванов. – Суми : СумДУ, 2010. – 149 с.
  12. Захаркін, О. У. Технологічні основи машинобудування: навч. посіб. / О. У. Захаркін. – Суми : СумДУ, 2004. – 98 с.
  13. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні : навчальний посібник / П. О. Руденко. – Київ : Вища школа, 1993. – 414 с.
  14. Матвійчук О. В., Гевко Б. М., Дичковський М. Т. Технологічна оснастка. – К.: Кондор, 2010. – 221 с.
  15. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу “Технологічні основи машинобудування” для бакалавратури 6.0902 “Інженерна механіка” усіх форм навчання / Укладачі: О.У. Захаркін, О.І. Ремньов, – Суми: Вид-во СумДУ, 1999.
  16. Дячун, А.Є. Обґрунтування параметрів технологічного процесу виготовлення заготовок : Автореферат... к. технічних наук, спец.: 05.02.08 - технологія машинобудування / А. Є. Дячун. – Тернопіль : Тернопільський держ. техн. ун-т ім. І. Пулюя, 2008. – 21 с.
  17. Нетрадиційні методи механічної обробки матеріалів : конспект лекцій для студ. спец.: 8.05050201 "Технології машинобудування", 8.05050302 "Інструментальне виробництво", 8.05050301 "Металорізальні верстати та



системи" усіх форм навчання / Б. А. Ступін, О. В. Івченко, О. Д. Динник, Р. М. Зінченко. – Суми : СумДУ, 2016. – 149 с.

18. Методичні вказівки до виконання розділу «Аналіз службового призначення виробів» у випускній роботі бакалаврів, курсових проектах зі спеціальностей та диплом. проектах: для студ. спец.: 6.090202, 6.090204, 6.090522, 7.090202 усіх форм навчання / укл.: О.О. Топоров. – Суми : СумДУ, 2001. – 25 с.
19. Боровик А. І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва. – Київ: Кондор, 2009 – 726 с.
20. Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Технологічна оснастка” / Укл.: П.В. Кушніров. – Суми: СумДУ, 2009. – Ч. 1. – 52с.
21. Дичковський М.Г. Спеціальна технологічна оснастка: навч. посіб. Тернопіль: ТНТУ , 2014. 243 с.
22. Кушніров П.В., Євтухов А.В., Дегтярьов І.М. Технологічна оснастка [Електронний ресурс]: навч. посіб. Суми : СумДУ, 2020. – 140 с.  
<https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/81842>
23. Петров О.В., Сухоруков С.І. Технологічна оснастка: навч. посіб. -Вінниця: ВНТУ, 2018. – 123 с.
24. ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 (ДСТУ ГОСТ 166:2009 Штангенциркулі. Технічні вимоги)
25. Скабенюк, М.М. Агрегатні фрезерні головки з трьома торцевими фрезами / Б.А. Остапенко, М.М. Скабенюк, П.В. Кушніров // Технології ХХІ сторіччя: Збірник тез за матеріалами 28-ої міжнародної науково-практичної конференції (23-25 листопада 2022 р.). Ч.1. – Суми: СНАУ, 2022.– С. 23.