

**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 (проекту)

другий (магістерський)  
(освітньо-професійний рівень)

на тему Удосконалення технологічного процесу виготовлення  
вала СНТ 23.02.15.01 шляхом застосування  
високопродуктивних інструментів та оснастки,  
**верстатів та інструментів**

Виконав: студент II курсу, групи ТМ.м-01  
спеціальності:

131 «Прикладна механіка»  
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми:

«Технології машинобудування»  
(назва освітньої програми)

Юрій ШУЛЬГА  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Павло КУШНІРОВ  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент

Сергій БОНДАРЕВ  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Суми – 2021 року

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

Інститут, факультет \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_  
*технічних систем та енергоефективних технологій*  
*технології машинобудування, верстатів та*  
*інструментів*

Освітньо-науковий рівень \_\_\_\_\_  
*другий (магістерський)*  
(назва)

Спеціальність \_\_\_\_\_  
*131 «Прикладна механіка»*  
(шифр і назва)

Освітня програма \_\_\_\_\_  
*«Технології машинобудування»*  
(назва освітньої програми, за наявності)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри технології  
машинобудування, верстатів та  
інструментів  
\_\_\_\_\_ *Віталій ІВАНОВ*  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 року

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

Кафедра технології машинобудування,  
*Шульга Юрій Іванович*  
верстатів та інструментів  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) \_\_\_\_\_  
*Удосконалення технологічного процесу виготовлення*  
*вала СНТ 23.02.15.01 шляхом застосування високопродуктивних*  
*інструментів та оснастки*

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 24.11.2021 року № 0911-VI

2. Строк подання студентом роботи (проекту) \_\_\_\_\_  
*10.12.2021 року*

3. Вихідні дані до роботи (проекту) \_\_\_\_\_

*3.1 Робоче креслення деталі «вал СНТ 23.02.15.01».*

*3.2 Річний обсяг випуску деталей – 1300 шт.*

*3.3 Базовий технологічний процес виготовлення деталі «вал СНТ 23.02.15.01».*

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

*4.1 Аналіз існуючого (базового) технологічного процесу виготовлення деталі*

*4.2 Розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення деталі*

*4.3 Дослідження шляхів підвищення ефективності торцевих збірних фрез*

*4.4 Формулювання висновків та рекомендацій щодо запропонованого*

*технологічного процесу та підвищення ефективності торцевих фрез*

*4.5 Аналіз питань щодо охорони праці та безпеки у надзвичайній ситуації*

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

5.1 Креслення 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

Комплект документів на технологічний процес виготовлення деталі

«вал СНТ 23.02.15.01»

## 5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

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

6. Дата видачі завдання « 01 » 09 2021 року

## Сумський державний університет

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН  
Кафедра технології машинобудування,  
верстатів та інструментів

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі		
2	Розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення деталі		
3	Підвищення ефективності торцевих збірних фрез		
4	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях		
5	Оформлення пояснювальної записки		
	Оформлення комплекту технологічної документації		
	Оформлення креслень та презентації		

Студент

(підпис)

Юрій ШУЛЬГА

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи (проєкту)

(підпис)

Павло КУШНІРОВ

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Сумський державний університет

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

*Віталій ІВАНОВ*

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення  
вала СНТ 23.02.15.01 шляхом застосування високопродуктивних  
інструментів та оснастки**

**Сумський державний університет  
Кафедра технології машинобудування,  
верстатів та інструментів**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра  
Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

*Юрій ШУЛЬГА*

Керівник

*Павло КУЩІРОВ*

Нормоконтроль

*Олександр ІВЧЕНКО*

## ЗМІСТ

Вступ .....	5
1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації .....	8
2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі .....	14
3 Визначення типу виробництва та форми його організації .....	17
4 Аналіз технологічності конструкції деталі .....	21
5 Вибір способу одержання заготовки та розроблення технічних вимог до неї .....	24
6 Аналіз існуючого чи типового технологічного процесу .....	29
6.1 Розрахунок припусків на механічну обробку .....	29
6.2 Аналіз та обґрунтування схем базування і закріплення заготовки .....	32
6.3 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів .....	38
6.4 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів .....	41
6.5 Розрахунки режимів різання .....	43
6.6 Технічне нормування операцій .....	54
7 Проектування верстатного пристрою .....	59
7.1 Обґрунтування вибору системи пристрою .....	59
7.2 Визначення кількісних і якісних результатів виконання операції .....	59
7.3 З'ясування кількісних та якісних даних про заготовку, що надходить на операцію .....	62
7.4 Визначення умов у яких буде виготовлятися та експлуатуватися спроектований пристрій .....	64
7.5 Складання переліку реалізованих функцій .....	64
7.6 Розробка та обґрунтування схеми базування .....	65
7.7 Побудова функціональної структури верстатного пристрою .....	69

7.8 Розробка та обґрунтування схеми закріплення.....	70
7.9 Розрахунок пристрою на міцність.....	74
7.10 Точнісні розрахунки пристрою.....	76
7.11 Опис пристрою та принцип його роботи .....	78
8 Розробка корисної моделі для токарно-гвинторізної операції.....	59
8.1 Аналіз недоліків існуючої конструкції.....	81
8.2 Пропоноване рішення проблеми.....	81
8.3 Висновок.....	86
Висновки.....	87
Перелік джерел посилання .....	88
ДОДАТОК А – Креслення деталі «Вал СНТ 32.04.08.03» .....	90
ДОДАТОК Б – Диплом переможця конкурсу студентських робіт в «Житомирській політехніці» .....	91
ДОДАТОК В – Матеріали публікації.....	92
ДОДАТОК Г – Розрахунок припусків.....	93
ДОДАТОК Д – Специфікація.....	94
ДОДАТОК Е – Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	95
ДОДАТОК Ж – Креслення заготовки.....	100
ДОДАТОК З – Креслення верстатного пристрою.....	101
ДОДАТОК З – Креслення налагодження.....	102



## ВСТУП

З наукової точки зору технологія машинобудування – скорочено ТМБ — галузь науки, що займається вивченням закономірностей, що діють у процесі виготовлення машин, з метою використання їх для забезпечення необхідної якості машин при найвищій продуктивності і найменшій їх собівартості.

ТМБ як прикладна наука взявши початок у глибині тисячоліть, зазнала найбільш швидких темпів розвитку у 18-му сторіччі та і на цей час використовує передові досягнення фундаментальних наук.

Основними напрямками в технології машинобудування є:

розвиток комплексних автоматизованих систем у машинобудуванні;

вдосконалення обробки на верстатах з ЧПУ;

збереження і заміна ручної праці механізованим;

впровадження нових високопродуктивних, економічних і надійних машин, побудованих на реалізації нових підходів в технології машинобудування;

вдосконалення конструкцій ріжучого інструменту та інструментальних матеріалів;

вдосконалення технологічних процесів механоскладального виробництва; розробка нових технологій, що підвищують ефективність лезвійної обробки, абразивної обробки, обробки без зняття стружки, лазерної обробки, електрофізичної і електрохімічної обробки.

Зниження металоємкості конструкцій у машинобудуванні, пошуку нових матеріалів, які забезпечують надійність і довговічність насосів, є одним із актуальних завдань.

Сучасні технології мають у своєму арсеналі надтверді інструментальні матеріали, надточні багатоцільові верстати з програмним керуванням, автоматизовані системи, електрохімічні та електрофізичні способи обробки.

Машинобудування, надає та розробляє все кращу техніку для всіх сфер господарства, дає розуміння технічного прогресу країни і надає значний вплив для створення фінансової незалежності суспільства.

Усе це і визначає найважливішу роль у розвитку суспільства технології машинобудування, а саме: машинобудування та рівень його розвитку потрібно розглядати як найважливіший показник рівня його досконалості.

У зв'язку з цим, для його прогресу завжди надається і буде надаватися першочергове значення.

**Об'єкт дослідження.** Об'єктом дослідження є вал живильного насосу ПЄ 150.

**Предмет дослідження.** Технологічний процес виготовлення деталі «Вал СНТ 23.02.15.01»

**Мета дослідження.** Удосконалення технологічного процесу виготовлення вала СНТ 23.02.15.01.

**Завдання дослідження.** Проаналізувати існуючий технологічний процес виготовлення вала та виявити оптимальний варіант нового удосконаленого технологічного процесу. Запропонувати корисну модель торцевої фрези для обробки поверхні під центрувальні отвори. Виконати математичну симуляцію деформацій запропонованої конструкції під час робочих навантажень.

**Методи дослідження.** Теоретичні завдання дослідження вирішувалися математичними рівняннями, якими зроблений опис виправлення похибок геометричної форми виробу.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

– визначено, що удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал СНТ 23.02.15.01» може бути реалізовано проектуванням спеціального верстатного пристрою та розробленням спеціальної торцевої фрези;

– визначено, що застосування запропонованої конструкції торцевої фрези дозволяє здійснювати швидке та точне позиціонування різальної вставки в корпусі інструмента.



– визначено, що застосування на різальній вставці фрези V-подібної канавки з похилими стінками дозволяє підвищити надійність закріплення вставки в корпусі торцевої фрези.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані результати проведеного дослідження рекомендовано до використання на підприємствах машинобудівної галузі.

**Особистий вклад магістранта.** Результати проведених досліджень було отримано здобувачем спільно з його науковим керівником.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Матеріали магістерської роботи було апробовано:

1) на XIX міжнародній науково-практичній конференції (м. Суми, 25–26 листопада 2020 р.) «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» в СумДУ;

2) на підсумковій конференції Конкурсу студентських наукових робіт за спеціальністю «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА (технології машинобудування)», яка відбулася 22-23 квітня 2021 р. на базі Державного університету «Житомирська політехніка» (призове ДРУГЕ місце, див. додаток Б).

#### **Публікації.**

1) Тези конференції [24] (додаток В):

Шульга, Ю.І. Підвищення ефективності фрезерування торців вала відцентрового насоса / Ю.І. Шульга, П.В. Кушніров // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: матеріали XIX міжнародної науково-практичної конференції (м. Суми, 25–26 листопада 2020 року) / редкол.: В.О. Залога, О.В. Івченко. – Суми: Сумський державний університет, 2020. – С. 145-146.

2) Оформлено заявку в СумДУ на отримання патенту на корисну модель «ЗБІРНА ТОРЦЕВА ФРЕЗА» (МПК В23С 5/06).

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

Насоси типу ПЄ і насосні агрегати на їх основі типу АПЕ призначені для подачі води до теплоенергетичних блоків ТЕС, стаціонарних парових котлів, забезпечення живильною водою з температурою до 165°C парогенераторних установок і котелень.

Конструкція: Насоси живильні ПЄ - горизонтальні, відцентрові, багатоступінчасті, однопоточні, однокорпусні секційні і двокорпусні зі зйомним внутрішнім корпусом секційного типу. Опорами ротора служать виносні підшипники ковзання з примусовою або картерною системою мастила в залежності від необхідної потужності. Розвантаження від осьової сили - гідравлічне за допомогою гідроп'яти.

Сумський державний університет

Кафедра технології машинобудування,  
верстатів та інструментів

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики компресору ПЄ 150,

Типорозмір	Насос ПЄ 150-63
Подача, м3/год	150
Напір, м	700
Потужність і частота обертання э/д, кВт/об/хв	500/2980
Габаритні розміри (LxVxH), мм	3913x1610x1450
Маса агрегата, кг	4450

Переваги насосу:

Можливість роботи при різних навантаженнях, зниження енергоспоживання за рахунок комплектації частотними перетворювачами

Оптимізована конструкція і використання гідромфти забезпечують підвищену надійність і ККД;

Більш високі допустимі температури води та штучно регульовані кліматичні умови, що пропонуються в порівнянні з котловими насосами інших типів (ЦВК, АН і НГ);

Матеріали:

- корпусу, кришок і секцій - поковки з вуглецевих сталей;
- деталей проточної частини - виливки і поковки із хромистих сталей 20Х13Л і 30Х13;
- вала - сортовий прокат з конструкційної легованої сталі 40Х.
- ущільнювачів - корозійностійкі сплави;

Розглянемо службове призначення кожної поверхні деталі.

- основні конструкторські (поверхні, по яких деталь базується у вузлі) ;
- допоміжні конструкторські (поверхні, по яких базуються інші дали по відношенню до даної) ;
- виконавчі (поверхні, завдяки яким деталь виконує своє функціональне призначення) ;
- вільні поверхні (служать для створення конфігурації , посилення конструкції деталі) - ВП.

Насоси пилгательные типа ПЭ

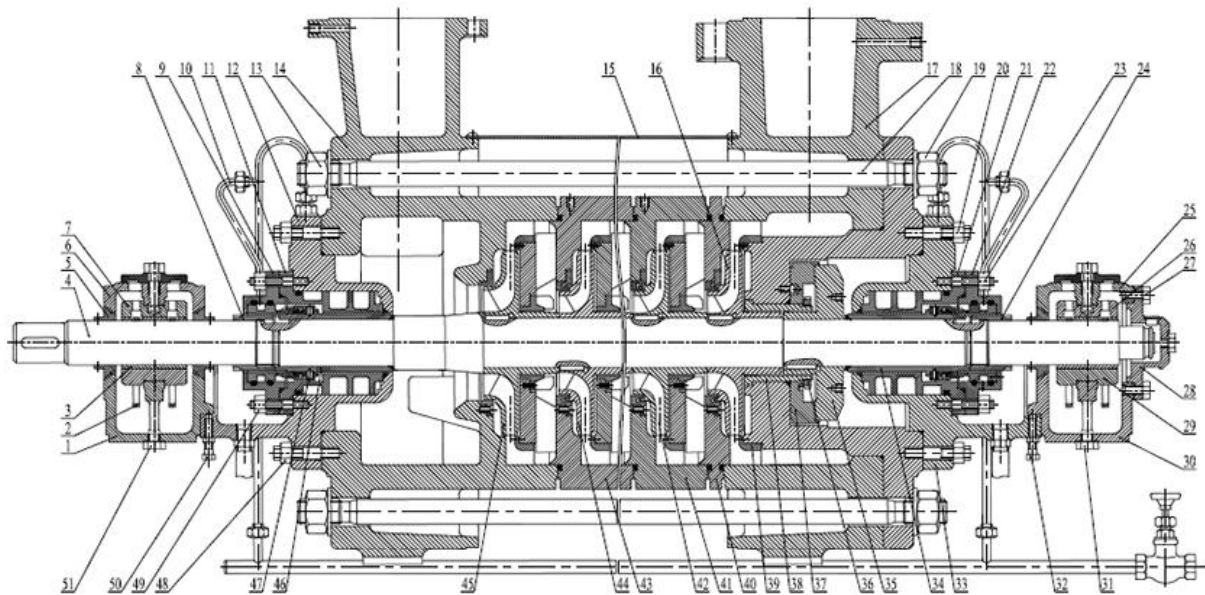


Рисунок 1.1 – Насос живильний ПС 150

Таблиця 1.2 – Складові виробу

Номер деталі	Назва деталі	Номер деталі	Назва деталі
1	Гайка	27	Болт
2	Кільце масловідвідне	28	Показчик осьового зсуву
3	Вкладиш нижній	29	Вкладиш нижній
4	Вал	30	Гайка
5	Масловідбивач	31	Пробка
6	Кришка	32	Гвинт устновлювальний
7	Вкладиш верхній	33	Кільцеве ущільнення
8	Гайка	34	Втулка
9	Корпус	35	Диск розвантажувальний
10	Трубопроводи допоміжні	36	Гайка

Продовження таблиці 1.2

11	Втулка	37	Подушка
12	Кільцеве ущільнення	38	Втулка
13	Гайка	39	Апарат направляючий
14	Кришка вхідна	40	Секція
15	Кожух	41	Секція
16	Колесо робоче	42	Колесо робоче
17	Кришка напірна	43	Секція
18	Шпилька	44	Колесо робоче
19	Камера	45	Колесо робоче
20	Гайка	46	Втулка
21	Втулка	47	Гвинт
22	Корпус	48	Гайка
23	Гайки	49	Гайки
24	Гайка	50	Гвинт устновлювальний
25	Кришка	51	Пробка
26	Вкладиш верхній		

Вал водяного насоса повинен мати достатню міцність і жорсткість, при яких гарантується відсутність неприпустимих деформацій, що порушують встановлену роботу ротора. При обертанні вала, навіть при ретельному балансуванню, виникає надлишковий баланс, що створює додаткове навантаження на вал від дії відцентрової сили. Крім того, під дією власної ваги і ваги насаджених деталей вал має певний статичний прогин.

Також на ротор діють гідромеханічні сили в радіальному і осьовому напрямках. Під дією вище зазначених сил вісь вала отримує додатковий динамічний прогин, який залежить від частоти обертання вала насоса.



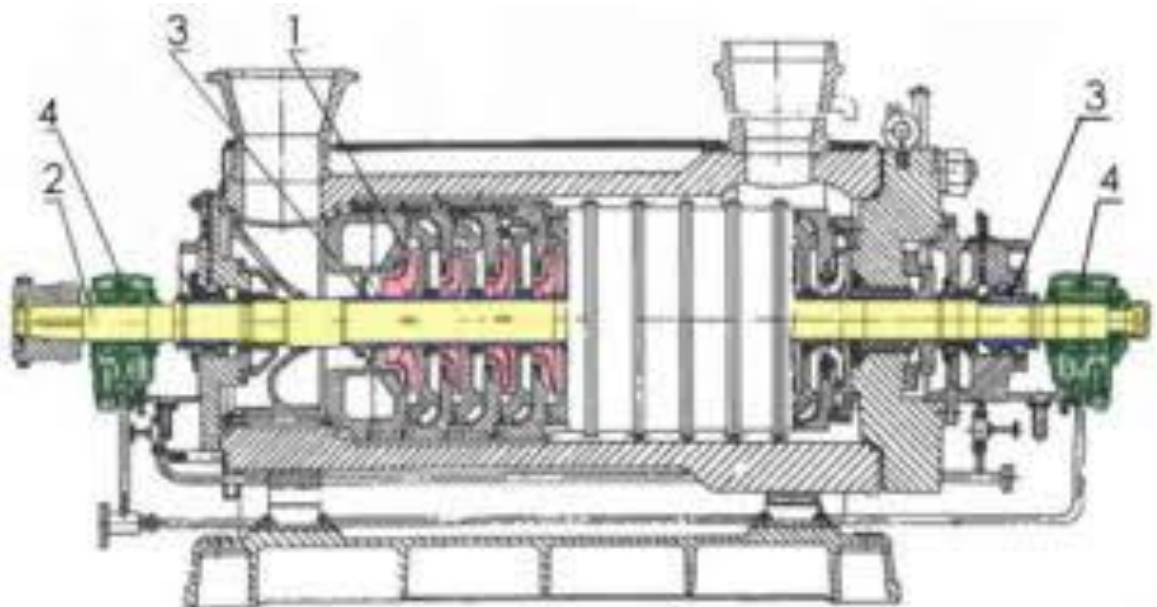


Рисунок 1.2 – Схема базування деталі у вузлі

Де складові частини вузла:

1. робоче колесо
2. вал
3. втулки
4. підшипниковий вузол

Таблиця 1.3 – Таблиця відповідностей

Зв'язки	Степені вільності	Найменування баз
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	ПНБ
5	I	ОБ
6	IV	ОБ

Вал є невід'ємною частиною будь-яких відцентрових машин, від вибору матеріалу і конструкції якого, залежить ефективність передачі крутного моменту, а отже і ККД двигуна.



Таблиця 1.4 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування баз
$l$	0	1	1	ПНБ
$\alpha$	0	1	1	
$l$	1	0	0	ОБ
$\alpha$	0	0	0	
$l$	0	0	0	ОБ

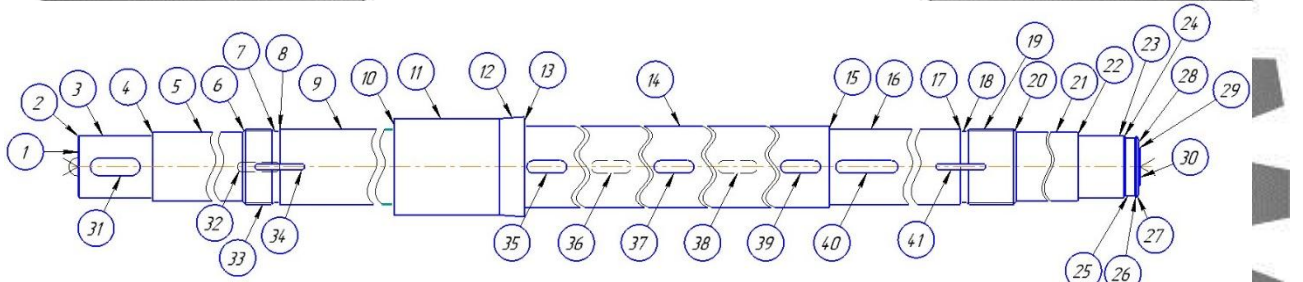


Рисунок 1.3 - Ескіз деталі

Таблиця 1.5 – Поверхні деталі

Номер поверхні	Характер поверхні
5, 16	Основні конструкторські бази
19,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43	Допоміжні конструкторські бази
1, 3, 9, 11, 14, 16, 21, 23, 25, 26, 27, 30	Виконавчі поверхні
2, 4, 6, 8, 10, 15, 17, 20, 22	Вільні поверхні

## 2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ НА ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Технічні вимоги на виготовлення складальної одиниці або виробу характеризують необхідні та достатні параметри їх якості, які перевіряються при остаточному контролі або випробуваннях. Тому важливо правильно визначити основні вимоги до деталі.

Креслення деталі надає повне уявлення про конструкцію, конфігурацію, розмір, точність форм всіх поверхонь деталі, матеріалу та його властивостей. На кресленні достатньо інформації про спосіб отримання заготовки: кування на молотах по ГОСТ 26645-85, твердість 68-24 НВ. Наявних на кресленні видів, розрізів, проекцій та виносних елементів цілком достатньо для розуміння загального вигляду виробу. Вал насосу приймає високі навантаження в процесі експлуатації. Тому обґрунтований матеріал деталі – особливо високоякісна легована конструкційна сталь 40Х ГОСТ 4543-71.

Це хромонікелемолібденова сталь з високою в'язкістю і міцністю, яка застосовується для особливо відповідальних деталей, схильних до загартування і відпуску, зокрема, муфт, осей, колінчатих валів, і тому подібних деталей. В загартованому і високовідгартованому стані сталь має твердість HB2502 МПа ( $255 \text{ кгс/мм}^2$ ), межа плинності  $\sigma_T=932 \text{ МПа}$ , тимчасова межа міцності  $\sigma_B=1079 \text{ МПа}$ , відповідне звуження перерізу зразка  $\psi=55\%$ , відповідне подовження зразка при розриві  $\sigma_5=14\%$ , ударна в'язкість  $a_n=784 \text{ кДж/м}^2$  ( $8 \text{ кгс} \cdot \text{м/см}^2$ ). Хімічний склад сталі 40Х ГОСТ 4543-71 представлений в таблиці 2.1 [2].

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 40Х, у відсотках

Хімічний елемент	C	Mn	Si	S	Se	Cr	Ni	Cu	Mo	V
Вміст	0,430	0,630	0,370	0,012	0,004	0,80	1,480	0,170	0,180	0,01

Вимоги по шорсткості: шорсткість основних і базових поверхонь  $Ra = 0,8 \text{ мкм}$ ,  $Ra = 1,6 \text{ мкм}$ . Шорсткість не вказаних поверхонь  $Ra = 6,3 \text{ мкм}$ .

Вимоги щодо точності розмірів, незазначені граничні відхилення розмірів: H14, h14;  $\pm IT14 / 2$ .

Деталь являє собою тіло обертання в вигляді ступінчатого валу з перепадами зовнішніх діаметрів від 50 мм до 80 мм. При сумарній довжині в 1580 мм говорить про недостатню жорсткість, так як відношення довжини до діаметру  $l/d = (31,6 - 19,75)$

Враховуючи порівняно важкі умови експлуатації деталі, до неї надають достатньо жорсткі вимоги по точності форми, розмірній точності і взаємного розташування поверхонь, визначаючих її положення в насосі.

- циліндрична поверхня 55d8 призначена для базування деталі із забезпеченням посадки з зазором H7/g6. Шорсткість поверхні за критерієм Ra складає 0,40. Бажаним є забезпечення допуску форми, наприклад, циліндричності, що дозволить покращити умови складання та експлуатації виробу. Допуск радіального биття поверхні відносно вісі обертання складає 2 мм.

- правий торець конусу  $\varnothing 77 - \varnothing 80$  призначений для базування робочого колеса.

- шпоночні пази 10N9 та 5N9 призначені для передачі моменту обертання з боку вала до робочого колеса. Кресленням деталі регламентовано шорсткість основи пазів, зі значенням 6,3 мкм за критерієм Ra. Шорсткість бокових поверхонь пазів та вимоги щодо допусків форми та взаємного розміщення поверхонь не зазначені, що є неприйнятним. Зазвичай шорсткість бокових поверхонь шпоночного пазу складає 3,2 мкм за критерієм Ra. Бажаним є встановлення допусків паралельності та симетричності бокових поверхонь пазів.

- шпоночні пази 10N9 та 5N9 призначені для передачі моменту обертання з боку вала до втулки. Кресленням деталі регламентовано шорсткість основи пазів, яка складає 6,3 мкм за критерієм Ra. Шорсткість бокових поверхонь пазів та вимоги щодо допусків форми та взаємного розміщення поверхонь не зазначені. Зазвичай шорсткість бокових поверхонь шпоночного пазу складає 3,2

мкм за критерієм Ra. Бажаним є встановлення допусків паралельності та симетричності бокових поверхонь пазу.

- Різь М60х2LN-g8 під контргайку не сприймає значних навантажень в ході роботи, тому допускається обробка різьбовим інструментом.

- Канавки  $\varnothing 57h14$  (2 поверхні) та  $\varnothing 46h14$  призначені для встановлення кільцевих ущільнень.



**Сумський державний університет  
Кафедра технології машинобудування,  
верстатів та інструментів**

### 3 ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА ТА ФОРМИ ЙОГО ОРГАНІЗАЦІЇ ДЛЯ ДЕТАЛІ ВАЛ 23.02.15.01

Тип виробництва і відповідна йому форма організації робіт визначається за таблицями джерела [3] і залежить від річної програми виготовлення виробів та їх трудомісткості.

За ГОСТ 3.1108-74 тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій  $K_{з.о}$ , який показує відношення всіх різних операцій, виконуваних підрозділом протягом місяця, до числа робочих місць [3].

Тип виробництва і відповідна йому форма організації робіт визначають структуру і характер технологічного процесу. Виходячи з річної програми випуску  $N = 1300$  шт, а також маси деталі 36,5 кг визначається тип виробництва – дрібносерійний.

Виконаємо розрахунок  $K_{з.о}$  з урахуванням таких вихідних даних:

- річний обсяг випуску деталей –  $N_p = 1300$  шт.;
- режим роботи підприємства – у 2 зміни;
- кількість механічних операцій базового технологічного процесу – 5;
- дійсний річний фонд часу роботи обладнання –  $F_d = 4015$  год [3].
- штучний час обробки деталі за операціями – беремо відповідно до норм за базовим технологічним процесом (див. таблицю 3.1);
- нормативний коефіцієнт завантаження обладнання для дрібно – серійних типів виробництва –  $\eta_{з.н.} = 0,75$  [3];

Виконаємо розрахунок необхідної кількості обладнання за формулою [3]:

$$m_p = \frac{N_{год} \cdot T_{шт}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н.}} \quad (3.1)$$

Кількість робочих на кожній операції:

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = 1 \text{ осіб.}$$

Таблиця 3.1 – Розрахунок  $K_{3,0}$ 

№	Найменування операції	$T_{шт},$ хв	$m_p$	P	$\eta_{з.ф.}$	O
1	Фрезерно-центрувальна	11,80	0,0326	1	0,0326	23
2	Токарна	13,37	0,0370	1	0,0370	20,27
3	Токарна з ЧПК	7,3	0,0202	1	0,0202	37,12
4	Горизонтально-фрезерна	6,12	0,0169	1	0,0169	44,37
5	Круглошліфувальна	7,7	0,0213	1	0,0213	35,21
Сума:				5		160,3

Фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця по кожній операції визначимо за формулою [3]:

$$\eta_{з.ф.} = m_p / P, \quad (3.2)$$

Кількість операцій, виконуваних на даному робочому місці, визначимо за формулою [3]:

$$O = \eta_{з.н.} / \eta_{з.ф.}, \quad (3.3)$$

Коефіцієнт закріплення операцій дорівнюватиме:

$$K_{3,0} = \Sigma O / \Sigma P = 160,3 / 5 = 32,06.$$

Таким чином коефіцієнт закріплення  $20 < K_{3,0} = 32,06 < 40$ , відповідає дрібносерійному типу виробництва.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску допускається визначати спрощеним способом за формулою

$$n = (N \square a) / 254, \quad (3.5)$$



де  $N$  – річна програма випуску;

$a$  – періодичність запуску в днях. (Рекомендується наступна періодичність запуску виробів: 5, 10, 15, 20 днів). Обираємо режим 1 раз на 10 днів.

$$n = (1300 \cdot 10) / 254 = 51,18 \text{ шт.}$$

Округлюємо розраховану величину в більшу сторону, тоді кількість деталей в партії  $n = 52$  шт.

Основна характеристика групової форми організації виробництва згідно ГОСТ 14.004–83 [2].

У машинобудуванні дрібносерійне виробництво характеризується закріпленням за кожним робочим місцем від 20 до 40 операцій. Робочі місця на підприємствах дрібносерійного виробництва певною мірою спеціалізовані. При цьому відбувається переважно предметна їх спеціалізація – закріплення за кожним із них декількох операцій для виготовлення деталей, обробка яких ведеться партіями.

Використовується спеціалізоване, універсальне, а також частково спеціальне обладнання. Широко застосовуються верстати з ЧПК, обробні центри, а також гнучкі автоматизовані системи на основі верстатів з ЧПК, пов'язаних транспортуючими пристроями, керованими від ЕОМ. Устаткування розташовуються по технологічним групам з урахуванням напрямку основних вантажопотоків цеху, по предметно-замкнутим ділянкам.

Технологічна оснастка в основному універсальне. Велике поширення має універсально-збірну, переналагоджуване технологічне оснащення, що дозволяє підвищити коефіцієнт оснащеності дрібносерійного виробництва.

У якості вихідних заготовок використовується гарячий і холодний прокат, лиття в землю і під тиском, точне лиття, поковки і точні штамповки.

Необхідна точність досягається як методами автоматичного отримання розмірів, так і методами пробних проходів з частковим застосуванням розмітки для складних корпусних деталей.

Кваліфікація робітників вище ніж в масовому виробництві, але нижча ніж в одиничному. Поряд з робітниками універсалами та наладчиками, працюючими на складному універсальному обладнанні використовуються робітники-оператори, що працюють на настроєних верстатах.

В залежності від особливості технології виробництва та обсягу випуску забезпечується повна, неповна, групова взаємозамінність, однак застосовується і пригін по місцю, компенсація розмірів.

Технологічна документація та нормування докладно розробляється для найбільш складних і відповідальних заготовок і спрощеного нормування для простих заготовок.

Вимірювальний інструмент - калібри, спеціальний вимірювальний інструмент.

Застосовуваний різальний інструмент - універсальний і спеціальний.

Дрібносерійне виробництво значно економніше, ніж одиничне виробництво, так як краще використання устаткування, спеціалізація робочих, збільшення продуктивності праці забезпечують зменшення собівартості продукції.

У дрібносерійному виробництві технологічний процес переважно диференційований, тобто розчленований на окремі операції, які закріплені за окремими визначеними верстатами. Верстати застосовуються універсальні, спеціалізовані, спеціальні, автоматизовані, агрегати.

Відповідно до ГОСТ 3.1108-74 закріплено від 21 до 40 операцій.

## 4 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ

Технологічність конструкції деталі - вимога до деталі, яка включає в себе можливість обробки з найбільшою продуктивністю праці та найменшою собівартістю.

До якісних критеріїв оцінки входять:

1. Матеріал заготовки
2. Простановка розмірів
3. Базування та закріплення деталі під час обробки
4. Взаємозамінність деталі
5. Наявність жорстких вимог допусків форм і розташування
6. Нетехнологічні конструкційні елементи
  - a) складність контуру деталі;
  - b) різноманітність розмірів різьбових отворів;
  - c) глухі, малого діаметру, розташовані під кутом отвори;
  - d) різні розміри фасок, канавок на одній деталі;
  - e) перепади діаметрів в обидві сторони.

Деталь являє собою тіло обертання. Відношення максимальної довжини до основного діаметру складає  $l/d=1580/80$ , тому конструкція відноситься до нежорстких валів. На токарних, фрезерних та круглошліфувальних операціях обробку поверхонь необхідно виконувати із застосуванням люнети.

Маса деталі складає 36,5 кг, що потребує застосування додаткових технічних засобів під час її транспортування та встановлення на верстаті.

Матеріал деталі: Конструкційна сталь 40Х ГОСТ4543-71

Призначення сталі: осі, вали, вал-шестерні, штоки, колінчаті і кулачкові вали, плунжери, болти, кільця, шпинделі, рейки, оправки, губчасті вінці, втулки та інші деталі підвищеної міцності.

Види поставки - сортовий прокат, в тому числі і фасонний, калібрувальний пруток, шліфувальний пруток, лист товстий, поковки та ковани заготовки, валки, труби.

Замінники - сталі марок 45Х, 38ХА, 40ХН, 40ХС, 40ХФ, 40ХР

Найбільш точними поверхнями є зовнішні циліндричні поверхні  $\varnothing 50h6(-0.016)$  Ra0.80,  $\varnothing 55h8(-0.146)$  Ra 0.40,  $\varnothing 60h6(-0.019)$  Ra0.80.

Простановка розмірів виконана відповідно до вимог стандартів, що забезпечує легке читання креслення, вільне виконання та контроль розмірів в процесі механічної обробки.

Основні вимоги, що пред'являються конструктором до деталі:

Допуск радіального биття поверхонь 3, 5, 10, 15, 21 відносно вісі обертання дорівнює 0,02 мм. Вимога досягається під час шліфувальної операції завдяки суміщенню вимірювальної та подвійної направляючої бази.

Допуск радіального биття поверхні 16, відносно вісі обертання дорівнює 0,03 мм. Вимога досягається на шліфувальній операції завдяки суміщенню вимірювальної та подвійної направляючої бази.

Різьби М60х2-8g не мають канавок для виходу нарізного інструменту, які регламентовані ГОСТ 10549–80. Для виготовлення канавки треба застосувати спеціальний інструмент, який заточується за формою канавки, а це підвищить собівартість виготовлення деталі.

Обробка шпонкового паза виконується кінцевою фрезою і є мало продуктивним методом у порівнянні із фрезеруванням дисковою фрезою або протягуванням.

Інші елементи конструкції вала не викликають будь-якої трудомісткості при їх виготовленні і за якісними показниками деталь можна вважати технологічною.

Таблиця 4.1 – Характеристика поверхонь вала

Назва елементів	Кількість	Точність	Параметри шорхності Ra, мм
<b>Зовнішні циліндричні</b>			
d50	2	h6	Ra0,8
d55	2	d8	Ra0,4
d60	2	h6	Ra0,8
d77	1	h14	Ra6,3
d65	1	h6	Ra3,2
d30	1	h6	Ra3,2
<b>Лінійні</b>			
l50	2	h14	Ra12,5
l55	2	h14	Ra3,2
l77	1	h14	Ra3,2
l80	1	h14	Ra1,6
l65	1	h14	Ra3,2
l30	1	h14	Ra12,5
<b>Інші</b>			
Канавка d57x5	2	h14	Ra3,2
Канавка d46x9	1	h14	Ra3,2
Різь М60x2-8g	2	g8	Ra6,3
Фаска 1x45	2	h14	Ra3,2
Фаска 0,5x45	8	h14	Ra3,2
Шпонковий паз 14N9	1	N9	Ra6,3
Шпонковий паз 10N9	6	N9	Ra6,3
Шпонковий паз 5N9	2	N9	Ra6,3
Шпонковий паз 8	1	h6	Ra6,3
Шпонковий паз 6	2	h6	Ra6,3
Галтель R1	6	h6	Ra3,2
Галтель R0,5	1	h6	Ra3,2

## 5 ВИБІР СПОСОБУ ОДЕРЖАННЯ ЗАГОТОВКИ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО НЕЇ

Основною умовою раціональної технології виготовлення є максимальне приближення форми та розмірів заготовки до форми готової деталі.

В базовому технологічному процесі для виготовлення деталі "Вал" заготовку отримують з круглого прокату діаметром 85 мм розрізанням прутка довжиною 1580 мм. Отримання заготовки у вигляді круглого прокату є досить простим та дешевим способом.

Однак конфігурація такої заготовки є далекою від конфігурації готового виробу, що визначає наявність великих напусків та припусків, видалення яких передбачає додаткову механічну обробку заготовки, що призведе до зменшення продуктивності при виготовленні деталі.

Розрізання прокату як правило здійснюється стрічковою пилою: ріжуча частина верстата представлена замкнутою стрічкою пильного полотна із зубами з твердого сплаву, які приводяться у рух шківом зв'язаним з електродвигуном.

Перевагами такого методу є:

- висока точність розмірів деталі;
- відсутній перегрів металу;
- відсутність заусенців (не потрібно зачищати торці заготовки).

В проектованому варіанті, виходячи з конфігурації заданої деталі, технічних вимог креслення (конструктора), габаритів, маси, обсягу випуску, пропонується метод вільного кування.

Проведемо аналіз економічності заготовки. Собівартість заготовок з прокату розраховується за формулою:

$$S_{\text{заг}} = M + \sum C_{\text{оз}} \quad (5.1)$$

де  $M$  – витрати на матеріал заготовки, грн;



$C_{o.3}$  – технологічна собівартість операції правки, калібрування прутків, розрізання їх на штучні заготовки

$$C_{o.3} = \frac{C_{п.з.} \times T_{шт.т}}{60 \times 80} \quad (5.2)$$

де  $C_{п.з.} = 3\ 050$  – приведенні витрати на робочому місці, грн./год.;  $T_{шт.т} = 7,5$  – штучний час виконання заготівельної операції, хв

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \cdot \frac{S_{отх}}{1000} \quad (5.3)$$

де  $Q = 65,5$  - маса заготовки (розраховується за габаритами заготовки заводського варіанта - прокат діаметром 82 мм та довжиною 1580 мм та за густиною матеріалу заготовки,  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>), кг;

$q = 36,5$  - маса готової деталі, кг;

$S_{отх} = 0,9$  - ціна 1 тони відходів, грн.;

$S = 29$  - ціна 1 кг матеріалу заготовки, грн.

$M = 58,9$

$C = 3,8$

Отже  $S = 58,9 + 3,8 = 62,7$

Собівартість заготовок, отриманих ковкою на молотах розраховується за формулою:

$$S = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_n \right) - (Q - q) \cdot \quad (5.4)$$

де  $C_i$  - базова вартість однієї тони заготовок, грн/т;

$K_T$  - коефіцієнт, який залежить від класу точності заготовки;

$K_C$  - коефіцієнт, який залежить від групи складності заготовки;  $K_B$  - коефіцієнт, який залежить від маси заготовки;

$K_M$  - коефіцієнт, який залежить від марки матеріалу;

$K_n$  - коефіцієнт, який залежить від обсягу виробництва;

$Q$  - маса заготовки;

$q$  - маса деталі;

$S_{отх}$  - вартість однієї тони відходів, грн.

Для заготовки, отриманої ковкою на молотах:

$C_i = 18000$  грн/т;

$$K_T = 1;$$

$$K_C = 1,1;$$

$$K_B = 0,98;$$

$$K_M = 1,22;$$

$$K_H = 0,95;$$

$Q = 41,5$  кг (виходячи з габаритних розмірів, а також густини матеріалу заготовки,  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>);

$$q = 36,5 \text{ кг};$$

$$S_{\text{отх}} = 900 \text{ грн/т.}$$

Вартість заготовки, отриманої ковкою на молотах:

$$S = 71 \text{ грн.}$$

Економічний ефект розраховують за формулою:

$$E = (S_{1\text{зар}} - S_{2\text{зар}}) \cdot N \quad (5.5)$$

де  $N$  – річний обсяг випуску, шт.

$$E_{\text{ф}} = (62,7 - 71) \cdot 1300 = 10790 \text{ грн.}$$

Собівартість заготовки, яка вироблена із круглого прокату, є меншою ніж собівартість заготовки виробленої ковкою на молотах. Однак до деталі надані досить жорсткі конструкторські вимоги, виріб являє собою одну з головних частин агрегату, та працює в умовах постійного навантаження. У зв'язку зі зменшенням припуску, часу на чорнову обробку деталі та зниження кількості відходів пропонуємо обрати спосіб вільного кування. Ефект перемішування структури покращить характеристики готової деталі, що якісно збільшить надійність та довговічність роботи при навантаженнях.

5,0 – діаметр 50 мм і чистота поверхні 0,8 мкм за критерієм Ra;

5,0 – діаметр 55 мм і чистота поверхні 0,4 мкм за критерієм Ra;

5,0 – діаметр 60 мм і чистота поверхні 0,8 мкм за критерієм Ra;

6,0 – діаметр 77 мм і чистота поверхні 6,3 мкм за критерієм Ra;

6,0 – діаметр 80 мм і чистота поверхні 6,3 мкм за критерієм Ra;

5,0 – діаметр 55 мм і чистота поверхні 6,3 мкм за критерієм Ra;

- 5,0 – діаметр 60 мм і чистота поверхні 0,8 мкм за критерієм Ra;  
 5,0 – діаметр 55 мм і чистота поверхні 0,4 мкм за критерієм Ra;  
 5,0 – діаметр 50 мм і чистота поверхні 0,8 мкм за критерієм Ra;  
 5,0 – діаметр 46 мм і чистота поверхні 6,3 мкм за критерієм Ra;  
 5,0 – діаметр 30 мм і чистота поверхні 6,3 мкм за критерієм Ra;  
 2,0 – довжина 60 мм і чистота поверхні 0,8 мкм за критерієм Ra;  
 3,0 – довжина 260 мм і чистота поверхні 0,4 мкм за критерієм Ra;  
 3,0 – довжина 178 мм і чистота поверхні 0,4 мкм за критерієм Ra;  
 3,0 – довжина 105 мм і чистота поверхні 6,3 мкм за критерієм Ra;  
 3,0 – довжина 491 мм і чистота поверхні 6,3 мкм за критерієм Ra;  
 3,0 – довжина 214 мм і чистота поверхні 0,8 мкм за критерієм Ra;  
 3,0 – довжина 217 мм і чистота поверхні 0,4 мкм за критерієм Ra;  
 2,0 – довжина 50 мм і чистота поверхні 6,3 мкм за критерієм Ra;

Обравши додатковий припуск, приймаємо – 0,5 мм.

Розміри поковки:  
 діаметр  $50 + (3,5 + 1,5) \cdot 2 = 60$   
 діаметр  $55 + (3,5 + 1,5) \cdot 2 = 65$

$$\text{діаметр } 60 + (3,5 + 1,5) \cdot 2 = 70$$

$$\text{діаметр } 77 + (3,5 + 1,5) \cdot 2 = 87$$

$$\text{діаметр } 80 + (3,5 + 1,5) \cdot 2 = 90$$

$$\text{діаметр } 55 + (3,5 + 1,5) \cdot 2 = 65$$

$$\text{діаметр } 60 + (3,5 + 1,5) \cdot 2 = 70$$

$$\text{діаметр } 55 + (3,5 + 1,5) \cdot 2 = 65$$

$$\text{діаметр } 50 + (3,5 + 1,5) \cdot 2 = 60$$

$$\text{діаметр } 46 + (3,5 + 1,5) \cdot 2 = 56$$

$$\text{діаметр } 30 + (3,5 + 1,5) \cdot 2 = 40$$

$$\text{довжина } 60 + (2,0 + 0,5) \cdot 2 = 65$$

$$\text{довжина } 260 + (3,0 + 0,5) \cdot 2 = 267$$

$$\text{довжина } 178 + (3,0 + 0,5) \cdot 2 = 185$$

$$\text{довжина } 105 + (3,0 + 0,5) \cdot 2 = 112$$

$$\text{довжина } 491 + (3,0 + 0,5) \cdot 2 = 498$$

$$\text{довжина } 214 + (3,0 + 0,5) \cdot 2 = 221$$

$$\text{довжина } 217 + (3,0 + 0,5) \cdot 2 = 224$$

$$\text{довжина } 50 + (2,0 + 0,5) \cdot 2 = 55$$

Розміри поковки наведемо в таблиці 5.1, ескіз поковки наведемо на рисунку 5.1.

Таблиця 5.1 – Визначення розмірів поковки, у міліметрах

Розмір деталі	Чист. поверх	Основний припуск	Додат. припуск	Загальний припуск	Розр-ковий розмір заготовки	Прийнятий розмір заготовки	Фактичний припуск
Ø50	0,8	3,5	1,5	8,0	Ø60	Ø60	10,0
Ø55	0,4	3,5	1,5	8,0	Ø65	Ø65	10,0
Ø60	0,8	3,5	1,5	8,0	Ø70	Ø70	10,0
Ø77	6,3	3,5	1,5	9,0	Ø87	Ø90	10,0
Ø80	6,3	3,5	1,5	9,0	Ø90	Ø90	10,0
Ø65	6,3	3,5	1,5	8,0	Ø75	Ø75	10,0
Ø60	0,8	3,5	1,5	8,0	Ø70	Ø70	10,0
Ø55	0,4	3,5	1,5	8,0	Ø65	Ø65	10,0
Ø50	0,8	3,5	1,5	8,0	Ø60	Ø60	10,0
Ø46	6,3	3,5	1,5	8,0	Ø56	Ø60	14,0
Ø30	6,3	3,5	1,5	8,0	Ø46	Ø60	30,0
Lo=60	0,8	2,0	0,5	2,5	Lo=63,5	Lo=63,5	3,5
Lo=260	0,4	3,0	0,5	3,5	Lo=267	Lo=267	3,5
Lo=178	0,4	3,0	0,5	3,5	Lo=185	Lo=185	3,5
Lo=105	6,3	3,0	0,5	3,5	Lo=112	Lo=112	3,5
Lo=491	6,3	3,0	0,5	3,5	Lo=498	Lo=498	3,5

Lo=214	0,8	3,0
Lo=217	0,4	3,0
Lo=50	6,3	2,0

Lo=221	Lo=221	3,5
Lo=224	Lo=224	3,5
Lo=55	Lo=55	2,5

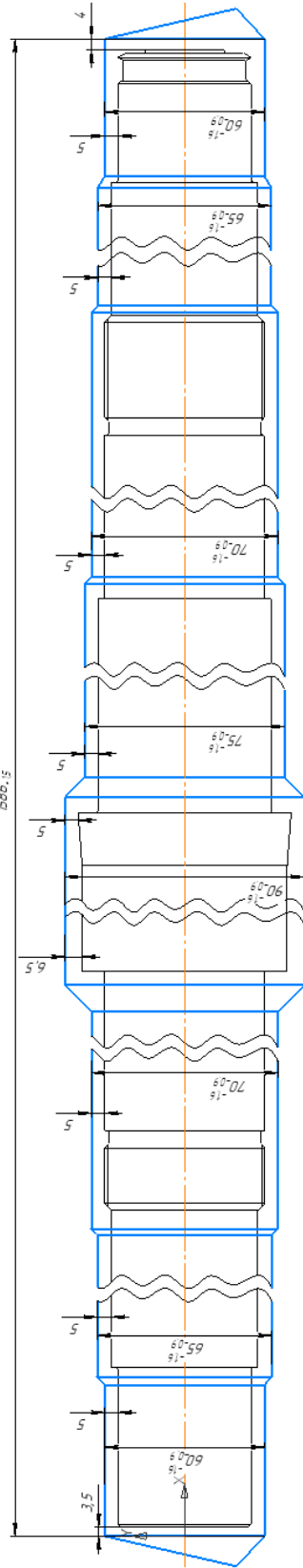


Рисунок 5.1 – Ескіз поковки Вал 23.02.15.01

## 6 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ЧИ ТИПОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Пропонується технологічний маршрут обробки вала із усуненням недоліків, виявлених у базовому технологічному процесі виготовлення деталі.

Таблиця 6.1 – Порівняльна таблиця технологічних процесів оброблення вала

Номер операції	Існуючий технологічний процес	Модель верстата	Запропонований технологічний процес	Модель верстата
1	2	3	4	5
005	Заготівельна		Обробка тиском	
010	Токарна	16K20	Технічний контроль	
015	Термічна		Фрезерно-центрувальна	2Г942
020	Токарна	16K20	Термічна	Піч ТП-61
025	Термічна		Токарна	Puma 3100 XL
030	Токарна з ЧПК	16K20Ф3	Термічна	Піч ТП-61
035	Фрезерна	7Д430	Токарна з ЧПК	Puma 3100 XL
045	Слюсарна		Технічний контроль	
050	Шліфувальна	5312В	Круглошліфувальна	ЗУ144
055	Маркувальна		Горизонтально-Фрезерна з ЧПК	UFM160В
060	Контрольна		Слюсарна	
065			Миюча	
070			Технічний контроль	



075		Маркування	
-----	--	------------	--

В таблиці 6.1 порівнюються технологічний процес виготовлення вала на підприємстві і запропонований технологічний процес

Обґрунтування запропонованого технологічного процесу виготовлення вала та окремих його операцій наведено в наступних підрозділах пояснювальної записки.

Величина припуску впливає на собівартість виготовлення деталі. При збільшеному припуску підвищуються витрати праці, матеріалу і інші виробничі витрати. Зменшений припуск потребує підвищеної точності заготовки, що також збільшує собівартість виготовлення деталі.

Для отримання деталей вищої якості необхідно при кожному технологічному переході механічної обробки заготовки передбачати виробничі похибки, що характеризують відхилення розмірів, геометричні відхилення форми поверхні, мікронерівності, відхилення розташування поверхонь. Всі ці відхилення повинні знаходитись в межах поля допуску на розмір поверхні заготовки.

Визначення припусків базується на аналізі виробничих похибок, що виникають при конкретних умовах обробки заготовки. Для зовнішньої поверхні тіла обертання  $\varnothing 50h6$ , маршрут обробки даної поверхні вибирається по [4] с.8, таблиця 4 і зводиться в таблицю 6.1.

Розрахунок за методом проф. В.М.Кована проведений на ЕОМ та показаний в додатках.

Розрахункова формула для визначення припуску зовнішньої циліндричної поверхні має вигляд:

$$2z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (6.1)$$

де  $R_{z_{i-1}}$  – величина мікронерівностей поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$T_{i-1}$  – глибина дефектного шару поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$\rho_{i-1}$  - величина просторового відхилення форми поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$\rho_{i-1} \cdot \varepsilon_i$  - похибка на виконуваній операції (переході).

Перераховані показники є величинами табличними окрім  $\rho_{i-1}$ , яка розраховується як

$$\rho_{заг} = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_{см}^2} = \sqrt{(0,1 \cdot 60)^2 + 250^2} = 250 \text{ мкм.} \quad (6.2)$$

$$\rho_{черн} = 250 \cdot 0,06 = 15 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{п/чист} = 250 \cdot 0,05 = 12 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{чист} = 250 \cdot 0,04 = 10 \text{ мкм.}$$

Вихідні данні для розрахунку припусків на ЕОМ приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Вихідні данні

Найменування переходу	Точність	Граничні відхилення	Елементи припуска, мкм				
			$R_z$	$T$	$\rho$	$\varepsilon_3$	$\varepsilon_6$
Поковка	T3	+3,0;-3,0	1000	1000	250	250	300
Точіння чорнове	кв. 12	-0,3	125	120	15	120	0
Точіння напівчистове	кв. 10	-0,12	40	40	12	0	0
Точіння чистове	кв. 8	-0,046	5	5	10	0	0
Шліфування	кв. 6	-0,016	-	-	-	0	0

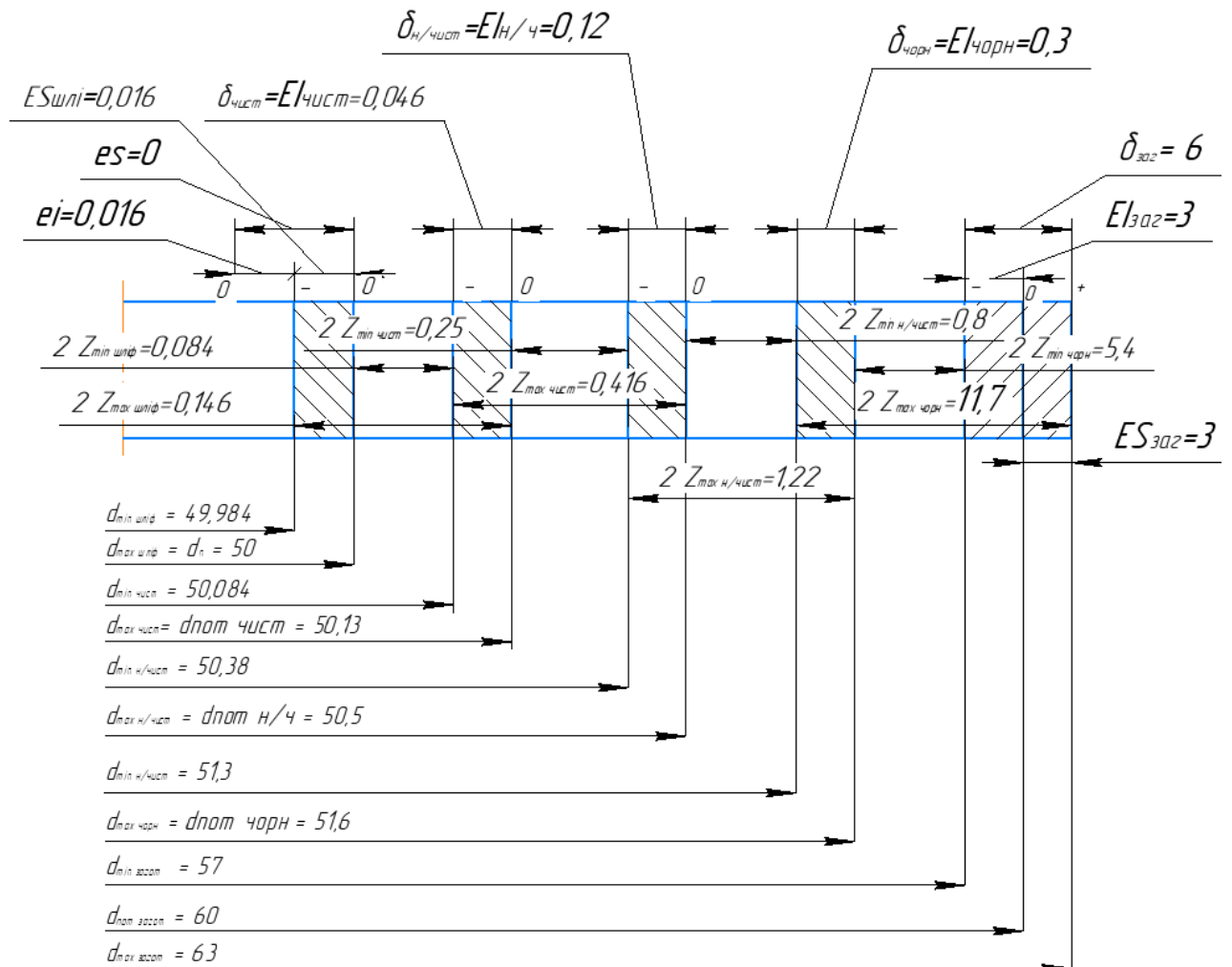


Рисунок 6.1 - Схема розташування припусків і допусків на обробку діаметрального розміру  $\text{Ø}50\text{h}6$

## 6.2 Аналіз та обґрунтування схеми базування і закріплення заготовки

Під час аналізу конфігурації заготовки визначено, що за усієї сукупності її поверхонь на роль технологічних баз під час фрезерування пазів 14N9, 10N9, L8, L6, 5N9 перш за все претендують циліндричні поверхні  $\text{Ø}55\text{d}8$  (2 поверхні) та торець  $\text{Ø}77$ . Вказані поверхні не заважають доступу ріжучого інструменту до оброблюваної поверхні, є досить розвинутими та чисто обробленими.

Під час базування заготовки по зовнішнім циліндричним поверхням  $\text{Ø}55\text{d}8$  (2 поверхні) реалізується подвійна напрямна база, яка позбавляє заготовку чотирьох степенів вільності, а саме двох поступальних та двох обертових переміщень уздовж і навколо осей Y і Z при горизонтальному

розташуванні «вала», та базуванні по внутрішньому торцю  $\varnothing 77h14$ , реалізується опорна база яка позбавляє заготовку одного ступеня свободи, а саме переміщення вздовж осі X. Приклад базування приведений на рисунку 6.1, також додано таблицю відповідності 6.5 та матрицю зв'язків 6.6

Таблиця 6.5 – Таблиця відповідності базування заготовки по діаметру 55 мм і прилеглому торцю 77 мм

Зв'язки	Ступінь вільності	Назва бази
1,2,3,4	II, III, V, VI	ПНБ
5	I	ОБ
6	IV	Вакансія

Таблиця 6.6 – Матриця зв'язків базування заготовки по діаметру 65 мм і прилеглому торцю 77 мм

	X	Y	Z	Назва бази
1	0	1	1	ПНБ
$\alpha$	1	1	1	
1	1	0	0	ОБ
$\alpha$	0	0	0	
$\alpha$	2	2	1	5

Точність розміру ширини пазів забезпечується геометричними параметрами фрези, степенями її зношування тощо (вибір схеми базування не впливає на точність розміру).

Під час установки заготовки в опорних призмах для розміру глибини паза  $5,5^{+0,2}$  мм має місце похибка базування, величину якої можна розрахувати за формулою:

$$\epsilon_{T50} = 1/2 \cdot T_D \cdot 1/(\sin(\alpha/2)) \quad (6.5)$$

де  $T_D$  – допуск на параметр базової поверхні заготовки;

$\alpha$  – кут нахилу призми,  $90^\circ$ .

$$T_D = T_{\varnothing 50} = 0,16 \text{ мм}$$

$$\epsilon_{T50} = 1/2 \cdot 0,16 \cdot 1/\sin 45^\circ = 0,113 \text{ мм}$$

Таким чином похибка базування не перевищує допуск на операційний розмір ( $T_{50} = 0,2 \text{ мм} > \epsilon_{T50} = 0,113 \text{ мм}$ ), що є прийнятним.

Проаналізуємо спосіб базування по діаметру  $\varnothing 55$  (2 поверхні) мм та торцю  $\varnothing 80$ . Спосіб можливо реалізувати із застосуванням призми з кутом  $90^\circ$ . Схема базування зображена на рисунку 6.3. Під час базування заготовки в даному випадку виникають такі ж бази як і в попередньому способі базування. Аналогічно матриці відповідності та зв'язків залишаються незмінними, як в попередньому випадку.

Слід зазначити, що в даному випадку торець  $\varnothing 80$  являє собою більш розвинену поверхню для опорної бази. Однак в обох випадках має місце похибка взаємного розташування пазів, яка складає величину суми допусків розмірів, які були отримані на попередній операції.

Розрахункова формула:

$$\Sigma_{63} = T_a = (T_{491} + T_5) = 1550 + 300 = 1.85 \text{ мм} \quad (6.6)$$

Виходячи з аналізу базування ми приходимо до висновку, що деталь неможливо правильно збазувати відносно всіх поверхонь без спеціального обладнання та доналадки верстату.

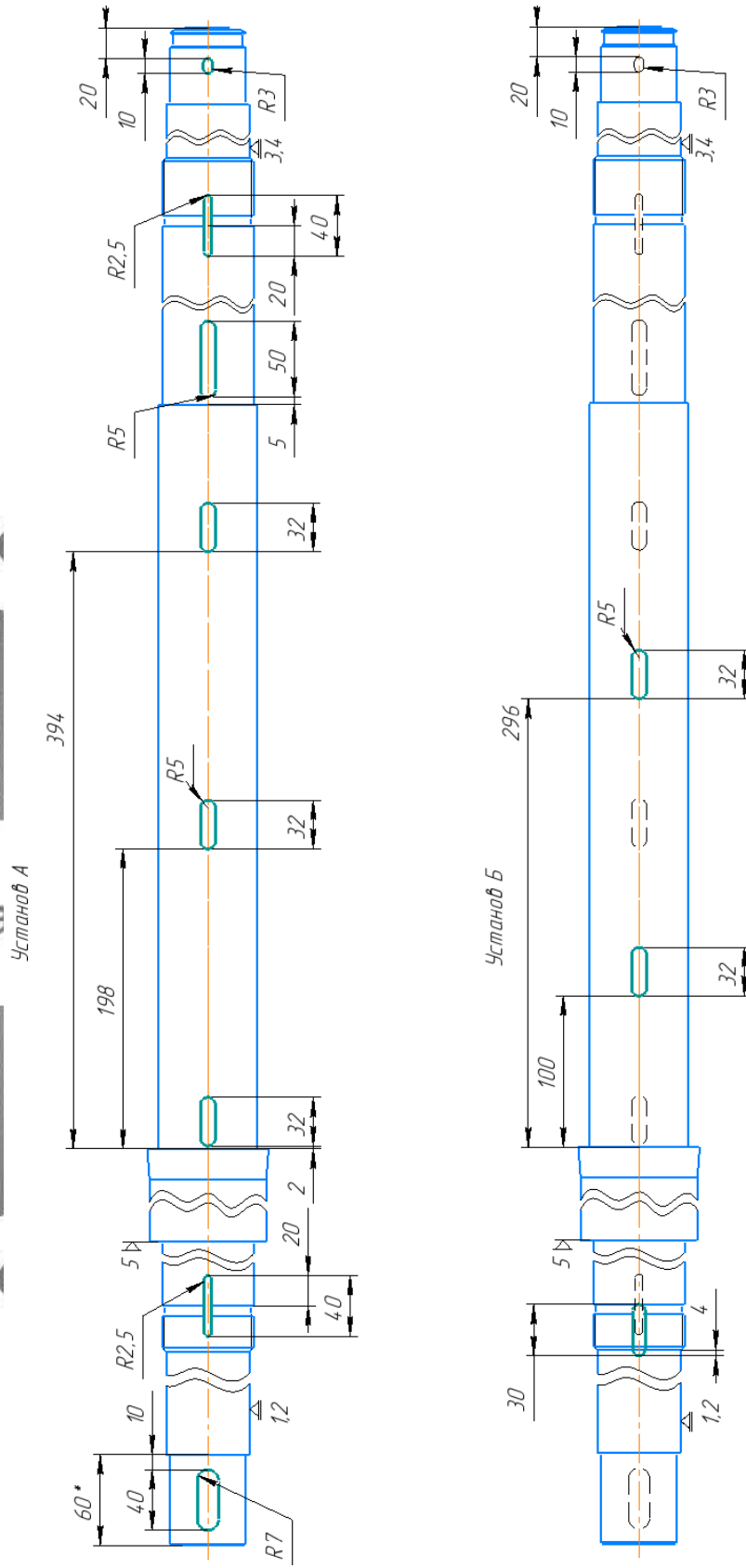


Рисунок 6.2 - Схема базування «Вал» на горизонтально-фрезерній операції 045





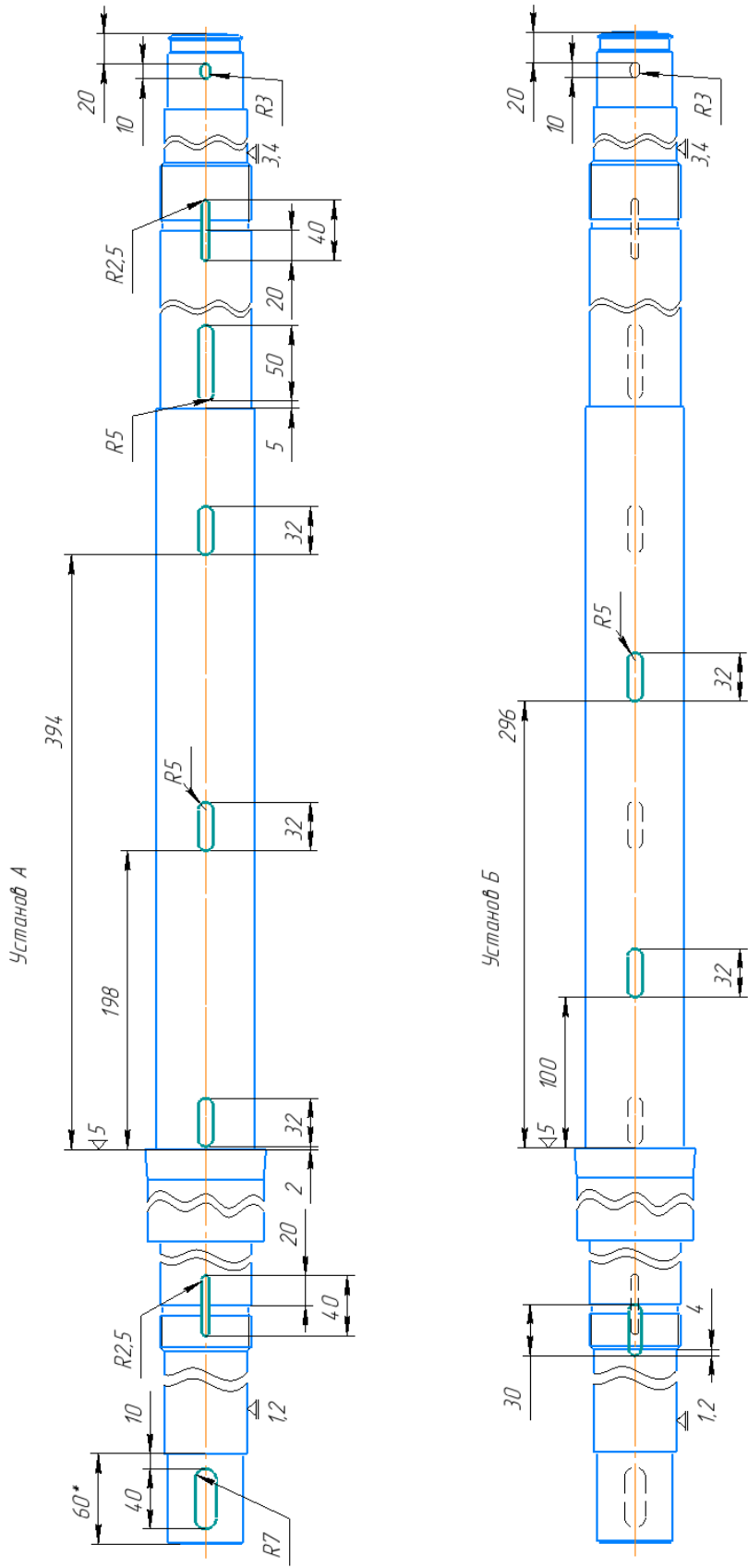


Рисунок 6.3 - Схема базування «Вал» на горизонтально-фрезерній операції 045

## Обґрунтування вибору схеми базування та закріплення заготовки на операції круглошліфувальній 050.

Аналіз конфігурації заготовки показав, що за усієї сукупності її поверхонь на роль технологічних баз під час шліфування, перш за все претендують центрувальні отвори. Таким способом обробки всі поверхні є доступними, не заважають доступу абразивного інструменту до оброблюваної поверхні, є досить розвинутими та чисто обробленими. Оброблені поверхні вказані на рис. 6.4

Згідно правила вибору чистових баз обираємо як базові поверхні заготовки центрові отвори. З метою усунення провисання деталі під час обробки, до поверхні  $\varnothing 77$  підводимо люнет.

Згідно рисунку 6,4 ескіз обробки деталі на операцію 045 маємо такі бази:

- подвійна опорна база яка позбавляє заготовку 2-х степенів вільності (поступальне переміщення вздовж осей Y та Z)
- подвійна опорна база яка позбавляє заготовку 2-х степенів вільності (обертання навколо осей Y та Z)
- опорна база яка позбавляє заготовку 1-го ступеня вільності (постійне переміщення вздовж осі X).

Також додано таблицю відповідності 6.3 та матрицю зв'язків 6.4

Таблиця 6.7 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Зв	Ступінь вільності	Назва бази
2	1,	3,2	ПОБ
5	4,	5,6	ПОБ
	3	1	ОБ

Таблиця 6.8 – Матриця зв'язків

	X	Z	Назва бази
	0	1	ПОБ
	0	0	
	0	0	ПОБ
	0	1	
	1	0	ПОБ
	0	0	

Виконаємо аналіз схеми базування заготовки з точки зору забезпечення точності, операції розмірів:  $\varnothing 50h6$  (2 поверхні),  $\varnothing 55d8$  (2 поверхні),  $\varnothing 60h6$  (2 поверхні), діаметральні розміри 113, 72h8, 60h12 забезпечуються автоматично за рахунок того, що заготовка базується в центрах, технологічна та вимірювальна бази співпадають тож похибка базування  $E_6=0$ .

### 6.3 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів.

Для виконання горизонтально-фрезерної операції 040 розглянемо верстат, на якому можна реалізувати обробку деталі, враховуючи, що тип виробництва дрібно-серійний. Виконуючи обробку фрезерування пазів кінцевою фрезою, стіл верстата повинен забезпечити надійне закріплення заготовки та відповідати за розмірами для переміщення під час обробки. З огляду на досить

великі габарити виробу, пропонована модель верстата: Zenitech UFM 160B з ЧПУ. Технологічні можливості обладнання дозволяють виконати дану операцію. Розглянемо технічні характеристики верстата (таблиця 6.9).

Таблиця 6.9 – Технічні характеристики верстата Zenitech UFM 160B

Найменування технічної характеристики	Величина
Розміри робочого столу, мм	1700x400
Кількість / Ширина / Відстань між Т пазами, мм	3/18/90
Макс. навантаження на стіл, кг	800
Поздовжнє переміщення (ручне / авто), мм	900/880
Поперечне переміщення (ручне / авто), мм	315/300
Вертикальне переміщення (ручне / авто), мм	385/365
Швидкість робочої подачі, мм / хв	X,Y: 23.5/1180, Z: 8/394
Швидкість швидких переміщень, мм / хв	X: 2300, Y: 2300, Z: 770
Діапазон швидкостей шпинделя, об / хв	30/1500
Кількість швидкостей шпинделя	18
Відстань від центру столу до направляючої, мм	85
Макс. кут повороту шпинделя	±45°
Відстань між віссю і поверхнею столу, мм	30/500
Потужність мотора, кВт	11
Габаритні розміри, мм	2556x215 9x2298
Маса верстата, кг	4250

Для операції круглошліфвальна 050.

Для виконання операції круглошліфвальна 050 необхідно підібрати верстат, що дозволить реалізувати обробку деталі, враховуючи, що тип виробництва дрібно-серійний, стіл верстата повинен забезпечити надійне закріплення заготовки та відповідати необхідним розмірам для переміщення під час обробки. Пропонована модель верстата: 3У144.

Розглянемо технічні характеристики верстата (таблиця 6.10)

Таблиця 6.10 - Технічна характеристика верстата мод. 3У144

Висота центрів, мм	240
Найбільший діаметр виробу, мм	400
Найбільша довжина виробу, мм	2 000
Найбільший діаметр отвору, що шліфується, мм	200
Найменший діаметр отвору, що шліфується, мм	30
Найбільша довжина отвору, що шліфується, мм	125
Найбільший діаметр отвору встановлюваного в патроні, мм	250
Найбільша довжина виробу при шліфуванні отвору з люнетом, мм	350
Найбільша маса виробу при не затиснутій пінолі, кг	200
Найбільша маса виробу при затиснутій пінолі, кг	500
Найбільша маса виробу при обробці в патроні, кг	150
Найбільша довжина переміщення стола, мм	995 / 1 395 / 2 000
Швидкість переміщення стола від гідроприводу, м / хв.	0.05...5.0
Найбільший кут повороту верхнього стола за годинниковою стрілкою, град.	3

Частота обертання виробу (регулювання безступінчасте), хв-1	25 - 300
Найбільший кут повороту передньої бабки за годинниковою стрілкою, град.	30
Найбільший кут повороту передньої бабки проти годинникової стрілки, град.	90
Потужність електродвигуна приводу виробу, кВт	1,5

Продовження таблиці 6.8

Розміри шліфувального круга (Д x В x Дотв), мм	600 x 80 x 305
Швидкість різання, м / с	50
Найбільше переміщення по гвинту, мм	290
Періодична подача, мм / об	0.001...0.05
Періодична подача для верстатів з ЧПК, мм / об	0.001...0.999
Швидкість врізної подачі, мм / хв	0.01...4.5
Швидкість врізної подачі для верстатів з ЧПК, мм / хв	0.01...9.99
Найбільший кут повороту шліфувальної бабки, град.	( /-) 30
Потужність електродвигуна приводу шліфувального круга, кВт	11
Довжина верстата, мм	5 000 / 5 190 / 6 440
Ширина верстата, мм	3 420
Висота верстата, мм	2 220
Маса верстата, кг	6 980
Висота центрів, мм	240

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



Верстатні пристрої становлять 50% від загального об'єму технологічної оснастки.

За допомогою верстатних пристроїв можливо реалізувати наступні дії:

- розширити технологічні можливості використовуваного обладнання;
- стабільно забезпечувати високу якість оброблюваних деталей, коли кваліфікація робітника мінімально впливає на якість деталей;
- забезпечувати жорсткість у процесі обробки;
- надійно базувати та закріплювати деталь.

Зведемо до таблиці 6.9 ріжучий та вимірювальний інструмент, який використовується при механічній обробці на операції 045.

Таблиця 6.11 - Перелік ріжучого інструменту для операції 055  
Горизонтально-Фрезерна з ЧПК

Номер та зміст переходу	Ріжучий інструмент	Допоміжний інструмент	Вимірювальний інструмент
1	2	3	4
Фрезерування пазу 14N9	ST90AP10D14W16L120Z01	-	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89
Фрезерування пазів 10N9 Ra6.3	HSTLP01D10C10L100Z02-H	-	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89
Фрезерування пазів B6 Ra12.5	ФК 4111-1677	-	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89
Фрезерування пазів 5N9	ФК 4111-1623	-	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1

Ра6.3			ГОСТ 166-89
-------	--	--	-------------

## Операція 060

Для абразивної обробки будемо використовувати:

- Хомутик 7107-0069 ГОСТ 16488-70
- Центр 7032-0023 Морзе 4 ГОСТ 13214-79
- Центр А-1-4-Н ГОСТ 8742-75
- Круг ПП 600x25x32 24А40НС15КА
- Оправка 32x25 ГОСТ 2270-78
- Скоба 8113-0139 f7 ГОСТ 18362-73
- Контрольно-вимірвальний прилад  
для контролю циліндричності
- Приклади шорсткості ГОСТ 9378-93

Також треба застосувати токарний повідковий патрон для передачі крутного моменту заготовки. Токарний повідковий патрон 44 моделі УГО 124.000000.000 застосовується для базування і закріплення заготовок валів [3]. Конструкція патрона складається із рухомого центру із пружиною А1-2 НП ЧПК ГОСТ 8742-75 та комплекту ексцентрикових кулачків. Діапазон діаметрів, що затискаються комплектом змінних кулачків, становить 17-76 мм. Зовнішній діаметр патрона дорівнює 250 мм.

### 6.5 Розрахунок режимів різання

Операція 035 «Токарна з ЧПК». Вихідні дані: різець MWLNR2020K06, матеріал Т5К10, обробка поверхні із  $\varnothing 60$  до  $\varnothing 55,5$  довжиною 70 мм, шорсткість поверхні  $Ra = 6,3$  мкм.

1. Глибина різання  $t$ , мм:

$$t = \frac{60 - 55,5}{2} = 4,5 \text{ мм}$$

2. Подача  $S = 0,4 - 0,8$  мм/об [10, т. 11, с. 266]. Приймаємо  $S = 0,5$  мм/об.

3. Швидкість різання  $V$ , м/хв:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y} = \frac{350 \cdot 0,36}{60^{0,2} \cdot 5,2^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} = 55,6 \text{ м/хв} \quad (6.8)$$

де  $T = 60$  хв – період стійкості різця [10, с. 268];

$C_v = 350$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,35$ ;

$m = 0,2$  [10, т. 17, с. 269-270];

$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} = 0,61 \cdot 0,9 \cdot 0,65 = 0,36$

$$K_{mv} = K_r \frac{750}{\sigma_b} = 0,8 \frac{750}{981} = 0,61 \quad (6.8)$$

$K_r = 0,8$  [10, т. 2, с. 262];

$\sigma_b = 981$  МПа;  $n_v = 1,0$  [10, т. 2, с. 262];

$K_{pv} = 0,9$  [10, т. 5, с. 262];

$K_{iv} = 0,65$  [10, т. 6, с. 263].

4. Визначимо частоту обертання шпинделя  $n$ , об/хв:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 55,6}{3,14 \cdot 60} = 322,06 \text{ об/хв} \quad (6.8)$$

Приймаємо за паспортом верстата  $n_n = 315$  об/хв, тоді

$$V_\phi = \frac{\pi D n_n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 315}{1000} = 54,4 \text{ м/хв} \quad (6.8)$$

Визначимо хвилинну подачу  $S_m = S \cdot n_n = 0,5 \cdot 315 = 157,5$  мм/хв.

5. Визначимо силу різання  $P_z$  (Н):

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_y \cdot V_u \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,75 \cdot 53,4^{-0,15} \cdot 1,09 = 5357 \text{ Н,}$$

де  $C_p = 300$ ;  $x = 1,0$ ;

$y = 0,75$ ;  $u = -0,15$  [7, т.22, с.273-274];

$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 1,22 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 = 1,09$ ;

де  $n = 0,75$  [10, т. 9, с. 264];  $K_{\phi p} = 0,89$ ;  $K_{\gamma p} = 1,0$ ;  $K_{\lambda p} = 1,0$ ;  $K_{rp}$  – немає [10, т. 23, с. 275].

6. Потужність різання  $N$ , кВт:

$$N = \frac{P_z \cdot V_\phi}{1020 \cdot 60} = \frac{5367 \cdot 54,4}{1020 \cdot 60} = 4,7 \text{ кВт} \quad (6.8)$$

Потужність на шпинделю верстата

$$N_e, \text{ кВт}: 46 \quad N_e = N_c \cdot \eta = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ кВт},$$

де  $\eta = 0,8$  – ККД верстата;

$N_c = 10$  кВт – електродвигуна головного руху.

Якщо  $N = 4,7 \text{ кВт} < N_e = 8 \text{ кВт}$ , то обробка можлива.

Інші технологічні переходи операції 015 режими різання та основний час визначимо табличним методом (див. табл. 2.13).

Таблиця 6.16 – Режими різання на операції 035

Оброблена поверхня	Різальний інструмент	t, мм	i	S, мм/хв	V, м/хв	n, об/хв	T <sub>о</sub> , хв
Ø50,5 x 30	MWLNP 2020K06	5	3	200	69	400	0,46
Ø55,5 x 260	MWLNP 2020K06	5	3	200	75	400	4,06
Різьба М60x20-8g	SER2020K16	1	1	200	70	400	0,7
Ø60,5 x 148	MWLNP 2020K06	5	3	200	75	400	2,2
Ø77 x 85	MWLNP 2020K06	6,5	3	200	84	400	1,3
Конус Ø77-Ø80	MWLNP 2020K06	5	2	200	75	400	0,3
Ø65,5 x 491	MWLNP 2020K06	5	3	200	84	400	7,5
Ø60,5 x 218	MWLNP 2020K06	5	3	200	84	400	3,36

Різьба M60x20LH-8g	SER2020K16	1	1	200	70	400	0,7
Ø55,5 x 172	MWLNP 2020K06	5	3	200	75	400	2,6
Ø50,5 x 50	MWLNP 2020K06	5	3	200	70	400	0,7

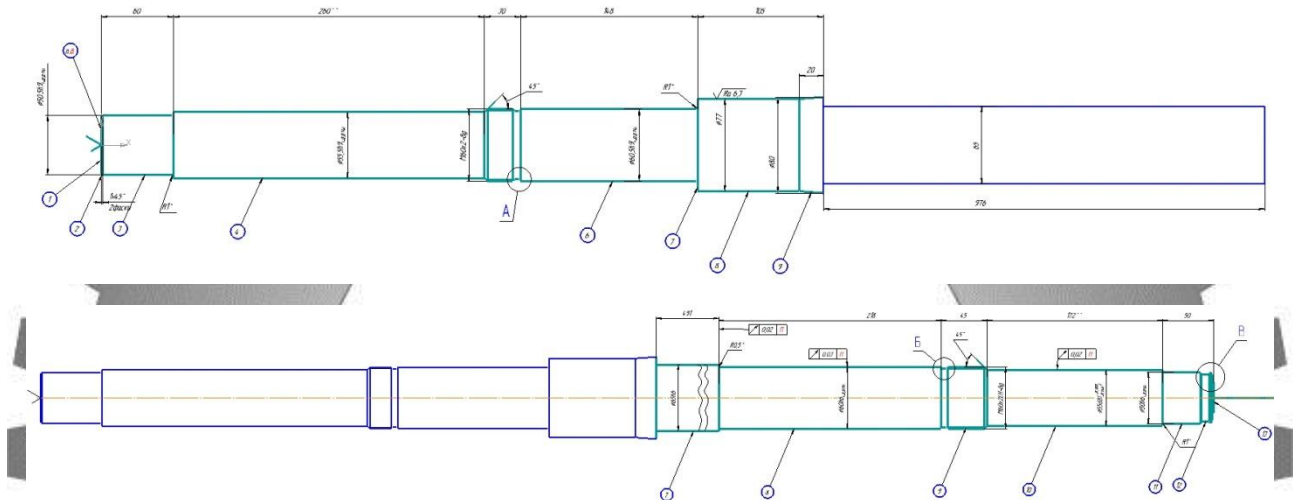


Рисунок 6.4 - Ескіз обробки для операції 035 Токарна з ЧПК

Вихідні дані для фрезерної операції: матеріал сталь 40X, межа міцності 730МПа, матеріал ріжучої частини фрези T5K10, ЗОР - емульсія, заготовка поковка штампування на ГКМ.

На фрезерному верстаті проводиться обробка поверхонь зазначених на рисунку 5.3:

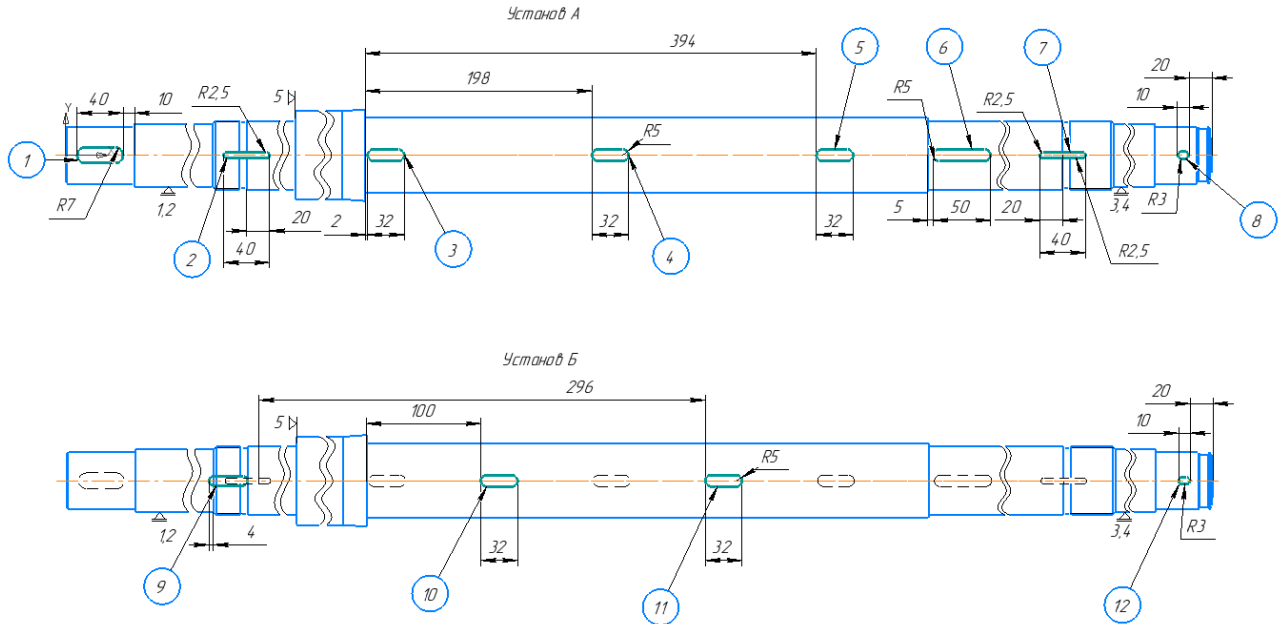


Рисунок 6.4 - Ескіз обробки для операції 055 Горизонтально-Фрезерна з ЧПК

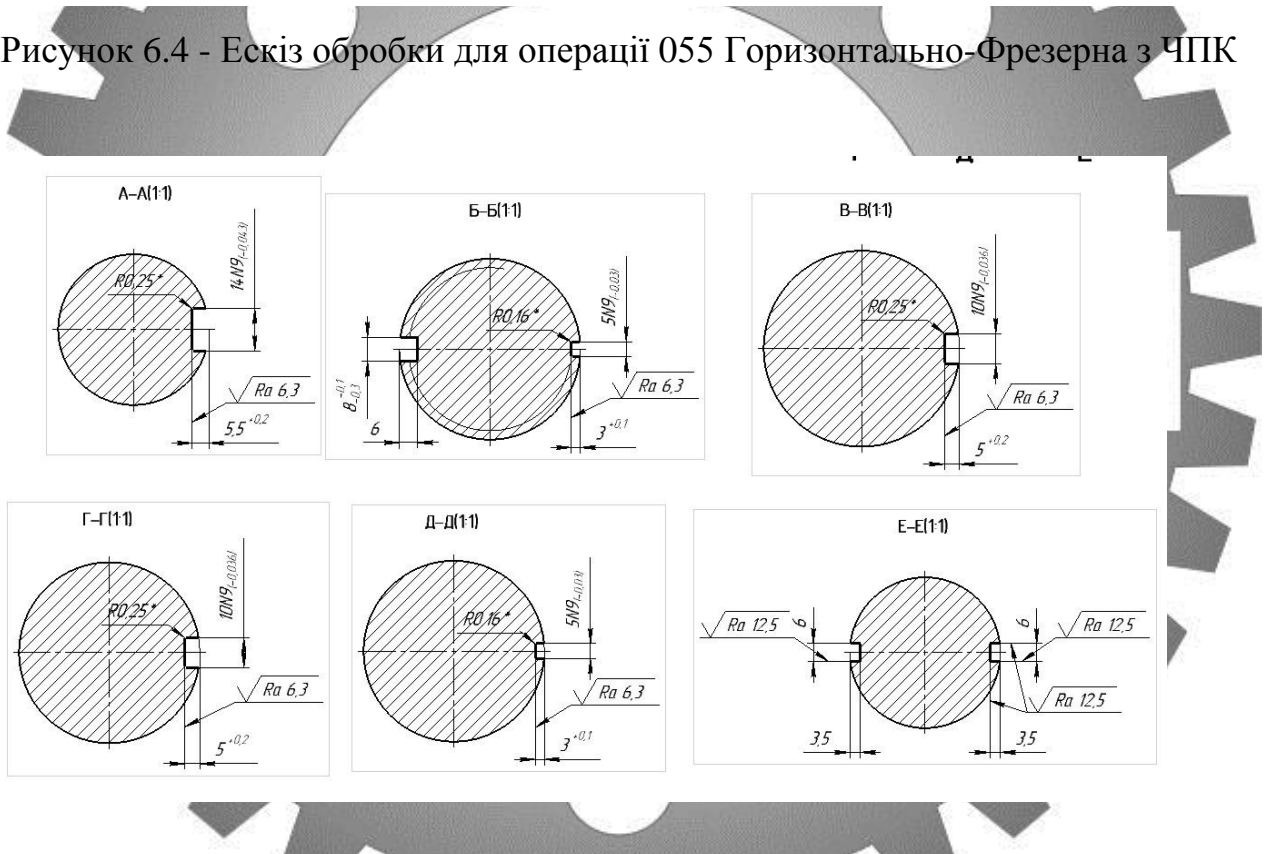


Рисунок 6.5 – Вимоги до поверхнь на операції 055 Горизонтально-Фрезерна з ЧПК

Таблиця 6.12 - Стадії обробки та глибина різання по стадіям:

t	1	2		4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	--	---	---	---	---	---	---	----	----	----



Чор	2,25	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,5	2	3	2,5	1,75	1,75
Н/Ч	2,25	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,5	2	3	2,5	1,75	1,75
Чист	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Вибір подач  $S_o$ , мм/об

1. Вибираємо подачу для чорнового точіння  $S_o$  (мм/об) поверхонь 1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,12 з урахуванням поправочних коефіцієнтів.

Визначимо подачу переміщення заготовки відносно фрези за один оберт

$$S_o = S_z \cdot z \quad (\text{мм/об}). \quad (6.7)$$

Де  $S_z$  - подача на зуб

$z$  - кількість зубів

Подача для чоргової стадії обробки по формулі (6,7) буде рівна:  
для поверхні 2, 6.

$$S_o = 0,06 \cdot 14 = 0,84 \quad (\text{мм/об}).$$

Вибір швидкості різання  $V_p$ , м/хв

1. Вибираємо швидкість різання  $V_p$ , (м/хв) для фрезерування з урахуванням поправочних коефіцієнтів

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v \quad (6.8)$$

Де  $C_v$  – коефіцієнт;

$D^q$  – діаметр фрези;

$T^m$  - період стійкості;

$t^x$  - глибина різання;

$S_z$  – подача на зуб;

$B^u$  - ширина різання;

$z^p$  - кількість зубів фрези;

$K_v$  - узагальнений поправочний коефіцієнт

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{uv} \quad (6.9)$$

Поправочні коефіцієнти на подачу в залежності від:

Властивостей оброблюваного матеріалу  $K_{mm} = 0.935$ ;

Стану поверхні заготовки  $K_{nv} = 0.85$ ;

Інструментального матеріалу  $K_{uv} = 0.83$ ;

$$K = 1.0 \cdot 0.8 \cdot 0.3 = 0.7$$

Тоді розрахункова швидкість різання по формулі (1.12) буде рівна:

**Сумський державний університет**  
**Кафедра технології машинобудування,**  
**Верстати та інструменти**

$$V = \frac{145 \cdot 140.44}{80^{0.37} \cdot 2.25^{0.24} \cdot 0.18^{0.26} \cdot 140^{0.37} \cdot 40.13^{0.13}} \cdot 0.7 = 25.9$$

Визначимо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (6.10)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 25.9}{3.14 \cdot 14} = 589 \text{ об/хв}$$

Скорегуємо частоту обертання шпинделя відносно до паспорту верстату

$n = 580$  об/хв.

Визначимо фактичну швидкість різання, та хвилинну подачу:

$$V = \frac{3.14 \cdot 14 \cdot 589}{1000} = 25,89 \text{ (м/хв)}$$

Визначимо силу різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot 14}{D^q \cdot n^w} \quad (6.11)$$

де  $C_p=261$ ,  $x=0,85$ ,  $y=0,75$ ,  $n=1$ ,  $q=0,73$ ,  $w=0,13$  - коефіцієнти та показники в формулі

$$P_z = \frac{10 \cdot 261 \cdot 2,25^{0,85} \cdot 0,18^{0,75} \cdot 14^1}{14^{0,73} \cdot 589^{0,13}} = 1278 \text{ Н}$$

Визначимо потужність, необхідну для обробки:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \text{ (кВт)} \quad (6.12)$$

$$N = \frac{1278 \cdot 25,89}{1020 \cdot 60} = 0,63 \text{ (кВт)}$$

Розрахункове значення потужності не перевищує допустимого ( $N_{\text{эф}} \leq N_{\text{дв}} \cdot \eta \cdot K_{\text{п}}$ ), отже обробка на верстаті Zenitech UFM160 В буде забезпечена.

Визначимо основний час:

$$T_o = \frac{l+l_1+l_2}{S_m \cdot n} \cdot i \text{ (хв)} \quad (6.13)$$

де  $l$  - довжина оброблюваної поверхні, мм;

$l_1$  - величина врізання інструменту, мм;

$l_2$  - величина перебігу інструмента, мм ( $l_2 = 2 \dots 6$  мм);

$i$  - число проходів.

$$T_o = \frac{52}{580 \cdot 0,18} \cdot 2 = 0,99 \text{ (хв)}$$

Розглянемо обробку інших поверхонь. На переходи даної операції здійснюємо вибір режимів різання табличним методом за допомогою каталогів [10, 11].

Обрані режими заносимо до таблиці 6.13.

Таблиця 6.13 - Режими різання для операції 045

Номер поверхні	Параметри режимів обробки						
	$i$	$t$ , мм	$S$ , мм/об	$V$ , м/хв	$n$ , об/хв	$B$ , мм	$T_o$ , хв
1	2	2,25	0,84	25,89	580	14	0,99
2	1	3	0,33	18	429	5	0,36
3,4,5,10,11	1	5	0,38	18	455	10	3,3
6	1	5	0,38	18	455	10	0,31

Продовження таблиці 6.13

7	1	3	0,33	18	429	5	0,19
8	1	4	0,28	18	490	6	0,32
9	1	6	0,21	18	517	8	0,57
12	1	3,5	0,28	18	490	6	0,30

Розрахунок режимів для операції 060 Круглошліфувальна.

Розробку режимів різання при шліфуванні починають із вибору характеристики шліфувального круга

Для круглого зовнішнього шліфування з поздовжньою подачею, параметра шорсткості  $Ra=0,4$  мкм, конструкційної легованої сталі 40Х приймаємо наступні параметри абразивного інструменту

Таблиця 6.14 – Характеристики абразивного інструменту

Назва характеристики	Значення
Форма круга	ПП
Характеристика	24А401К
Індекс зернистості	Н
Структура	5
Клас	А
Повне маркування круга	ПП24 А40НС15КА

Розміри шліфувального круга визначаємо за паспортом верстата  
 $D_k=400\text{мм}$ ;  $V_k=25\text{ мм}$ .

Режими різання шліфувального круга  $V_k = 40\text{м/с}$

Частота обертання шпинделя шліфувальної бабки

**Сумський державний університет**  
**Кафедра технології машинобудування,**  
**верстатів та інструментів**

$$n_{\text{ш}} = \frac{1000 \cdot V_k \cdot 60}{\pi \cdot D_k} \quad (6.14)$$

$$n_{\text{ш}} = \frac{1000 \cdot 40 \cdot 60}{3.14 \cdot 600} = 1273,88$$

Коректуємо за паспортним даними верстата. Так як верстат має безступінчатє регулювання швидкості обертів, приймаємо  $n_{\text{ш}}=1270\text{ об/хв}$

Окружна швидкість заготовки  $V_3 = 15 \div 55\text{ м/хв}$ ; приймаємо  $V_3=25\text{ м/хв}$

Частота обертання шпинделя передньої бабки, що відповідає прийнятій швидкості обертання заготовки,

$$n_3 = \frac{1000 \cdot V_3}{\pi \cdot D_3} \quad (6.15)$$

$$n_3 = \frac{1000 \cdot 25}{3,14 \cdot 55} = 144,75$$

Коректуємо значення за паспортними даними верстата  $n_3=140$  об/хв

Глибина шліфування  $t=0,005\div 0,015$  мм. Приймаємо, враховуючи безступінчасте регулювання поперечної подачі шліфувального кола на хід стола. Приймаємо  $t = 0,01$

Поздовжня подача

$$S=(0,2\div 0,4)V_k, \text{ мм/об.} \quad (6.16)$$

Приймаємо

$$S = 0,25 \cdot V_k = 0,25 \cdot 25 = 15,5 \text{ мм/об}$$

Швидкість поздовжнього ходу стола

**Сумський державний університет  
Кафедра технології машинобудування,  
верстатів та інструментів**

$$V_c = \frac{S \cdot n_3}{1000} \quad (6.17)$$

$$V_c = \frac{15,5 \cdot 140}{1000} = 2,17 \text{ м/хв}$$

Коригуючи за паспортними даними верстата приймаємо

$$V_c = 2,2 \text{ м/хв}$$

Перевірка достатності потужності верстата

Потужність затрачувана на різання

$$N_p = C_n \cdot V^z \cdot t^x \cdot S^y \cdot d^q, \text{ кВт} \quad (6.18)$$

де  $C_N$  - коефіцієнт, що враховує умови шліфування;

$x, y, z, q$  - показники ступенів;



$V, t, S$  - елементи режиму різання;

$d$  - діаметр шліфування, мм.

Для круглого зовнішнього шліфування легованої сталі з подачею на кожний хід шліфувальним кругом зернистістю 40, твердістю СМ1  $C_N=2,65$ ;  $z=0,5$ ;  $x=0,5$ ;  $y=0,55$ ;  $q=0$ ,

тоді

$$N_p = 2,65 \cdot 300,5 \cdot 0,0050,5 \cdot 15,750,55 \cdot 1 = 2,65 \cdot 5,48 \cdot 0,07 \cdot 4,55 = 4,63 \text{ кВт}$$

Потужність на шпинделі верстата

$$N_{\text{шп}} = N_d \cdot \eta, \text{ кВт} \quad (6.19)$$

$$N_{\text{шп}} = 11 \cdot 0,75 = 8,25 \text{ кВт}$$

Так як  $N_p = 4,63 < N_{\text{шп}} = 8,25$  робимо висновок, що обробка можлива.

Визначимо основний час

$$T_0 = \frac{L \cdot \square}{1000 \cdot V_c \cdot t} \cdot K, \text{ хв} \quad (6.20)$$

$$L = l - (1 - k \cdot m) \cdot V_k, \text{ мм} \quad (6.21)$$

де

$l$  - довжина поверхні, що шліфується

$m$  - частка перебігу круга, приймаємо  $m=0,5$ ;

$k=1$  - число сторін перебігу круга

$$L = 260 - (1 - 1 \cdot 0,5) \cdot 25 = 247,5 \text{ мм}$$

$K=1,4$  - коефіцієнт виходжування

$h$  - припуск на сторону

$$T_0 = \frac{247,5 \cdot 0,2}{1000 \cdot 2,2 \cdot 0,01} \cdot 1,4 = 3,15, \text{ хв}$$

Таблиця 6.15 - Режими різання для операції круглошліфувальна 060

Поверхня	Параметри режимів обробки				
	t, мм	S, м/об	V, м/хв	n, об/хв	T <sub>0</sub> , хв
Ø50h6 (l 60)	0,01	15.5	2.0	125	0,28
Ø55d8 (l 260)	0,01	15.5	2.2	140	3,15
Ø60h6 (l 148)	0,01	15,5	2,4	155	1,26
Ø60h6 (l 218)	0,01	15,5	2,4	155	2,07
Ø55d8 (l 172)	0,01	15.5	2.2	140	1,68
Ø50h6 (l 40)	0,01	15.5	2.0	125	0,014

### 6.6 Технічне нормування операції

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 - дрібносерійне. Технічне нормування будемо проводити для операції 055горизонтально-фрезерна з ЧПК. Технічне нормування операцій здійснюємо згідно вибору з відповідної літератури норм допоміжного часу.

Дані щодо режимів різання та основного часу обираємо з таблиці 6.11

Основний час:  $T_0 = 6,15$  хв. Норма часу  $N_{\text{ч}}$  складається з норми підготовчо-завершального часу  $T_{\text{пз}}$  і норми штучного часу  $T_{\text{ш}}$

$$T_{\text{шт}} = (T_{\text{ца}} + T_{\text{в}} \cdot K_{\text{тв}}) \cdot (1 + [a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{отл}}] / 100), \quad (6.22)$$

де  $a_{\text{тех}} = 4\%$  [9];

$a_{\text{орг}} = 4,7\%$  [9];

$a_{отл} = 4\%$  [9];

$K_{тв}$  за таблицею 2.7 [9] технічне обслуговування 1.0;

$T_d$  – час на установку і зняття деталі [9];

$$T_d = T_{д.у} + T_{д.оп} + T_{д.вим}, \quad (6.23)$$

де  $T_{д.у}$  – час на установку і зняття деталі вручну або під'ємним механізмом, 3,0 хв, [9];

$T_{д.оп}$  – допоміжний час, пов'язаний з операцією (який не увійшов до програми), 0,56 хв [9];

$T_{д.вим}$  – допоміжний час на вимірювання (який не перекривається), 0,04 хв [9];

$$T_d = 3,0 + 0,56 + 0,04 = 3,6 \text{ хв}$$

**Сумський державний університет**  
**Кафедра технології машинобудування,**  
**верстатів та інструментів**

$$T_{ца} = T_o + T_{мд}, \quad (6.24)$$

де  $T_o$  – сумарний основний час на обробку, хв;

$T_{мд}$  – машинно-допоміжний час за програмою обираємо 0,28 хв, [9];

$$T_{ца} = 0,99 + 0,28 = 1,27 \text{ хв.}$$

$$T_{шт} = (1,27 + 3,6 \cdot 1,0) \cdot (1 + (4 + 4,7 + 4) / 100) = 5,48 \text{ хв.}$$

Використовуючи джерело [9] визначаємо підготовчо-завершальний час  $T_{пз} = 45,3$  хв.

$$N_q = 8,025 + 45,3/52 = 8,89 \text{ хв.}$$

Нормування часу для операції круглошліфувальна 060

Вихідні дані для основного часу беремо з таблиці 6.13

Допоміжний час  $t_{\text{доп}}$ , хв., визначається для кожного переходу за елементами: час на установку і зняття деталі; час, пов'язаний з переходами; час, пов'язаний з контрольними вимірами.

Для деталі середньої конфігурації з масою 36,5 кг  $t_{\text{доп}} = 1,5$  хв

Нормативи допоміжного часу на зміну режиму роботи верстата,  $t_{\text{доп}} = 0,06$  хв

Нормативи допоміжного часу на один вимір деталей при слюсарних роботах  $t_{\text{доп}} = 0,30$  хв.

$$t_{\text{доп}} = \sum_i^j t_{\text{доп}} \quad (6.25)$$

Сумський державний університет  
Кафедра технології машинобудування,  
верстатів та інструментів

Додатковий час приймається у відсотках від суми основного і допоміжного часу та розраховується за формулою

$$t_{\text{дод}} = (t_o + t_{\text{доп}}) \cdot \frac{x}{100} \quad (6.26)$$

де  $x$  - додатковий час на обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби робітника, відсоток від суми основного і допоміжного часу:  
 $x=6,5-7,2$  %

$$t_{\text{дод}} = (3,5 + 1,86) \cdot 0,7 = 3,75$$

Штучний час розраховується за формулою

$$T_{\text{шт}} = t_o + t_{\text{доп}} + t_{\text{дод}} \quad (6.27)$$

$$T_{шт} = 8,4 + 1,86 + 3,75 = 14,01 \text{ хв}$$

Норма підготовчо-заключного часу  $T_{пз}$  складається з:

- часу на отримання наряду, креслення, технологічної документації, ріжучого і допоміжного інструменту і пристосування: 9,0 хв;
- часу на ознайомлення з роботою, кресленням, технологічної документації: 4,1 хв;
- часу на інструктаж майстра: 2,0 хв;
- часу на установку первісний режим роботи верстата: 0,15 хв;

$$T_{пз} = 9 + 4,1 + 2,0 + 0,15 = 15,25 \text{ хв.}$$

Норма часу  $H_q$  на виконання операцій на верстатах з ЧПК при роботі на одному верстаті складається з норми підготовчо-завершального часу  $T_{пз}$  і норми штучного часу  $T_{шт}$ :

$$H_q = T_{шт} + T_{пз} / n, \quad (6.28)$$

- де
- $n$  - кількість деталей в партії для одночасного запуску;
  - $T_{шт}$  - штучний час;
  - $T_{пз}$  - підготовчо-завершальний час

$$H_q = 14,01 + 15,25/52 = 14,3 \text{ хв}$$

## 7 ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ УСТАНОВЛЕННЯ І ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ

### 7.1 Обґрунтування вибору системи пристрою

Для забезпечення допусків розташування для пазів деталі необхідно спроектувати верстатний пристрій з механізованим приводом для установки та закріплення на операції 055 горизонтально-фрезерна з ЧПК обробка проводиться на верстаті моделі Zenitech UFM160 (технічні характеристики наведено в таблиці 6.6).

На фрезерній операції із ЧПК виконується обробка 12 шпоночних пазів у деталі «Вал». Деталь є однією з відповідальних складових живильного насосу, для неї ставляться високі вимоги щодо точності розмірів, форми та розташування поверхонь. Для задоволення цих вимог використовується підпружинений палець, що зменшує похибку базування деталі.

### 7.2 Визначення кількісних і якісних результатів виконання операції

На даній операції формуються такі лінійні розміри:

$$L = 40 \text{ мм}, B = 14 \text{ мм}, t = 5,5.$$

Знаходимо значення допуску для пазу  $B = 14$ :

$$T_{40} = 62 \text{ мкм};$$

$$T_{14} = 43 \text{ мкм};$$

$$T_{5,5} = 30 \text{ мкм};$$

Знаходимо значення допуску для пазу  $B = 5$ :

$$T_{40} = 62 \text{ мкм};$$

$$T_{14} = 30 \text{ мкм};$$

$$T_{5,5} = 25 \text{ мкм};$$

Знаходимо значення допуску для пазу  $B = 8$ :

$$T_{30} = 52 \text{ мкм};$$



$$T_8 = 36 \text{ мкм};$$

$$T_6 = 36 \text{ мкм};$$

Знаходимо значення допуску для пазу  $B = 10, L = 32$ :

$$T_{32} = 62 \text{ мкм};$$

$$T_{10} = 36 \text{ мкм};$$

$$T_5 = 30 \text{ мкм};$$

Знаходимо значення допуску для пазу  $B = 10, L = 50$ :

$$T_{50} = 62 \text{ мкм};$$

$$T_{10} = 36 \text{ мкм};$$

$$T_5 = 30 \text{ мкм};$$

Знаходимо значення допуску для пазу  $B = 10, L = 40$ :

$$T_{40} = 62 \text{ мкм};$$

$$T_5 = 30 \text{ мкм};$$

$$T_5 = 30 \text{ мкм};$$

Знаходимо значення допуску для пазу  $B = 6, L = 10$ :

$$T_{10} = 36 \text{ мкм};$$

$$T_6 = 30 \text{ мкм};$$

$$T_{3,5} = 30 \text{ мкм};$$

Точність форми

Похибку форми стінки пазу  $40 \times 5,5$  мм ( $L = 40$  мм,  $B = 14$  мм,  $t = 5,5$ ) нормують за ГОСТ 24643-81 і характеризують відхиленням від площинності.

Незазначений допуск площинності приймаємо орієнтовно в межах 60% від допуску на розмір ширини пазу  $B = 14$  мм.

В такому разі розрахункове значення допуску площинності буде дорівнювати

$$T_{\square 40} = 0,6 \cdot 43 = 25,8 \text{ (мкм)}.$$

Згідно [1, с. 107] беремо найближче стандартне значення допуску площинності:

$$T_{\square_{40}} = 30 \text{ мкм},$$

Що відповідає 10 ступеню точності.

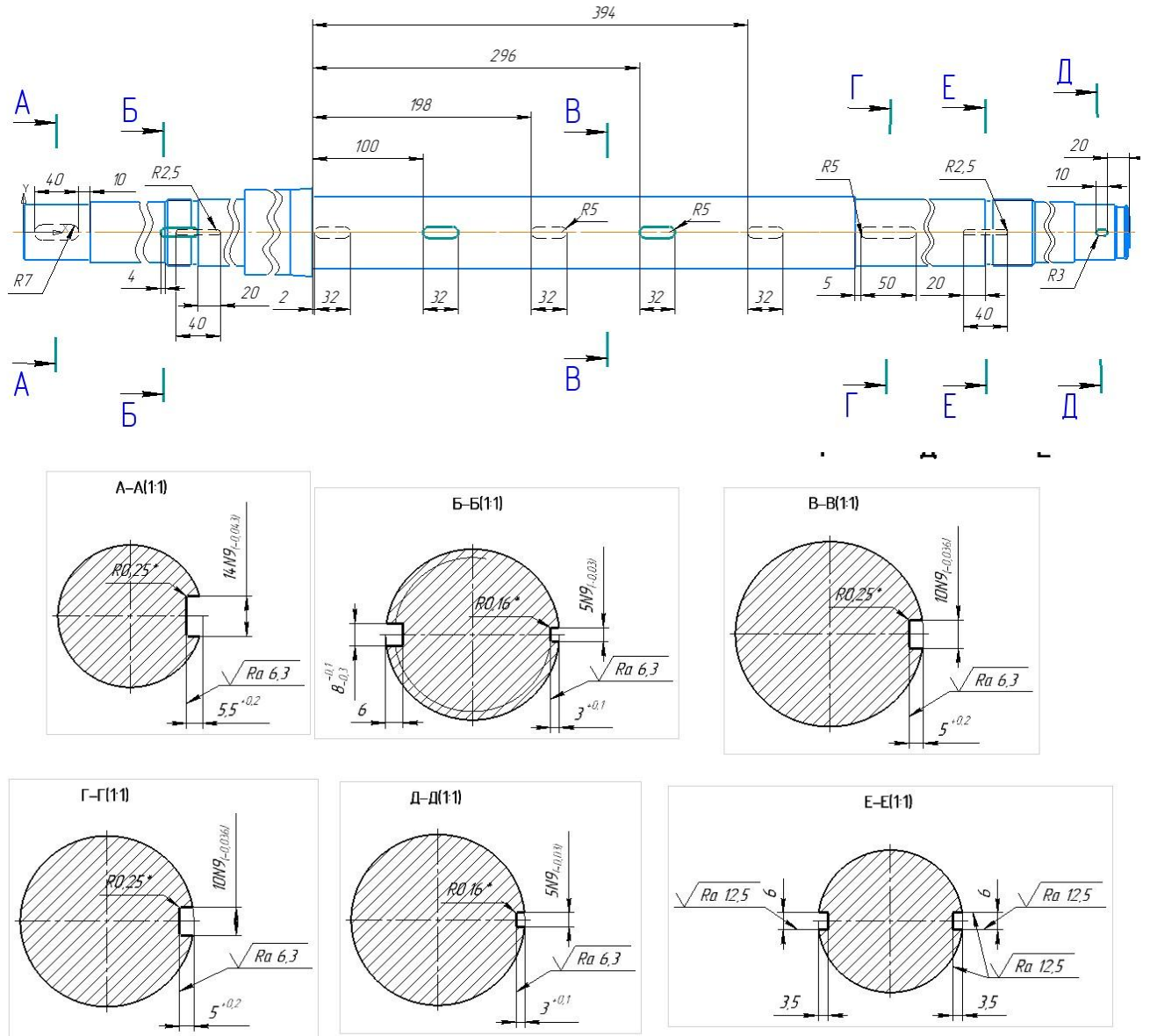


Рисунок 7.1 – Ескіз деталі

Точність розташування

Зазначений допуск зміщення паза щодо осі вала не більше 0,2 мм, перекіс не більше 0,05 мм на довжині - 50 мм.

## Шорсткість

Шорсткість оброблюваних поверхонь, що зазначена на кресленні, має значення  $Ra = 0,63$  мкм.

7.3 З'ясування кількісних та якісних даних про заготовку, що надходить на операцію

Для розроблення схеми базування проводимо аналіз точності поверхонь, що претендують на роль базових. Для кількісної оцінки параметрів поверхонь, які можуть виступати в ролі базових, проводимо аналіз точності форми, розмірів, точності розташування та ступеня шорсткості.

Оскільки для обробки пазів застосовуємо підпружинений палець та призми, то базовими поверхнями можуть виступати: поверхня  $\varnothing 55d8$  та  $\varnothing 55d8(2)$ , а також торець заготовки  $\varnothing 77h14$ .

### 3.1 Точність розмірів

Знаходимо допуски на вище зазначені розміри:

$$T_{\varnothing 55} = 46 \text{ мкм,}$$

$$T_{\varnothing 55} = 46 \text{ мкм,}$$

$$T_{\varnothing 80} = 740 \text{ мкм.}$$

Це означає, що діаметри базових розмірів виконані з параметрами:  $\varnothing 55d8(^{+0,1}_{-0,146})$ ,  $\varnothing 55d8(^{-0,1}_{-0,146})$ ,  $\varnothing 77h14(^{+0,74})$ ,

### 3.2 Точність форми

Похибка форми поверхні  $\varnothing 55d8$  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:

$$T_{\varnothing 55} = 0,3 \cdot 46 = 13,8 \text{ мкм}$$

Беремо найближче стандартне значення допуску циліндричності та круглості.

$$T_{\varnothing 55} = 16 \text{ мкм,}$$

що відповідає 7 ступеню точності [1, с. 110].

Похибка форми поверхні  $\varnothing 55d8(2)$  характеризується відхиленням від круглості та циліндричності. Допуск циліндричності та круглості не вказано в технічних вимогах і на кресленні деталі, то він може бути встановлений у межах допуску на розмір:

$$T_{\varnothing 55} = 0,3 \cdot 46 = 13,8 \text{ мкм}$$

Найближче стандартне значення допуску циліндричності та круглості:

$$T_{\varnothing 55} = 16 \text{ мкм},$$

що відповідає 7 ступеню точності [1, с. 110].

Похибка форми торця  $\varnothing 77h14$  характеризується відхиленням від площинності. Оскільки допуск площинності не вказується, то це означає, що він входить до складу допуску на номінальний розмір.

Розраховуємо значення допуску площинності:

$$T_{\varnothing 80} = 0,6 \cdot 740 = 444 \text{ мкм}$$

Беремо найближче стандартне значення допуску площинності:

$$T_{\varnothing 80} = 500 \text{ мкм},$$

що відповідає 15 ступеню точності [1, с. 107].

### 3.3 Точність розташування

Вказані допуски по радіальному биттю: поверхні  $\varnothing 55d8$  та  $\varnothing 55d8$ , а також торця заготовки  $\varnothing 77h14$ .

$$T_{\varnothing 55} = 0,6 \cdot 46 = 27,5 \text{ мкм},$$

відповідного до стандартного ряду:

$$T_{\varnothing 55} = 40 \text{ мкм},$$

що відповідає 8 ступеню точності.

Для поверхні  $\varnothing 55d8$ :

$$T_{\varnothing 55} = 0,6 \cdot 46 = 27,5 \text{ мкм},$$

відповідного до стандартного ряду:

$$T_{\varnothing 55} = 40 \text{ мкм},$$

що відповідає 8 ступеню точності.

Для торця  $\varnothing 77h14$ :

$$T_{\varnothing 80} = 0,6 \cdot 740 = 444 \text{ мкм},$$

відповідного до стандартного ряду:

$$T_{\varnothing 80} = 600 \text{ мкм},$$

що відповідає 13 ступеню точності.

### 3.4 Шорсткість

Шорсткість поверхонь, зазначена на кресленні, і має такі значення:

Для  $\varnothing 55d8$  вона становить  $Ra = 3,2 \text{ мкм}$ .

Для  $\varnothing 55d8$  вона становить  $Ra = 3,2 \text{ мкм}$ .

Для  $\varnothing 80h14$  відповідає  $Ra = 0,8 \text{ мкм}$ .

**Сумський державний університет**  
**Кафедра технології машинобудування,**  
**верстатів та інструментів**

### 7.4 Визначення умов у яких буде виготовлятися та експлуатуватися спроектований пристрій

Річна програма випуску становить 1300 деталей. Програма з урахуванням трудомісткості відповідає дрібносерійному типу виробництва. Можна стверджувати, що пристрій будуть використовувати з досить великою інтенсивністю. За вказаний період виготовлення деталі “Вал” (1 рік) пристрій повинен здійснити 1300 робочих циклів.

Верстат для обробки заготовки: Zenitech UFM160B.

Основні параметри верстата:

- подача – 1,6 мм/об;
- частота обертання шпинделя – 1500 об/хв;
- потужність електродвигуна – 11 кВт;
- максимальна осьова сила різання:  $P = 9000 \text{ Н}$ ;
- ККД верстата  $\eta = 0,8$ .

### 7.5 Складання переліку реалізованих функцій

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

### 7.6 Розробка та обґрунтування схеми базування

Із усього комплексу поверхонь, що утворюють заготовку, найбільш розвиненою є циліндрична поверхня  $\varnothing 55d8$ . На її користь свідчить таке:

- вона досить чисто оброблена: шорсткість її поверхні  $Ra = 3.2$  мкм.
- вона найбільш точно оброблена:  $T_{\varnothing 55} = 46$  мкм;

Застосування поверхні як базової не перешкоджає доступу інструментів до оброблюваних поверхонь.

Циліндрична поверхня  $\varnothing 55d8$ , будучи прийнятою в якості базової, позбавляє заготовку чотирьох ступенів свободи, тобто являється подвійною напрямною базою.



Торець деталі  $\varnothing 80$  беремо у якості опорної бази, вона позбавляє заготовку одного ступеню свободи.

І для забезпечення позиційного допуску розташування отриманих пазів конструкція має підпружиненій палець. Дана схема базування показана на рисунку 6.1.

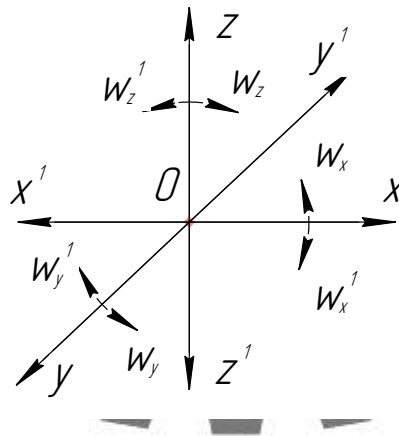
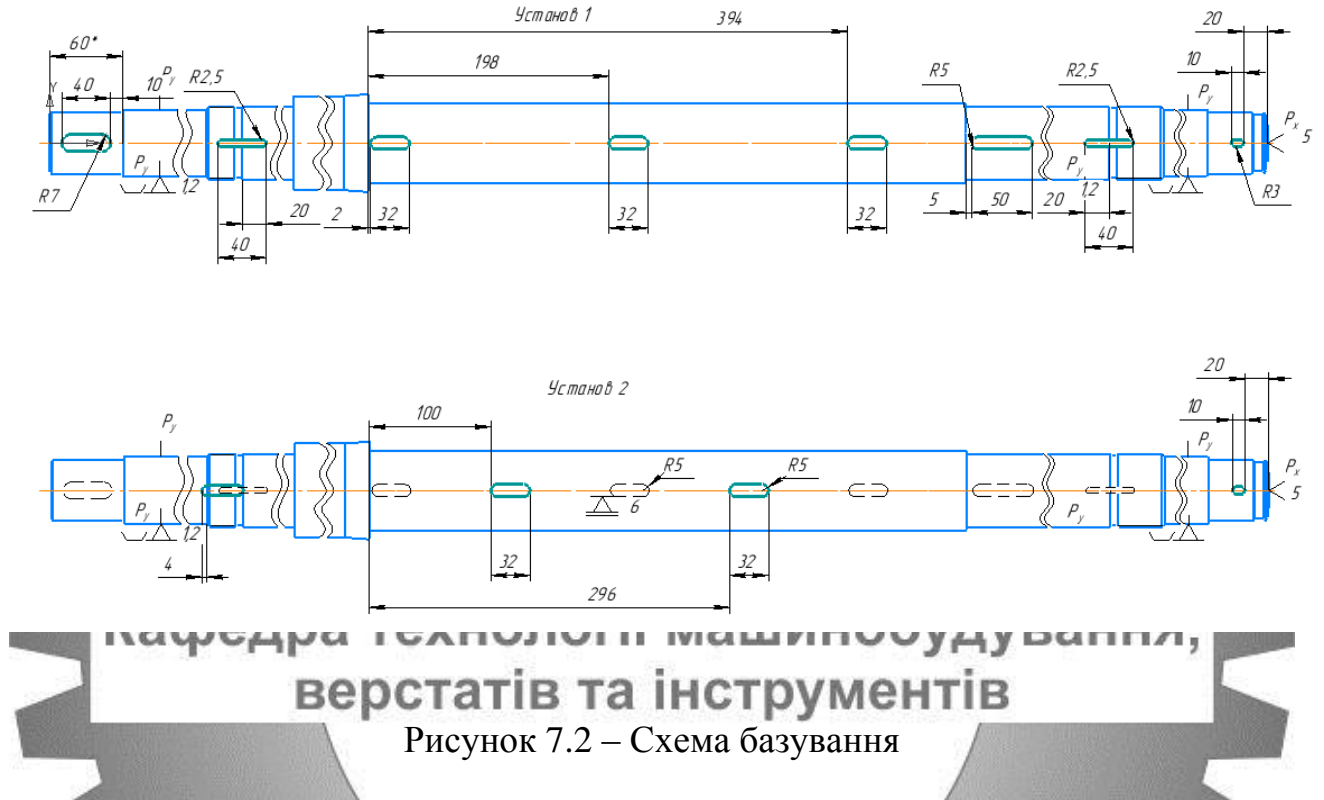


Рисунок 7.3 – Схема однібічних зв'язків, що покладають на заготовку (до таблиці 6.1)

Таблиця 7.1 – 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

Альтернативною схемою базування можна вважати ту ж схему, що була представлена вище, але із заміною поверхні базування, яка відповідала за опорну базу. Замінюємо торець  $\varnothing 77h14$ , на торець  $\varnothing 80h14$ . Дана схема приведена на рисунку 6.3.

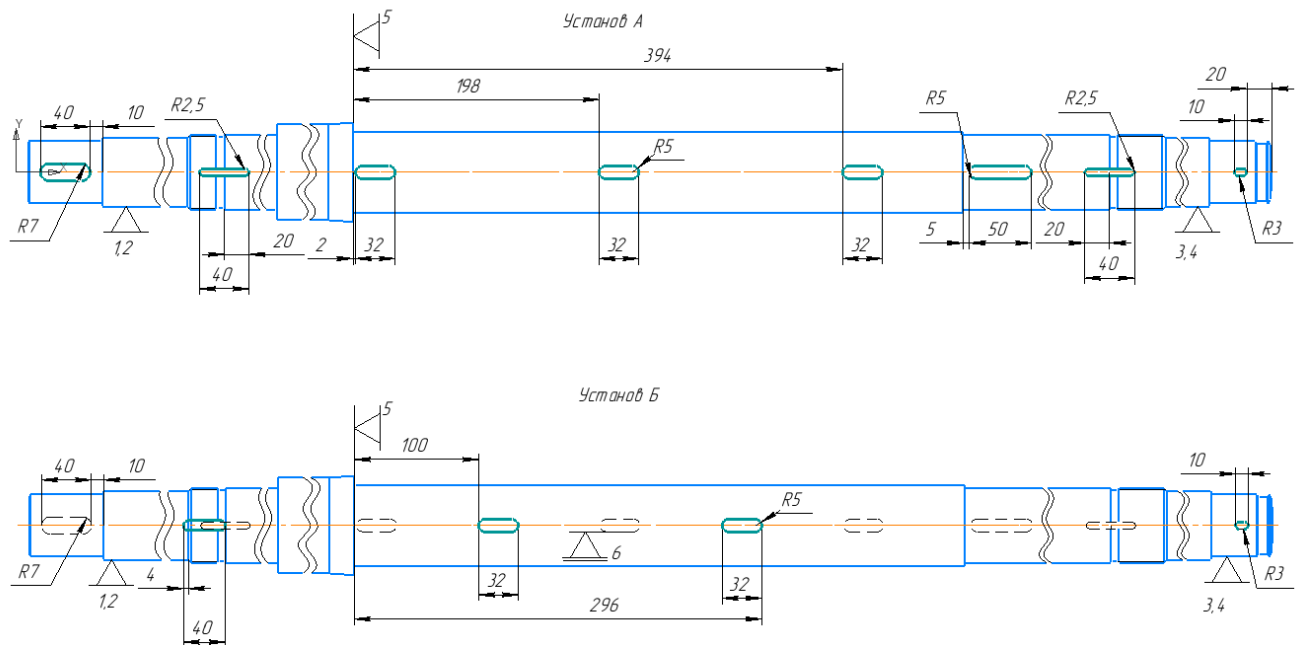


Рисунок 7.4 – Альтернативна схема базування

Схема базування (зображена на рисунку 6.1) є більш привабливою, по відношенню до схеми (рисунку 6.3). Тому що, поверхня по якій базується заготовка (у першому випадку) є більш розвиненою, ніж торець (у другому випадку). Це означає, що похибка перекосу при обробці пазів буде меншою

## 7.7 Побудова функціональної структури верстатного пристрою

Функціональна структура пристрою представлена на рисунку 7.1.

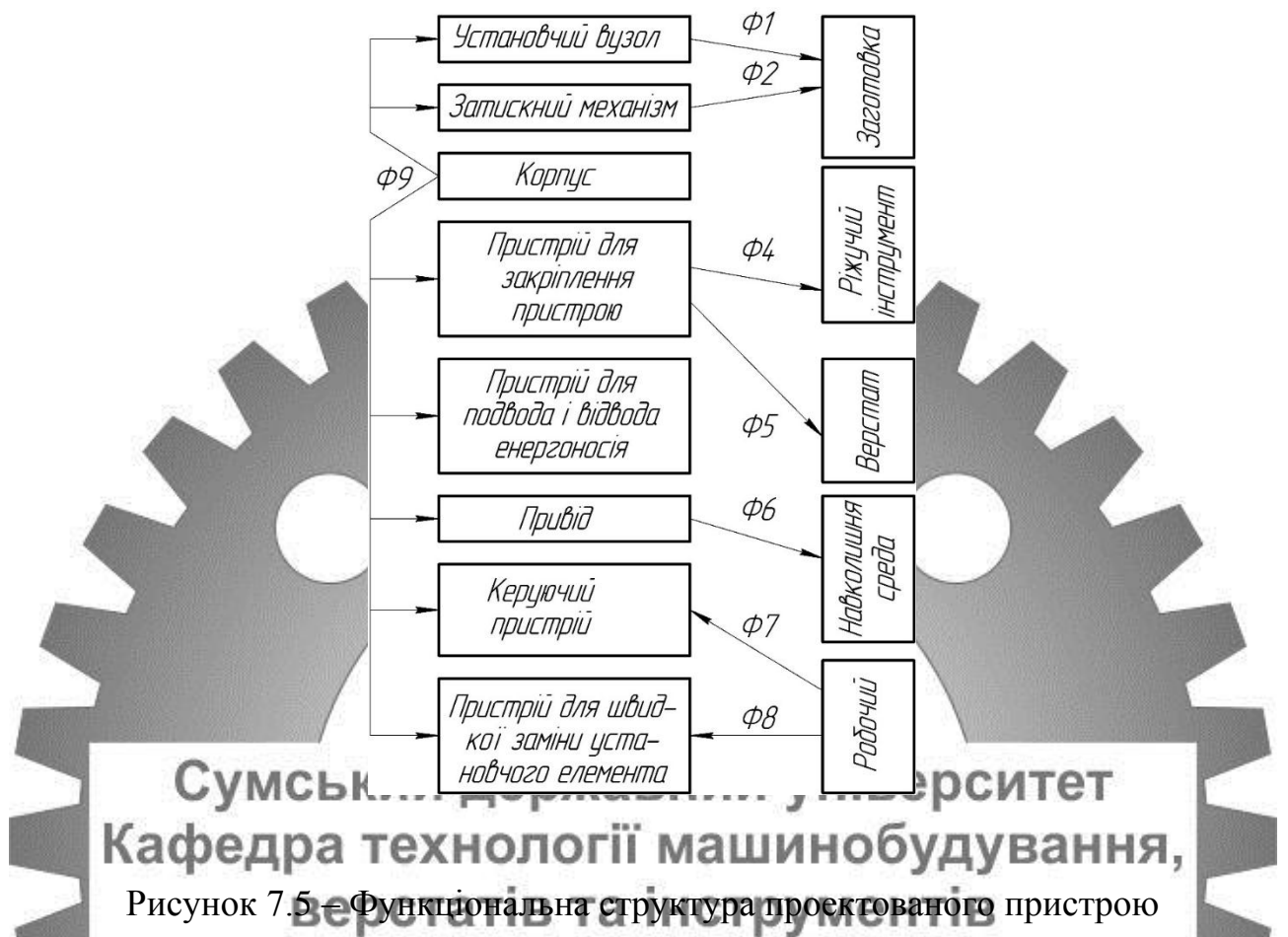


Рисунок 7.5 – Функціональна структура проектованого пристрою

## 7.8 Розробка та обґрунтування схеми закріплення

### Аналіз структури полів збурюючих сил

Для визначення взаємного впливу поля збурюючих сил та поля зрівноважуючи сил будуємо графічну модель збурюючих сил (рисунок 7.5) взаємозв'язку з прийнятою схемою базування.

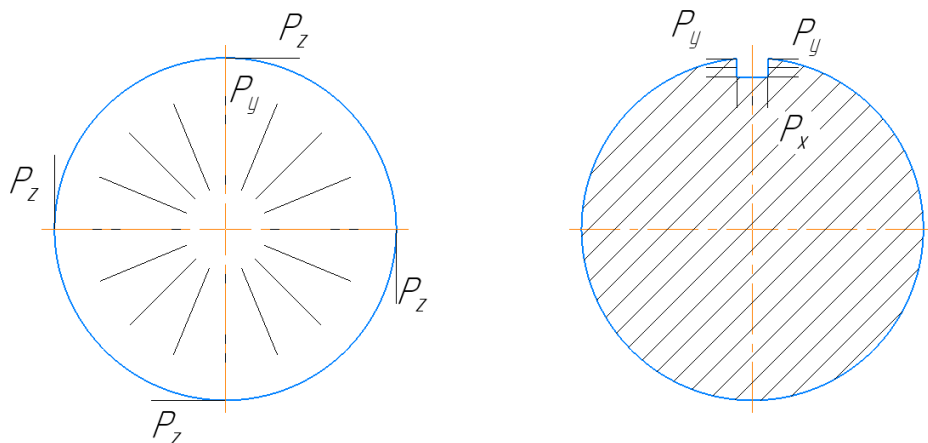


Рисунок 7.6 – Структура поля збудюючих сил

## Аналіз структури полів зрівноважувальних сил

З рисунку 7.6 бачимо, що складова  $P_y'$  поля збудюючих сил зрівноважується реакцією  $R_y'$ . Інші складові поля збудюючих сил не зрівноважені та потребують прикладання додаткових сил закріплення. При даній схемі базування доцільно застосовувати пневмокамеру, яка створює поле зрівноважувальних сил, що й представлено на рисунку 7.6.

Для аналізу структури та якості зв'язків, що виникають при закріпленні заготовки, будемо таблицю односторонніх зв'язків 7.2.

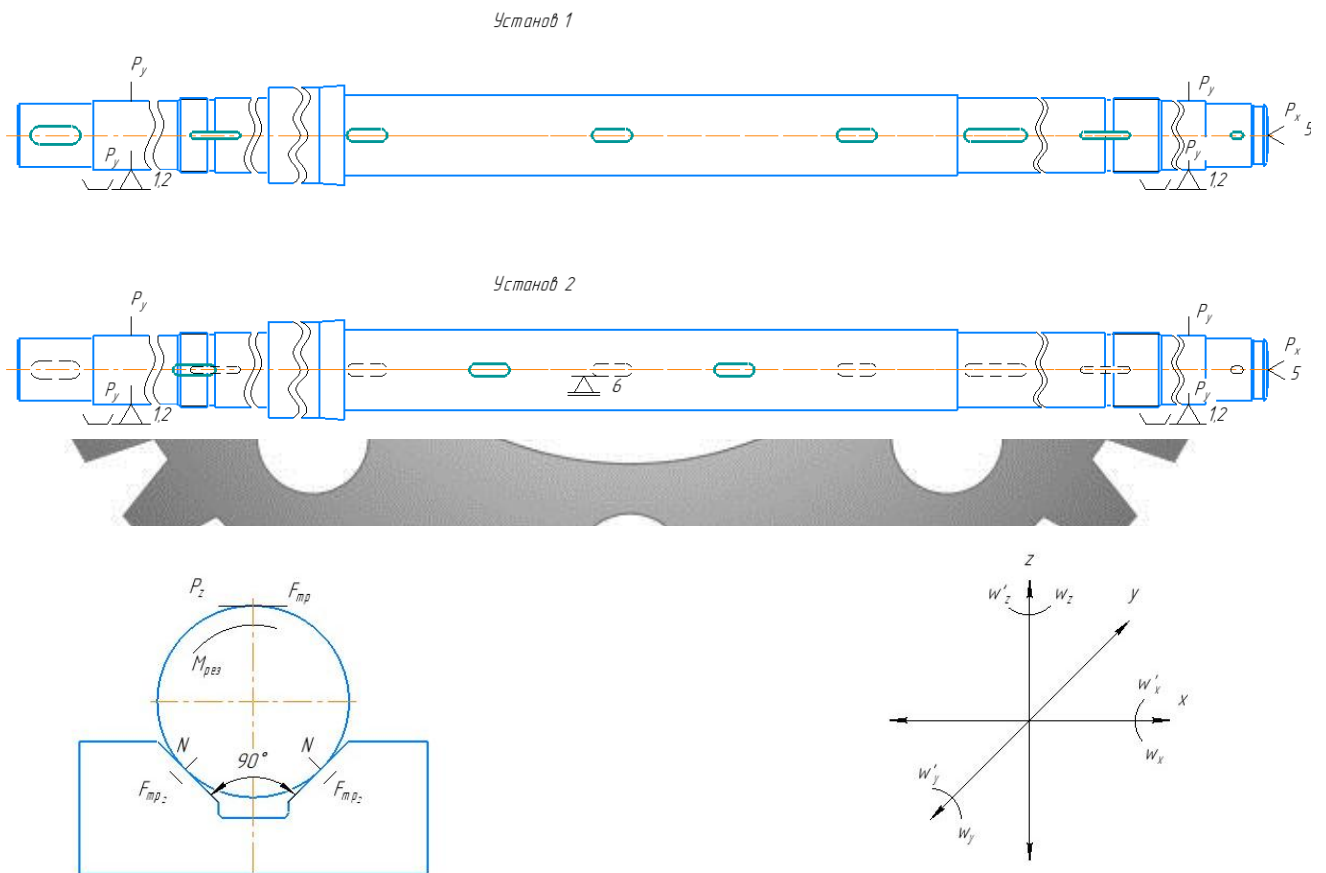


Рисунок 7.7 – Структура поля зрівноважувальних сил

Таблиця 7.2 – 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
	Сила закріплення	-	W	-	-	W	-	-	-	-	-	-	-
	Сила тертя	-	-	-	-	-	-	F(W)	F(W)	-	-	-	-

Розрахунок сил затиску

Сумський державний університет  
Кафедра технології машинобудування  
верстатів та інструментів

Визначаю крутний момент, діючий під час фрезерування (по [6], с.277) по формулі:

$$M_{кр} = 10C_m D^q S^y K_p, \quad (7.1)$$

де,  $C_m=0,0345$ - коефіцієнт, що враховує умови обробки ([6],табл. 32);

$D=14$ - діаметр фрези;

$q=2,0$ - показник ступеня при  $D$  ([6], табл. 32, с.281);

$S=0,25$ - оборотна подача ([6], табл. 25, с.277);

$y=0,8$ - показник ступеня при  $S$  ([6], табл. 32, с.281).

Коефіцієнт від властивостей оброблюваного матеріалу  $K_p$ , визначають по формулі ([6], табл. 9, с.264):

$$K_{Mp} = \left( \frac{\sigma_b}{750} \right)^n, \quad (7.2)$$

де,  $\sigma_b=710$  МПа – межа міцності оброблюваного матеріалу;

$n=0,75$  – показник степені ([6], табл. 9, с.254).

Тоді:

$$K_{Mp} = \left( \frac{710}{750} \right)^{0,75} = 0,96$$

А момент:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0.0345 \cdot 14^{2,0} \cdot 0.25^{0,8} \cdot 0.96 = 21,41 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

При затиску момент сили тертя, що виникає між заготовкою й поверхнею призми, повинен бути більше моменту кручення при обробці:

$$M_{тр} = M_{кр} \cdot K, \quad (7.3)$$

де,  $M_{тр}$  – момент тертя,  
**Сумський державний університет**  
**Кафедра технології машинобудування,**  
**верстатів та інструментів**

$K$  – коефіцієнт запасу по формулі ([7], с.382-384):

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (7.4)$$

де,  $K_0=1,5$  – гарантований коефіцієнт запасу сил затиску;

$K_1=1,0$  – стан технологічної бази;

$K_2=1,5$  – збільшення сили резання від прогресуючого затуплення інструмента;

$K_3=1,0$  – ударне навантаження на РІ;

$K_4=1,0$  – стабільність силового приводу;

$K_5=1,0$  зручність розташування рукояток у ручних затискних механізмах пристосуваннях;



$K_6 = 1,25$  – наявність моментів, що прагнуть повернути заготовку.

Тоді:  $K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,25 = 3,75$

Під час розрахунку  $M_{тр}$  розглядаю точку на поверхні заготовки:  $R = 55,25$

Також момент тертя дорівнює добутку:

$$M_{тр} = F_{тр} \cdot R \quad (7.5)$$

де,  $F_{тр}$  - сила тертя розраховується по формулі:

$$F_{тр} = Q' \cdot f \quad (7.6)$$

де,  $Q'$  – складова сили  $Q$ , прагнуча повернути заготовку;

$f = 0,16$  – коефіцієнт тертя (по [7], табл. 3, с. 384).

Виконуючи математичні операції над формулами (8.5) і (8.6) виводимо формулу для обчислення сили  $Q$ :

$$Q = \frac{M_{кр} \cdot K}{R \cdot f} \quad (7.7)$$

Згідно цій формулі маємо:

$$Q = \frac{21.58 \cdot 10^3 \cdot 3.75}{55.25 \cdot 0.16} = 9082 \text{ (H)}$$

#### 7.4 Обґрунтування вибору привода

Затиск заготовки виконується при подачі стиснутого повітря в штокову порожнину пневмокамери двосторонньої дії. При цьому максимальна сила на штоку розраховується по формулі (для вихідного положення штока) (див.[22], с. 94):

$$Q = \frac{\pi}{16} [(D+d)^2 - d_1^2] \cdot p \quad (7.8)$$

де,  $D$  – діаметр діафрагми усередині пневмокамери, см;

$d$  – діаметр опорного диска діафрагми, см;

$d_1$  - діаметр штока, см;

$p = 4 \text{ кгс/см}^2 \approx 39.2 \text{ Н/см}^2$  - тиск стиснутого повітря.

Діаметр опорного диска діафрагми визначається по формулі ([22], с.92)

$$d = D - 2h - (2 \div 4) \text{ мм} \quad (7.9)$$

де,  $h = 4-8 \text{ мм}$  – товщина діафрагми (приймаю  $h = 7 \text{ мм}$ ).

Тоді:  $d = D - 2 \cdot 7 - 3 = D - 17 (\text{мм}) = D - 1,7 (\text{см})$ .

Діаметр штока дорівнює:

$$d_1 = (0,08 \div 0,12) D \quad (7.10)$$

Приймаю значення  $d_1 = 0,1D$ .

Підставляючи співвідношення по формулах (8.9) і (8.10) у формулу (7.11), маємо наступне вираження:

$$Q = 0,196 \cdot p \cdot [(2D - 1,7)^2 - (0,1D)^2] \quad (7.11)$$

Ураховавши те, що необхідна сила затиску дорівнює  $Q = 9082 \text{ Н}$ , а тиск стисненого повітря  $p = 39.2 \text{ Н/см}^2$ , маємо:

$$10730 = 0.196 \cdot 39.2 \cdot (4D^2 - 2 \cdot 2D \cdot 1,7 + 1,7^2 - 0,01D^2)$$

Вирішуємо квадратне рівняння:

$$30,7 \cdot D^2 - 52,2 \cdot D - 10710,8 = 0$$

$$D = 52,2^2 + 4 \cdot 30,5 \cdot 10710,8 \approx 1148^2 > 0$$

$$D_1 = \frac{52,2 - 1148}{2 \cdot 30,7} < 0$$

$$D_2 = \frac{52,2 + 1148}{2 \cdot 30,7} = 19,55(\text{см})$$

Приймаю стандартне значення діаметра пневмокамери  $D=250\text{мм}$ . Тоді діаметр опорного диска рівний :  $d=250-2 \cdot 7-3=233(\text{мм})$ . Приймаю  $d=232\text{ мм}$ . А діаметр штока :  $d_1=0,1 \cdot 250=25(\text{мм})$ .

Сила на штоку в його початковому положенні визначається по формулі:

$$Q = \frac{3,14}{16} \left[ (25 + 23,2)^2 - 2,5^2 \right] \cdot 39,2 \approx 17825(\text{Н})$$

Дана сила перевищує необхідну силу затиску заготовки, а, отже, пристосування забезпечує фіксоване положення при обробці.

Оптимальна довжина ходу штока пневмокамери визначається по формулі:

$$l = \frac{L}{2} = (0,17 \div 0,22)D \quad (7.12)$$

Тоді, приймаю значення  $l=0,2D$ , маємо:  $l=0,2 \times 250=50(\text{мм})$ .

### 7.9 Розрахунок пристрою на міцність

Для розрахунку на міцність береться шток. Він виготовлений зі сталі 40, у якої межа  $\sigma_T=300\text{ МПа}$ . На даному штоку при затиску заготовки саме вразливе місце - різь М16, за допомогою якої шток пристосування прикріплюється до штока пневмокамери.

Для того щоб не було розриву різі на штоку, необхідне виконання умови:

$$\sigma_p \leq [\sigma_p]$$

У свою чергу, допустиме навантаження штока  $[\sigma_p]$  визначається по формулі:

$$[\sigma_p] \approx 0,67 \sigma_0$$

Тобто:  $[\sigma_p] \approx 0,67 \cdot 300 = 201$  МПа.

Небезпечним є перетин, ослаблене нарізанням різі, найменший діаметр якого визначається по формулі:

$$d_1 = d - 2H = d - 1,08 \cdot P, \quad (7.13)$$

де,  $d_1$  - внутрішній діаметр різі;

$d$  - зовнішній (номінальний) діаметр різі;

$H$  - висота витка,

$P$  - крок різі (прийнятий  $P=1,5$  мм).

Тому для різі М18:  $d_1=16.38$  мм, а для М16:  $d_1=14.38$  мм.

Навантаження штока визначається по формулі:

$$\sigma = \frac{Q}{S}, \quad (7.14)$$

де,  $Q$  - зусилля на штоці ( $Q=17825$  Н);

$S$  - площа розглянутого перетину штока.

Отже, найбільша напруга виникає в перетині з найменшою площею, у нашому випадку - по внутрішньому діаметрі різі М16

Будую ескіз штока (див. рисунок 7.8) і розбиваю його на три ділянки:

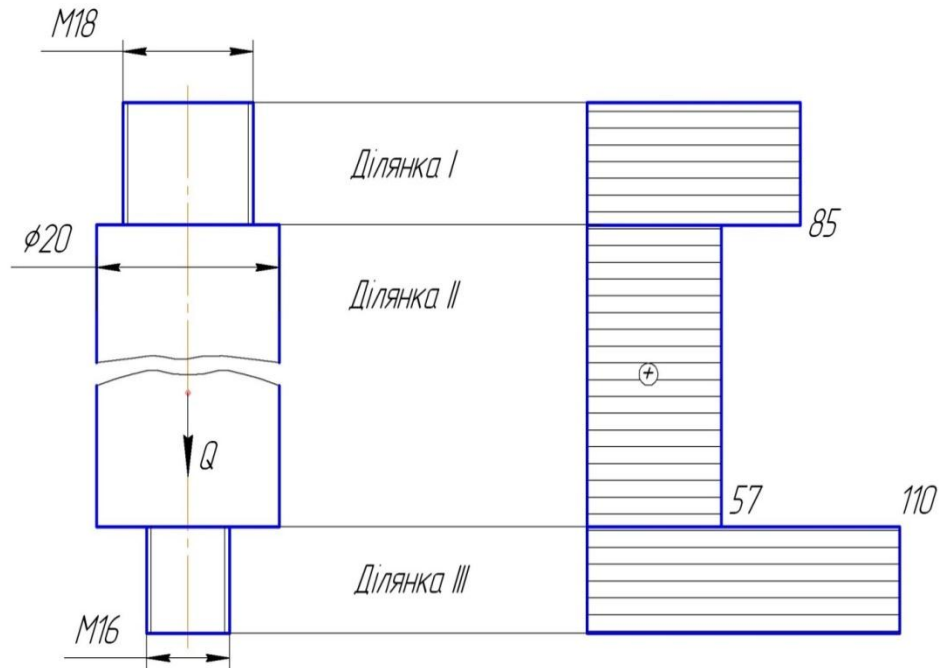


Рисунок 7.8 - Ескіз штока та епюра навантажень  $\sigma$ , МПа

Обчислюю навантаження, що виникають на ділянках:

І: 
$$\sigma_I^p = \frac{4Q}{\pi d_I^3} = \frac{4 \cdot 17825}{3,14 \cdot (16,38)^3} \approx 85 (\text{Н/мм}^2) \approx 85 \text{ МПа}$$

ІІ: 
$$\sigma_{II}^p = \frac{4Q}{\pi d_{II}^3} = \frac{4 \cdot 17825}{3,14 \cdot 20^3} \approx 57 (\text{Н/мм}^2) \approx 57 \text{ МПа}$$

ІІІ: 
$$\sigma_{III}^p = \frac{4Q}{\pi d_{III}^3} = \frac{4 \cdot 17825}{3,14 \cdot (14,38)^3} \approx 110 (\text{Н/мм}^2) \approx 110 \text{ МПа}$$

Максимальна напруга буде на ділянці ІІІ, але вона не перевищує припустиме значення  $[\sigma_p]$ , виконується умова, а значить різь М16 на штоку витримає навантаження. Для наочності поруч із ескізом штока будує епюру навантаження (рисунок 7.7).

### 7.10 Точнісіні розрахунки пристрою

Розрахункову похибку пристрою знаходимо за формулою [4, с.26]:

$$\varepsilon_{np} \leq T - K_T \sqrt{(k_{T1} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_u^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{поз}^2}, \quad (7.15)$$

де,  $T = 620$  мкм – найбільший жорсткий допуск розміру, що одержують на даній операції ( $L = 40$  по 14 квалітету);

$K_T = 1,2$  – 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;

$\varepsilon_6 = 25$  – похибка базування заготовки в пристрої (вимірювальна і технологічна бази не співпадають);

$\varepsilon_3 = 0$  – похибка закріплення, виникає в результаті зсуву оброблюваних поверхонь заготовок від дії затискної сили (не збігається напрям сили закріплення до допуску розміру, що вимірюється).

$\varepsilon_y = 0,005$  мкм – похибка установлення пристрою на верстаті:

$$\frac{s \cdot l}{L} = \frac{0,018 \times 15}{490} = 0,005,$$

де,  $l = 10$  мм (ширина оброблюваного пазу);

$L = 490$  мм (відстань між шпонками);

$S = 0,018$  мм (сума допусків шпонки на пристрою та шпонкового паза на столі верстата).

$\varepsilon_{п} = 0$  – похибка перекосу інструмента (втулки не використовуються).

$\varepsilon_n$  – похибка, що виникає внаслідок зношування встановлювальних елементів пристрою. Визначається за формулою:

$$\varepsilon_n = N \cdot \beta, \quad (7.16)$$

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

$N = 1300$  шт – кількість контактів заготовки з опорою в рік;

$$\varepsilon_n = 1300 \cdot 0,001 = 1,3 \text{ мкм}.$$



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

$\omega = 180$  мкм – середня економічна точність обробки (допуск по 14 квалітету на розмір 40 ).

$\epsilon_{\text{поз}} = 0$  – похибка позиціонування.

Підставляємо значення:

$$\epsilon_{np} = 430 - 1,2 \sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0^2 + 0,005^2 + 0^2 + 9^2 + (0,6 \cdot 180)^2 + 0^2} = 430 - 130 = 300 \text{ мкм}$$

З урахуванням стандартного ряду беремо допуск паралельності, [1, с.109]:

$$\epsilon_{np} = 300 \text{ мкм}$$

### 7.11 Опис пристрою та принцип його роботи

Пристрій в зборі повинен задовольняти технічні вимоги креслення загального виду, а також забезпечувати практичну обробку заготовки по заданим розмірам.

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

Складання пристрою:

- 1) до корпусу 4 кріпиться пневмокамера 1 гвинтами 10;
- 2) до корпусу 4 кріпиться оправка 3 гвинтами 8;
- 3) до підставки 2 кріпляться шпонки 17 за допомогою гвинтів 7;
- 4) у шток пневмокамери вкручується шток-вставка

Експлуатація пристрою:

- 1) Установити на столі верстата й підключити до пневмомернежі.
- 2) Підготувати базові поверхні до установлення заготовки.
- 3) Установити заготовку на оправку.

- 4) Пересуванням рукоятки зафіксувати деталь швидкоз'ємною шайбою на оправці пристрою.
- 5) Після обробки отворів зробити розтиск деталі переміщенням рукоятки в інше положення.
- 6) Пристрій зберігати на дерев'яній підставці. Вплив атмосферних опадів й агресивних середовищ неприпустимо.



**Сумський державний університет  
Кафедра технології машинобудування,  
верстатів та інструментів**

## 8. Розробка корисної моделі для токарно-гвинторізної операції

В даний час технологія обробки вала містить фрезерно-центрувальну операцію, де відбувається фрезерування торців деталі. При цьому використовуються стандартні торцеві фрези з напайними ріжучими ножами. Такі фрези мають ряд недоліків, наприклад, необхідність переточування ріжучих ножів в зборі, неможливість заточування зазначених ножів поза корпусом фрези (оскільки після цього буде проблематичним точне настроювання фрези в зборі.).

Існуючі в даний час конструкції торцевих фрез досить широко представлені в технічній літературі та каталогах, наприклад, [1]. Головний недолік таких фрез – висока вартість.

Корисна модель відноситься до обробки матеріалів різанням і може бути використана при проектуванні збірних торцевих фрез.

Відомий різальний інструмент (збірна торцева фреза), що містить корпус з отворами, циліндричні різальні вставки, які встановлені в цих отворах і закріплені за допомогою кріпильних гвинтів, що мають співвісну циліндричну ділянку, призначену для входження в радіальний отвір різальної вставки (див. патент України на корисну модель № 22694 U Україна, МПК (2006) B23C 5/00, 25.04.2007) [1].

Недоліком відомої конструкції збірної торцевої фрези є те, що точність позиціонування різальної вставки уздовж осі отвору в корпусі (точність так званого «осьового вильоту» вставки) є недостатньою, оскільки між співвісною циліндричною ділянкою кріпильного гвинта та відповідним радіальним отвором вставки існує радіальний зазор, у межах якого й коливається фактичне положення різальної вставки відносно корпусу інструмента.

Найбільш близьким до запропонованої корисної моделі за технічною суттю та результатом, що досягається, і вибраним за прототип (найближчий аналог) є збірна торцева фреза, що містить корпус з отворами, циліндричні різальні вставки з напрямними лисками, які встановлені в цих отворах і закріплені за допомогою кріпильних гвинтів, останні розташовані в нарізних

отворах, виконаних в корпусі, осі яких розміщені в площині осі отворів під різальні вставки та перпендикулярні їй, і в кожній з різальних вставок також виконаний радіальний отвір у вигляді кільцевої канавки, вісь якого перпендикулярна осі різальної вставки, а на торці кріпильного гвинта виконано співвісну ділянку у вигляді кільцевої труби, що виступає, і призначену для входження в кільцеву канавку (див. патент України на корисну модель № 139003 U Україна, МПК В23С 5/06, 10.12.2019) [2].

## 8.2 Аналіз недоліків існуючої конструкції

Завдяки наявності на торці кріпильного гвинта співвісної циліндричної ділянки у вигляді кільцевої труби, що контактує з відповідною кільцевою канавкою різальної вставки, зменшується імовірність випадіння вставки з корпусу фрези при випадковому її розкріпленні.

Недоліком відомої конструкції збірної торцевої фрези є недостатня точність установлення різальної вставки уздовж осі отвору в корпусі, що залежить від величини радіального зазору між співвісною циліндричною ділянкою кріпильного гвинта (кільцевою трубою) та відповідним радіальним отвором вставки (кільцевою канавкою).

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалення вузла кріплення різальної вставки, що дозволить підвищити точність установлення різальної вставки уздовж осі отвору в корпусі, що у свою чергу сприятиме зменшенню биття різальних кромок вставки та підвищенню якості роботи інструмента.

## 8.3 Пропоноване рішення проблеми

Поставлена задача вирішується тим, що в збірній торцевій фрезі, що містить корпус з отворами, циліндричні різальні вставки з напрямними лисками, які встановлені в цих отворах і закріплені за допомогою кріпильних

гвинтів, останні розташовані в нарізних отворах, виконаних в корпусі, осі яких розміщені в площині осі отворів під різальні вставки та перпендикулярні їй, і в кожній з різальних вставок також виконаний радіальний отвір у вигляді кільцевої канавки, вісь якого перпендикулярна осі різальної вставки, а на торці кріпильного гвинта виконано співвісну ділянку у вигляді кільцевої труби, що виступає, призначену для входження в кільцеву канавку різальної вставки, яка **відрізняється** тим, що дно кільцевої канавки, що призначене для контакту із поверхнями торця кільцевої труби, виконано у вигляді V-подібної канавки з похилими стінками, а торець кільцевої труби – виконано у вигляді двох відповідних загострених похилих поверхонь, які розташовані під тим же кутом нахилу, що і стінки V-подібної канавки.

Причинно-наслідковий зв'язок між запропонованими ознаками та очікуваним технічним результатом визначається наступним.

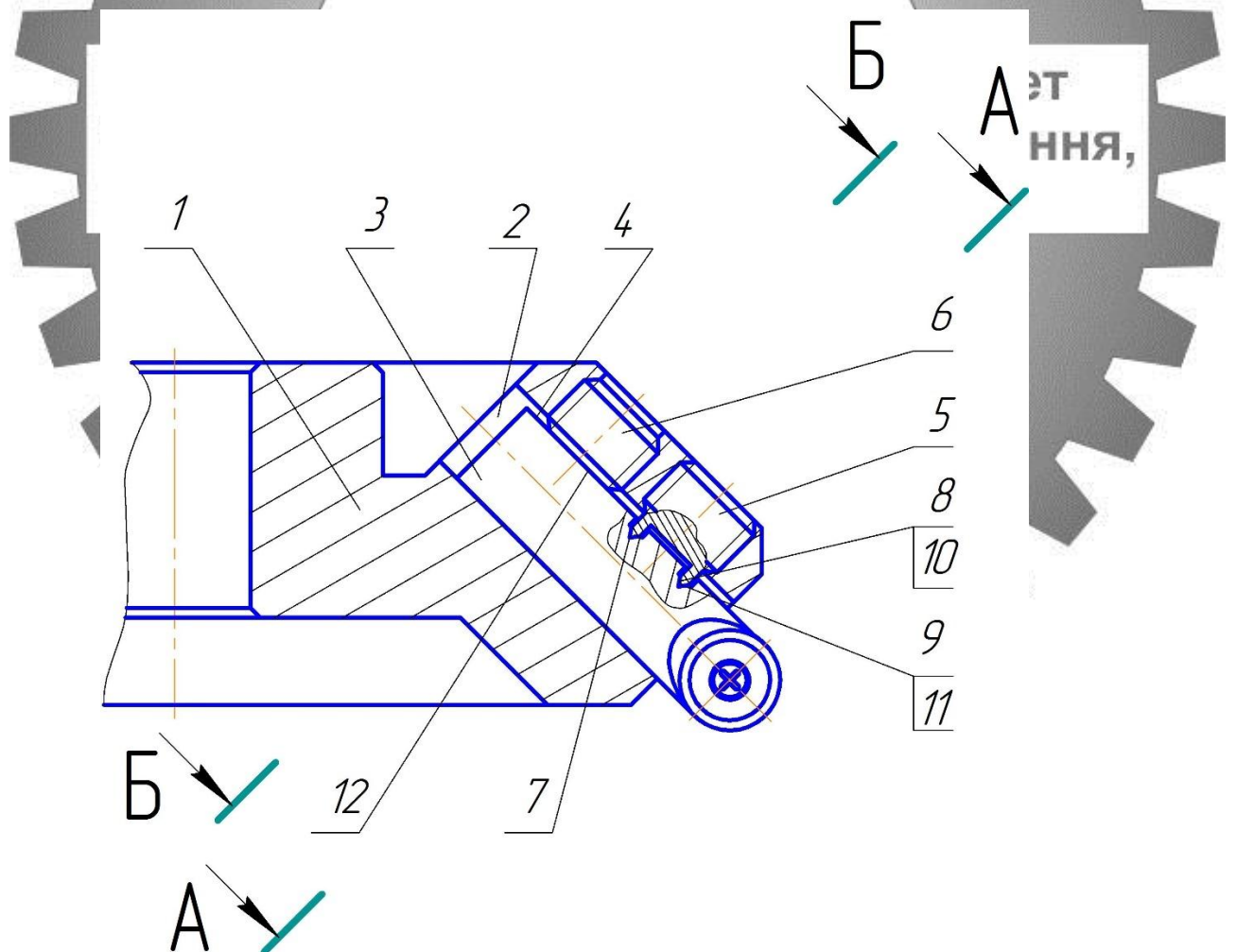


Рисунок 8.1 – Торцева фреза в сборі

Виконання збірної торцевої фрези в сукупності з усіма суттєвими ознаками, включаючи відмінні, дозволяє підвищити точність установа ризальної вставки уздовж осі отвору в корпусі, оскільки, після закріплення гвинта, між кільцевою трубою кріпильного гвинта та кільцевою канавкою, що виконана в ризальній вставці, в радіальному напрямку відсутній радіальний зазор, тобто отримано беззазорне з'єднання за типом «конічний отвір-конус». Це зменшує биття ризальних кромок вставок і, в свою чергу, призводить до підвищення стійкості інструмента та якості його роботи.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, де на Фіг. 1 показано осьовий переріз конструкції збірної торцевої фрези, на Фіг. 2 - розріз А-А на Фіг. 1, на Фіг. 3 - розріз Б-Б на Фіг. 1.

Збірна торцева фреза виконана таким чином. Вона містить корпус 1, у циліндричних отворах 2 якого встановлені ризальні вставки 3 з плоскими лисками 4 (див. Рис. 8.1, 8.2, 8.3). Ризальна вставка 3 закріплена гвинтами 5 і 6. Дно кільцевої канавки 7, що призначене для контакту із поверхнями торця кільцевої труби, виконано у вигляді V-подібної канавки з похилими стінками 8 та 9. Торець кільцевої труби виконано у вигляді двох загострених похилих поверхонь 10 та 11, які розташовані під тим же кутом нахилу ( $\alpha$ ), що і стінки 8 та 9 V-подібної канавки.

Запропонована конструкція збірної торцевої фрези працює таким чином. Циліндрична ризальна вставка 3 встановлюється у отвір 2 корпусу 1 інструмента. Спочатку закріплюють вставку 3 за допомогою гвинта 5. При цьому похилі ділянки 10 та 11 кільцевої труби гвинта 5 контактують без зазору з похилими стінками 8 та 9 V-подібної канавки 7 ризальної вставки 3, здійснюючи орієнтацію вставки 3 відносно корпусу 1. Після цього торцевою поверхнею 12 гвинта 6 відбувається остаточне закріплення вставки 3 по плоскій лисці 4.

Таким чином розроблена конструкція збірної торцевої фрези у порівнянні з існуючими дозволяє підвищити точність позиціонування ризальної вставки



уздовж осі отвору в корпусі, оскільки установа рiзальної вставки здiйснюється без зазору мiж орієнтуєчими елементами затискного гвинта та канавкою на рiзальній вставці. Завдяки цьому зменшується биття рiзальних кромок рiзальної вставки, що підвищує якість роботи торцевої фрези та збільшує перiод стійкості інструмента.



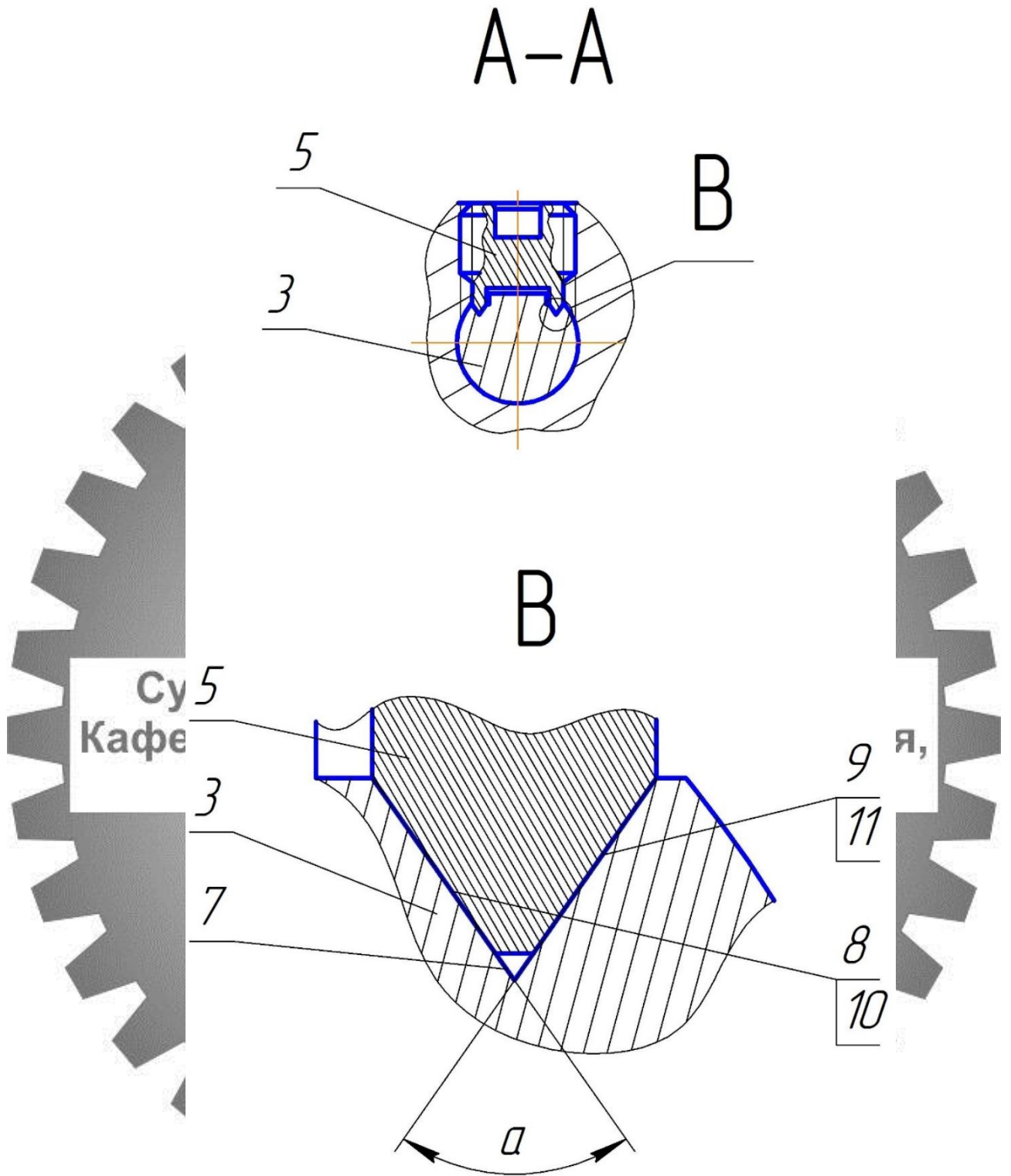


Рисунок 8.2 – Винт з V-образним з'єднанням

Б-Б

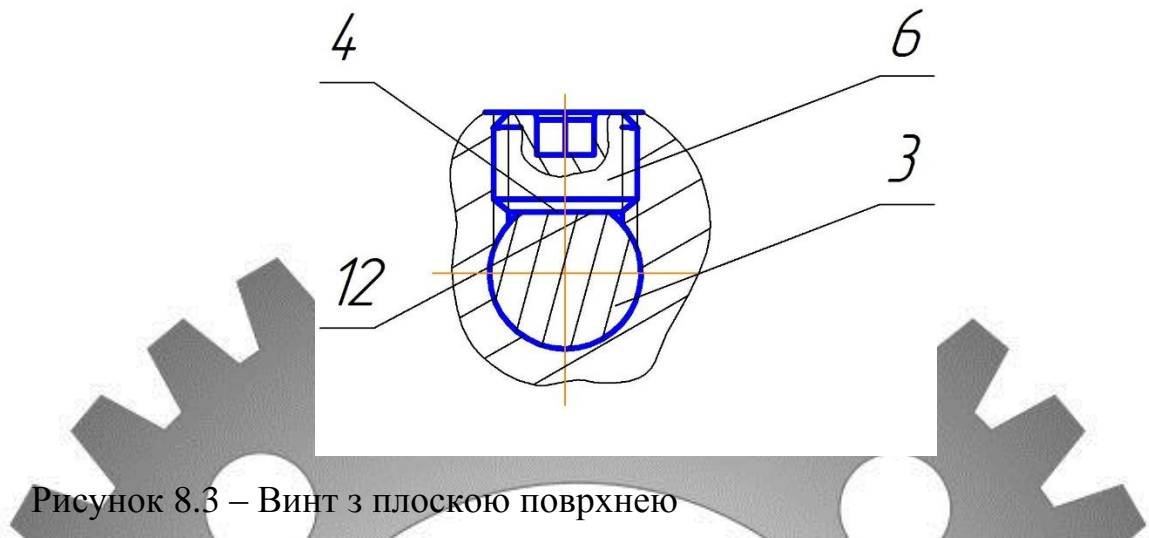


Рисунок 8.3 – Винт з плоскою поверхню

Имя модели: Сборка2  
 Название исследования: Статический 1 (-По умолчанию-)  
 Тип элюры: Статическое перемещение Перемещение1  
 Шкала деформации: 1

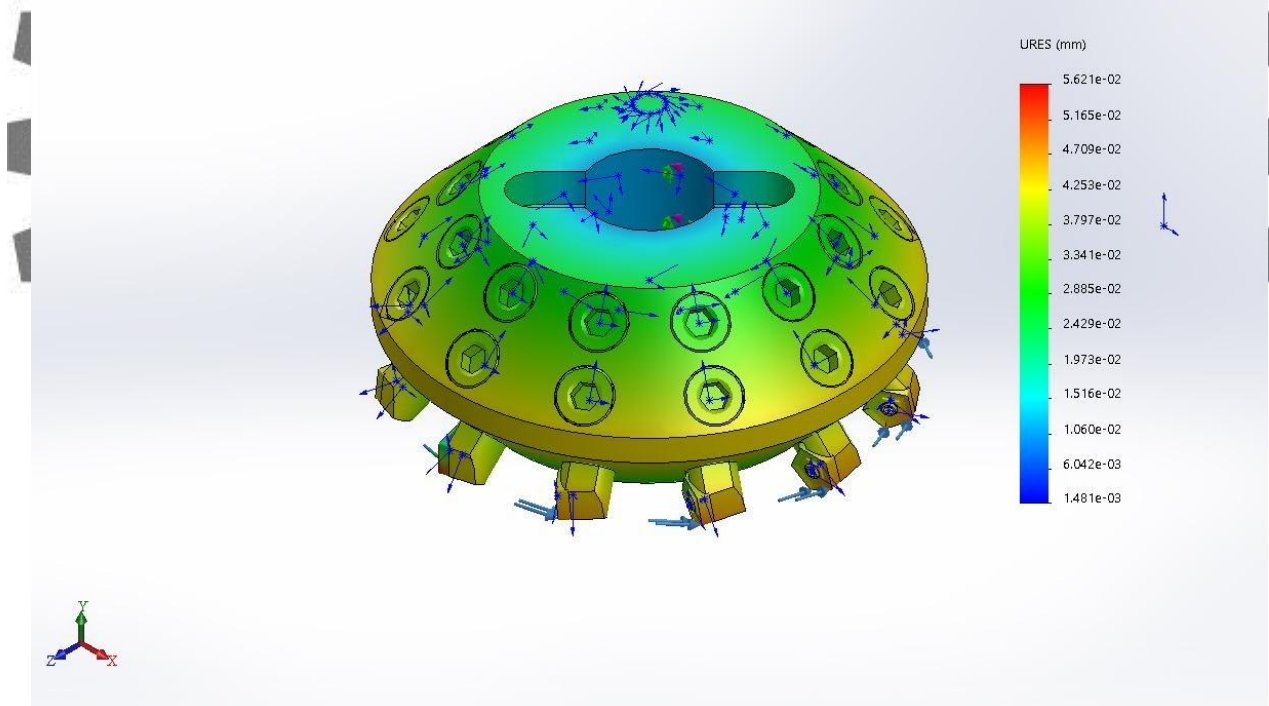


Рисунок 8.4 – Математичний моделювання деформації моделі під дією збурючих сил.

За допомогою математичного моделювання сил різання що діють на корисну модель, можемо зробити висновки, що ріжучий інструмент витримує навантаження.

## Висновки

1. Розроблено корисну модель торцевої фрези для обробки торців  $\varnothing 60$
2. Розроблена схема кріплення ріжучої вставки для виправлення похибки радіального зазору.
3. Показаний механізм явищ, що існують в контакті корисної моделі із оброблювальною поверхнею деталі.
4. Виконаний аналіз впливу робочого циклу на точність і продуктивність торцевого фрезерування.



**Сумський державний університет  
Кафедра технології машинобудування,  
верстатів та інструментів**

## ВИСНОВКИ

1. Виконаний аналіз службового призначення насоса, вала, перевірена повнота і правильність технічних вимог креслення деталі.
2. Розрахований тип виробництва – дрібносерійний, вибрана форма його організації – групова, виконаний аналіз технологічності конструкції вала за якісними і кількісними показниками.
3. Зроблений аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення вала. Визначені окремі технологічні операції, які треба удосконалювати.
4. Визначені задачі для розроблення нової схеми фрезерної операції – спеціальне пристосування для базування заготовки.
5. Запропонований удосконалений варіант технологічного процесу виготовлення вала для умов дрібносерійного виробництва.
6. За технічними вимогами креслення та об'єму випуску виробів виконано техніко-економічне обґрунтування методу виготовлення вихідної заготовки – ковка на молотах і розроблене робоче креслення заготовки.
7. Розрахунково-аналітичним методом за програмою розробленою на ЕВМ, визначені припуски і граничні розміри на поверхню.
8. Вибрані і обґрунтовані оптимальні схеми базування та закріплення заготовки для операцій 035 «Токарна ЧПК», 055 «Горизонтально-Фрезерна з ЧПК», 050 «Круглошліфувальна».
9. Для наведених операцій запропоновані металорізальні верстати, технологічне оснащення, різальний та вимірювальний інструмент, виконаний розрахунок режимів різання та норм часу.
10. Для забезпечення необхідної якості поверхні розроблена корисна модель торцевої фрези.
11. Одержана аналітична залежність, яка установлює взаємний зв'язок кінематичних параметрів фрезерування із деформаціями ріжучого інструменту.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Часть 1. Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, фрезерные, долбежные и фрезерные станки. изд. Второй. - М: Машиностроение, 1974 - 406 с.
2. Пескача В.М. Проектування та виробництво заготовок в машинобудуванні: Уч. посібник / П.А. Руденко, Ю. А. Харламов, В.М. Плєскач. Вища шк., 1991 – 247 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т.1. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя : справочник. В 2-х т. Т.2 / Под ред.: А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986 – 496 с.
5. Барановський Ю.В. Режими різання металів. Довідник. Вид. 3-є, пререраб. і доп. М.: Машинобудування. 1972. - 408 с., іл.
6. Загальномашинобудівні нормативи режимів різання для технічного нормування робіт виконуваних на металорізальних верстатах з ЧПК. - Ч.1. Токарні, карусельні, токарно-револьверні, алмазно-розточні, свердлильні, довбальні і фрезерні верстати. – Москва: Машинобудування, 1974. – 416 с.
7. Методичні вказівки до самостійної та індивідуальної роботи студентів з дисципліни «Проектування контрольно-вимірювальних пристроїв» / Укладачі: Ю.А. Буренніков, Д.О. Лозинський. – Вінниця : ВНТУ, 2014 – 105 с.
8. Романова С.Ю. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и



многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть I. Нормативы времени. – Москва 1990 – 206 с.

9. Справочник технолога- машиностроителя. В 2-х томах Т.1 /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. –4-е изд. перероб. и доп. - М., «Машиностроение», 1985г.

10. Щербак Ю. Г. Методичні рекомендації до практичних занять із дисципліни «Основи охорони праці» / Ю. Г. Щербак, О. В. Макарова. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2013. – 64 с. – (Методична серія ; Вип. 202).

11. Горбацевич А. Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие для вузов. — 5-е издание, стереотипное. Перепечатка с четвертого издания 1983 г. - М.: ООО ИД «Альянс», 2007. - 256 с.

12. Орлов П.Н., Скороходова Е.А. Краткий справочник металлиста. 3-е изд., перераб. и доп.— М.: Машиностроение, 1986. — 960 с.

13. Гречишников В.А., Исаков А.И. Торцевые регулируемые фрезы. – [Электронный ресурс]. Режим доступа:

14. <https://mirprom.ru/public/torcevye-reguliruemye-frezy.html>

15. Вращающиеся инструменты. – Каталог Sandvik Coromant, 2011.

16. Общий каталог C006R: Технические данные - Технические характеристики торцевых фрез / Чистовая обработка поверхности / Повышение качества поверхности. – Каталог Mitsubishi Carbide Corporation, 2014.

17. Кушников П.В. Регулируемые торцевые фрезы, содержащие цилиндрические режущие вставки / П.В.Кушников // Современные материалы, техника и технология: материалы 3-й Международной научно-практической конференции (27 декабря 2013 года) / редкол.: Горохов А.А. (отв. Ред.); Юго-Зап. гос. ун-т. В 3-х томах, Том 1. – Курск, 2013.– С. 212-215.

18. Справочник инструментальщика / Под. общ. ред. И.А.Ординарцева. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.

19. Маталин А. А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. – 496 с.
20. Корсаков В.С. Основы конструирования станочных приспособлений в машиностроении. – М.: Маш-е, 1985. – 289 с.
21. Панов А.А. Справочник технолога-машиностроителя/ А.А. Панов. - М.: Маш-е, 1988. – 737 с.
22. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков. Справочник. М.: Маш-е, 1985. – 304 с.
23. Худобин Л.В. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / Л. В. Худобин.- М.: Машиностроение, 1989. – 289 с.
24. Шульга, Ю.І. Підвищення ефективності фрезерування торців вала відцентрового насоса / Ю.І. Шульга, П.В. Кушніров // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: матеріали ХІХ міжнародної науково-практичної конференції (м. Суми, 25–26 листопада 2020 року) / редкол.: В.О. Залога, О.В. Івченко. – Суми: Сумський державний університет, 2020. – С. 145-146.