

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний факультет  
(заочна форма навчання)

Кафедра Технологій машинобудування та матеріалознавства  
(повна назва)

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА  
кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Джурко Марка Олеговича  
(ПІБ)




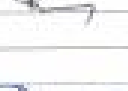


академічної групи 131М-173-1  
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою Комп'ютерні технології машинобудівного виробництва  
(офіційна назва)

на тему Аналіз альтернативних варіантів механічної обробки валу та імітаційно-статистичне моделювання контрольно-вимірвальних процедур

(місце за підписом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	проф. Пацера С.Т.	90	відмінно	
розділів	проф. Пацера С.Т.			
Аналітичний	проф. Пацера С.Т.	85	добре	
Технологічний	проф. Пацера С.Т.	92	відмінно	
Конструкторський	проф. Пацера С.Т.	89	добре	
Спеціальний	проф. Пацера С.Т.	94	відмінно	
Рецензент				
Нормоконтроль				

Дніпро  
2018

ЗАТВЕРДЖЕНО:  
завідувач кафедри

Технологій машинобудування та матеріалознавства  
(повна назва)

  
(ім'я, прізвище)

В.В. Проців  
(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 року

**ЗАВДАННЯ**  
на кваліфікаційну роботу  
ступеню магістр  
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

студенту Джурко М. О. академічної групи 131М-173-1  
(ім'я та прізвище) (номер)  
спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-професійною програмою \_\_\_\_\_  
**Комп'ютерні технології машинобудівного виробництва**  
(офіційна назва)

на тему Аналіз альтернативних варіантів механічної обробки валу та  
імітаційно-статистичне моделювання контрольних-вимірних процедур  
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 29.11.18 № 2031-Л

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналітичний	Аналіз технологічності конструкції деталі	03.09.18-27.09.18
Технологічний	Розробка варіантів технологічного процесу механічної обробки валу з розрахунками техніко-економічних показників	28.09.18-20.10.18
Конструкторський	Ескізний проект різучого інструменту	21.10.18-30.10.18
Спеціальний	Імітаційно-статистичне моделювання контрольних-вимірних процедур геометричних параметрів	30.10.18-08.12.18

Завдання видано

  
(ім'я, прізвище)

проф. Панєра С.Т.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

01.09.18

Дата подання до екзаменаційної комісії

12.12.2018

Прийнято до виконання

  
(ім'я, прізвище студента)

Джурко М.О.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи:

Аналіз технологічних процесів механічної обробки валу на універсальних верстатах в порівнянні з обробкою на верстатах з ЧПК та імітаційно-статистичне моделювання точності вимірювання розмірів валу

Розрахунково - пояснювальна записка виконана на 50 аркушах формату А4, складається з 4 розділів. Кресленики виконані на 2 аркушах формату А1. Графічний матеріал містить 3 аркушу формату А1. Додатки до розрахунково-пояснювальної записки містять 20 стор. формату А4.


Об'єктом дослідження в кваліфікаційній роботі є операційні технологічні процеси механічної обробки валу

Методи досліджень, використані в кваліфікаційній роботі – аналіз і синтез прогресивних конструкторсько-технологічних рішень, комп'ютерне моделювання переходів технологічного процесу із застосуванням САМ-систем, імітаційно-статистичне моделювання вимірювання і контролю геометричних параметрів деталі.

Новизна розробок характеризується залежностями відсотків неправильно забракованих деталей від точності вимірювального засобу

Ключові слова: вал, механічна обробка, технологічний процес, алгоритмічна модель, вимірювання, контроль.

<b>ВСТУП</b> .....	<b>4</b>
<b>1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	<b>8</b>
1.1 Конструктивна характеристика та технічні вимоги до виробу.....	8
1.2 Аналіз технологічності конструкції.....	10
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	<b>12</b>
2.1 Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі "Вал" на універсальному устаткуванні .....	12
2.1.1 Економічне обґрунтування методу отримання заготовки.....	12
2.1.2 Вибір методів обробки поверхонь, технологічних баз, обладнання та розробка маршруту обробки деталі.....	14
2.1.3 Вибір баз і способів базування .....	16
2.1.4 Розрахунок і призначення припусків на обробку .....	17
2.1.5 Розрахунок режимів різання.....	18
2.1.6 Розрахунок норм часу.....	22
2.2 Розробка технологічного процесу токарної обробки деталі "Вал" на верстатах з ЧПК .....	24
2.2.1 Обґрунтування вибору верстатів з ЧПК .....	24
2.2.2 Проектування схем налагоджень .....	29
2.2.3 Нормування операцій технологічного процесу.....	29
<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b> .....	<b>33</b>
<b>4 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	<b>40</b>
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b> .....	<b>48</b>

					ТММ.КвР.18.07.00.000. ПЗ		
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Кваліфікаційна робота магістра		
Розробив		Джурко					
Кер.роботи		Пацера					
К.розд.		Пацера					
Накоптр.		Федоскіна					
Зад.каф.		Проців В.В.			Літери	Аркуш	Аркушів
						5	
						НТУ «Дніпровська політехніка» пр. 131м-173	

<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....</b>	<b>49</b>
Додаток А. Технологічний процес механічної обробки деталі Вал.....	51
Додаток Б. Фрагмент програми механічної обробки деталі Вал на верстаті з ЧПК.....	63
Додаток В. Копії листів графічної частини.....	64
Додаток Д. Відомість кваліфікаційної роботи.....	69

					ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ	Лист
Мзм	Лист	№ докум.	Подл.	Дата		6

## ВСТУП

У кваліфікаційній роботі розроблено технологічний процес механічної обробки деталі Вал в умовах серійного виробництва. Річна програма випуску деталей  $N$  прийнята 3000 шт.

В аналітичному розділі виконано аналіз технологічності конструкції деталей.

У технологічному розділі проведено обґрунтування методів отримання заготовки, розраховані, міжопераційні припуски. При розробці технологічних операцій механічної обробки обґрунтовано вибрано основне технологічне оснащення: верстати з ЧПК, верстатні пристосування, ріжучі та вимірювальні інструменти. Розраховані режими різання і проведено нормування технологічних переходів і операцій.

У конструкторському розділі запроектовано спеціальний ріжучий інструмент: шліцьову черв'ячну фрезу.

У спеціальному розділі розроблена методика імітаційно-статистичного моделювання вимірювання і контролю геометричних параметрів прямокутних шліців на базі програмного блоку «Анализ данных» програми Microsoft Excel. Виконано комп'ютерні експерименти та побудовані графіки залежностей відсотків неправильно забракованих деталей від граничних похибок вимірювальних засобів.

[Введіть текст]									Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТММ.КвР.18.07.00.000.ПЗ				

## І АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### І.1 Конструктивна характеристика та технічні вимоги до виробу

Робочий кресленик деталі "Вал" виконаний в масштабі 1:1 на аркуші формату А1. Мається один перетин і вид тривимірної моделі для кращого уявлення. Проставлені всі необхідні розміри і допуски, включаючи допуски радіального і торцевого биття. Правильно проставлені вимоги до термічної обробки і шорсткості поверхонь. Технічні умови повні. Кресленик оформлено відповідно до вимог ЕСКД.

Деталь "Вал" входить до складу опори карданної передачі. Карданна передача призначена для передачі крутного моменту від валу відбору потужності приводу на головну конічну передачу редуктора. Опора являє собою вал (рис.1.1) на двох підшипниках, змонтованих в корпусі. Опора кріпиться бовтами на кронштейні. Величина осьового зазору в підшипниках опори не повинна перевищувати 0,3 мм. Регулювання зазору здійснюється за допомогою прокладок. При затягуванні бовтів кришки опори необхідно провертати вал для забезпечення правильного положення роликів у підшипниках.

В процесі експлуатації деталь піддається в основному динамічним навантаженням, пов'язаним з передачею крутного моменту.

Дана деталь відноситься до класу валів. Всі поверхні деталі мають доступ для обробки. Задана точність поверхонь деталі відповідає економічній точності обладнання. Матеріал деталі, сталь 40Х, задовільно обробляється лезовим і абразивним інструментом.

При термічній обробці застосованої сталі можна отримати необхідну структуру і твердість.

Особливості конструкції вала:

- деталь має шліцьові поверхні;
- маються кільцеві радіальні виточки, розташовані на шліцьових ділянках;
- деякі поверхні мають високу точність, зокрема ступені  $O 60k6$ ;

Вибір габаритних розмірів, конфігурації, параметрів точності виготовлення

[Введіть текст]				ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ		Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

окремих поверхонь деталі і матеріалу деталі диктується габаритами виробу, в який входить виготовляється деталь, умовами роботи деталі у вузлі та її функціональним призначенням.

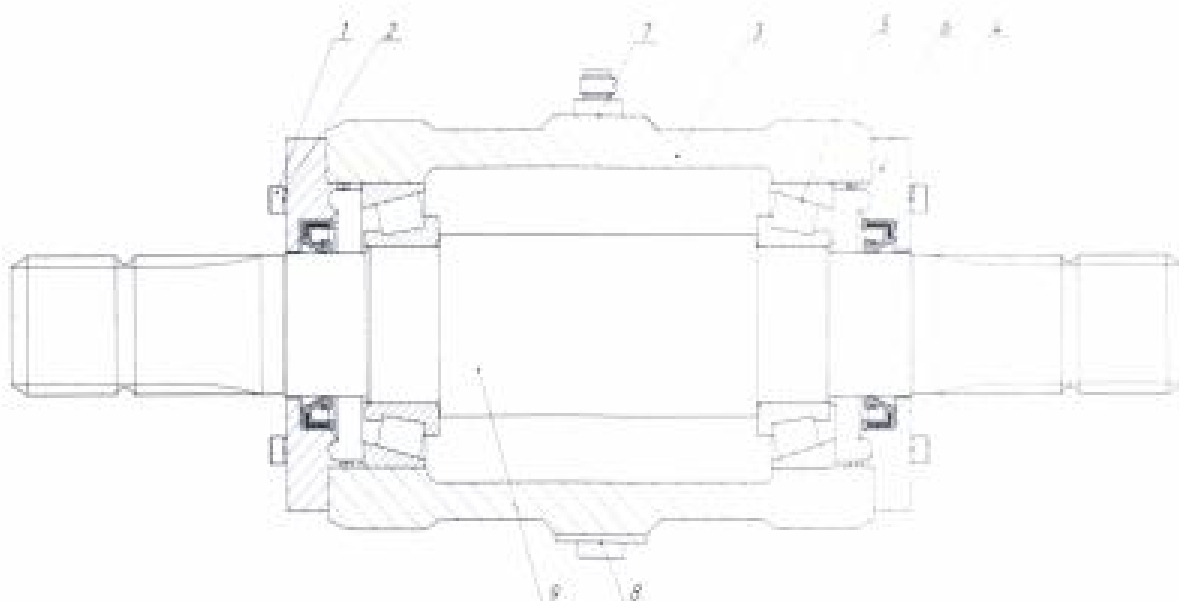


Рисунок 1.1 – Опора: 1 – бовт; 2 – шайба; 3 – кришка; 4 – манжета; 5 – підшипник; 6 – корпус; 7 – віддушнина; 8 – пробка; 9 – вал

Деталь "Вал" виготовляється зі сталі 40Х ГОСТ4543-71

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 40Х ГОСТ 4543-71

C, %	Si, %	Mn, %	S % (не більше)	P % (не більше)	Cr, %	Ni, %	Cu, %
0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	0,04	0,035	0,8-1,1	до 0,3	до 0,3

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 40Х ГОСТ 4543-71

Межа міцності $\sigma_b$ , МПа	Межа плинності $\sigma_T$ , МПа	Відносне подовження $\delta$ , %	Відносне звуження $\psi$ , %	Твердість до термообробки НВ, МПа	Питома вага, г/см <sup>3</sup>	Модуль пружності, МПа
615	340	10	45	217	7,85	$2,1 \cdot 10^5$

[Введіть текст]			
Изм	Лист	На доум.	Подп. Дата

ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ

Лист

9



## 1.2 Аналіз технологічності деталі

Конфігурація деталі технологічна для обробки різанням на токарному верстаті, усі поверхні доступні для інструменту. Жорсткість вала дозволяє отримання високої точності обробки (жорсткість вала вважається недостатньою, якщо для отримання точності 6 ... 9-го квалітетів відношення  $L / d_{np}$  не перевищує 10),

де  $L$  – довжина вала, мм;

$d_{np}$  – приведений діаметр вала, який визначається за формулою:

$$d_{np} = \frac{\sum_i^n d_i \cdot l_i}{L} = \frac{((54 \cdot 112 + 48 \cdot 5 + 55 \cdot 35 + 60 \cdot 32) \cdot 2 + 70 \cdot 140)}{505} = 59 \text{ мм}$$

де  $d_i$  – діаметр  $i$  ступені вала, мм;

$l_i$  – довжина  $i$  ступені вала, мм.

Тоді

$$\frac{L}{d_{np}} = \frac{505}{59} = 8,6 \quad (1.1)$$

Таким чином, вказане відношення менше критичного значення (10). Отже, для ефективної механічної обробки без обмеження режимів різання і досягнення економічно обґрунтованої точності, можливе застосування прийнятих схем базування для жорстких валів.

Якісні показники для оцінки технологічності деталі «Вал» наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Якісні показники технологічності деталі

Показники технологічності конструкції деталі	Якісна оцінка технологічності	
	добре (допустимо)	погано (недопустимо)
1. Наявність в деталі стандартних і уніфікованих елементів	+	–
2. Можливість виготовлення деталі зі стандартних або уніфікованих заготовок	+	–
3 Відповідність точності і шорсткості поверхні деталі.	+	–
4. Відповідність фізико-хімічних і механічних властивостей матеріалу, жорсткості форми і розмірів деталі вимогам технології механічної обробки	+	–

[Введіть текст]			
Изм	Лист	№ докум.	Подл. Дата

ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ

Лист

10

Продовження табл. 1.3

Показники технологічності конструкції деталі	Якісна оцінка технологічності	
	добре (допустимо)	погано (недопустимо)
5. Відповідність показників базових поверхонь деталі (розміри, точність, шорсткість) вимогам встановлення, обробки і контролю	+	-
6. Відповідність оформлення робочого креслення деталі вимогам ЄСКД і ЄСДП	+	-

На підставі проведеного аналізу зроблено висновок, що деталь "Вал" має конструкцію, яка є технологічною.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі "Вал" на універсальному устаткуванні

Тип виробництва попередньо визначається за річним обсягом випуску і масі деталі за таблицею 2.1.

Таблиця 2.1

Маса деталі, кг	Тип виробництва				
	Одиничне	Малосерійне	Середньо-серійне	Багато-серійне	Масове
До 1,0	До 10	10-2000	1500-100000	75000-200000	>200000
1,0-2,5	До 10	10-1000	1000-50000	50000-100000	>100000
2,5-5,0	До 10	10-500	500-35000	35000-75000	>75000
5,0-10	До 10	10-300	300-25000	25000-50000	>50000
10-100	10	10...200	200...5000	500...5000	>5000
>100	До 5	5...100	100...300	300...1000	>1000

Маса деталі складає -10,3 кг, річний обсяг випуску - 3000 деталей, тип виробництва буде являтися середньосерійне.

#### 2.1.1 Економічне обґрунтування методу отримання заготовки

Розглянуто два варіанти отримання заготовки: прокат та отримання заготовки на горизонтально-кувальній машині (ГКМ).

*Розрахунок першого варіанту отримання заготовки на ГКМ*

Розрахунок загальної вартості виготовлення деталі

$$C_{дет} = C_{заг} + C_{осн} + C_{обр} - C_{отх} \quad (2.1)$$

де  $C_{заг}$  – витрати на матеріал і виготовлення заготовки;

$C_{осн}$  – витрати на оснащення на одну заготовку;

$C_{обр}$  – витрати на механічну обробку заготовки;

$C_{отх}$  – вартість відходів при механічній обробці;

$$C_{обр} = (M_{заг} - M_{дет}) \cdot 5,75 = (13,92 - 10,3) \cdot 5,75 = 20,82 \text{ грн.}$$

$M_{заг}$  – маса заготовки, кг;

[Введіть текст]				ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ		Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	12	

$M_{дет}$  – маса деталі, кг;

5,75 – вартість механічної обробки 1 кг металу, грн.

$$C_{отх} = (M_{заг} - M_{дет}) \cdot C_{отх} = (13,92 - 10,3) \cdot 1,1 = 3,98 \text{ грн.}$$

$$C_{осн} = C_{осн.опт} / N = 29700 / 3000 = 9,9 \text{ грн.}$$

$C_{осн.опт} = 29700$  грн. – вартість механічної обробки 1 кг металу, грн.

$N = 3000$  шт. – програма випуску.

$$C_{заг} = M_{заг} \cdot C_{ст} = 13,92 \cdot 15,2 = 211,58 \text{ грн, де}$$

$C_{ст}$  – оптова вартість однієї заготовки, грн.

$C_{ст} = 15200$  грн за 1 тону штамповок;

$$C_{дет} = 211,58 + 9,9 + 20,82 - 3,98 = 238,32 \text{ грн.}$$

*Розрахунок другого варіанту отримання заготовки - з прокату*

Для отримання необхідної деталі вибираємо заготовку – прокат, діаметром 70 мм, довжиною 510 мм. Маса заготовки з 3D-моделі:  $M_3 = 15,4$  кг

Розрахунок загальної вартості виготовлення деталі:

$$C_{дет} = C_{заг} + C_{обр} - C_{отх}, \text{ де} \quad (2.2)$$

$$C_{обр} = (M_{заг} - M_{дет}) \cdot 5,75 = (15,4 - 10,3) \cdot 5,75 = 35,08 \text{ грн;}$$

$$C_{отх} = (M_{заг} - M_{дет}) \cdot C_{отх} = (15,4 - 10,3) \cdot 1,1 = 6,71 \text{ грн;}$$

$$C_{заг} = M_{заг} \cdot C_{ст} = 15,4 \cdot 13,7 = 224,68 \text{ грн;}$$

$C_{ст} = 13700$  грн за 1 тону проката;

$$C_{дет} = C_{заг} + C_{обр} - C_{отх} = 224,68 + 35,08 - 6,71 = 253,05 \text{ грн.}$$

Різниця між собівартістю, грн:

$$E = C_{дет2} - C_{дет1}$$

$$E = 253,05 - 238,32 = 14,73 \text{ грн.}$$

Річна економічна ефективність обраного способу отримання заготовки:

[Введіть текст]				ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ		Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		13

$$Z_0 = E \cdot N, \text{ грн.} \quad (2.3)$$

$N$  – річна програма випуску деталей, (3000 шт.)

$$Z_0 = 14,73 \cdot 3000 = 44190 \text{ грн.}$$

За результатами техніко-економічного дослідження, де порівнювалося два методи отримання заготовок

на горизонтально – кувальній машині (метод 1) і з прокату (метод 2),

визначено, що з економічної точки зору отримання заготовок другим методом більш економічно і значно простіше.

2.1.2 Вибір методів обробки поверхонь, технологічних баз, обладнання та розробка маршруту обробки деталі

Проектований технологічний процес обробки наведено в таблиці 2. 2.

Таблиця 2.2

№ опер.	Найменування операції / Короткий зміст операції	Обладнання
005	Фрезерно-центрувальна	2Г942
	Фрезерувати торці у розмір, центрувати торці	
010	Токарна	16Б16А
	Точити поверхні, витримуючи діаметральні та лінійні розміри зі сторони правого торцю	
015	Токарна	16Б16А
	Точити поверхні, витримуючи діаметральні та лінійні розміри зі сторони лівого торцю.	
020	Шліцефрезерна	5А352
	Фрезерувати 8 шліців, витримуючи розміри зубців зі сторони правого торцю	
025	Шліцефрезерна	5А352
	Фрезерувати 8 шліців, витримуючи розміри зубців зі сторони лівого торцю	
030	Термічна	Установка ТВЧ
	Обробити шліці ТВЧ	
035	Шліцешліфувальна	3П451
	Шліфувати 8 шліців, витримуючи бокові розміри зубців зі сторони правого торцю	
040	Шліцешліфувальна	3П451
	Шліфувати 8 шліців, витримуючи бокові розміри зубців зі сторони лівого торцю	

Продовження табл. 2.2

№ опер.	Найменування операції / Короткий зміст операції	Обладнання
045	Круглошліфувальна	3М153
	Шліфувати поверхню $D$ витримуючи діаметральний розмір зі сторони правого торцю	
050	Круглошліфувальна	3М153
	Шліфувати поверхню $D$ витримуючи діаметральний розмір зі сторони лівого торцю	
055	Промивна	Ванна
060	Контрольна	Стіл ВТК
	Перевірка контрольних параметрів	

Для обробки найточнішою поверхні деталі проектується необхідне (достатня) кількість операцій (переходів) за коефіцієнтом уточнення. Найточніша поверхня має розмір  $\varnothing 60k6 \left( \begin{smallmatrix} +0,021 \\ -0,002 \end{smallmatrix} \right)$ .

Необхідне загальне уточнення розраховується за формулою:

$$\epsilon_0 = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}} \quad (2.4)$$

де  $T_{\text{заг}}$  – допуск на відповідний розмір заготовки, мм;

$T_{\text{дет}}$  – допуск на виготовлення деталі, мм.

Приймаємо  $T_{\text{заг}}=3,6$  мм,  $T_{\text{дет}}=0,019$  мм.

$$\epsilon_0 = \frac{3,6}{0,019} = 189,474$$

З іншого боку, уточнення визначається як добуток уточнень, отриманих при обробці поверхонь на всіх операціях (переходах) прийнятого технологічного процесу:

$$\epsilon_{\text{пр}} = \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot \epsilon_3 \cdot \dots \cdot \epsilon_i = \prod_{i=1}^n \epsilon_i \quad (2.5)$$

де  $\epsilon_i$  – величина уточнення, одержаного на  $i$ -ій операції (переході);

$n$  – кількість прийнятих в ТП операцій (переходів) для обробки поверхні.

[Введіть текст]					ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		16

Проміжні значення розраховуються за формулою:

$$\varepsilon_n = \frac{T_{n-1}}{T_n} \quad (2.6)$$

где  $T_n, T_{n-1}$  – допуски розмірів, що отримані при обробці деталі на відповідних операціях.

Точність обробки поверхні по прийнятому маршруту буде забезпечена, якщо дотримується умова:

$$\varepsilon_o \leq \varepsilon_{np} \quad (2.7)$$

Для обробки поверхні  $\varnothing 60k6 \left( \begin{smallmatrix} +0,021 \\ -0,002 \end{smallmatrix} \right)$  приймаємо наступний маршрут:

- чорнове точіння;
- чистове точіння;
- шліфування чистове;
- полірування.

Допуски на міжопераційні розміри:

- $T_1 = 0,30$  мм (квалітет точності IT12);
- $T_2 = 0,19$  мм (квалітет точності IT11);
- $T_3 = 0,046$  мм (квалітет точності IT8);
- $T_4 = 0,019$  мм (квалітет точності IT6).

Розраховуємо проміжне значення уточнень:

$$\varepsilon_1 = \frac{3,6}{0,3} = 12, \quad \varepsilon_2 = \frac{0,3}{0,19} = 1,579, \quad \varepsilon_3 = \frac{0,19}{0,046} = 4,134, \quad \varepsilon_4 = \frac{0,046}{0,019} = 2,42$$

Визначаємо загальне уточнення для прийнятого маршруту обробки:

$$\varepsilon_{np} = 12 \cdot 1,579 \cdot 4,134 \cdot 2,422 = 189,718$$

Одержане значення  $\varepsilon_{np}$  показує, що при прийнятому маршруті точність обробки поверхні  $\varnothing 60k6 \left( \begin{smallmatrix} +0,021 \\ -0,002 \end{smallmatrix} \right)$  забезпечується, так як виконується умова, тобто  $189,474 < 189,718$ .

### 2.1.3 Вибір баз і способів базування

Схема базування та закріплення, технологічні бази, опорні і затискні елементи і пристрої пристосування повинні забезпечувати певне положення заготовки відносно різальних інструментів, надійність її закріплення і незмінність базування протягом всього процесу обробки при даній установці. Поверхні заготовки,

[Введіть текст]					ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		16

прийняті в якості баз, і їх відносне розташування повинні бути такими, щоб можна було використовувати найбільш просту і надійну конструкцію пристосування, зручності установки; закріплення, відкріплення і зняття заготовки, можливість застосування в потрібних місцях сил затиску і підведення ріжучих інструментів.

Зокрема, обробка деталі починається з підготовки чистових технологічних баз, а саме з фрезерування торців і свердління центрових отворів В6,3 ГОСТ 14034-74.

Для всіх наступних операцій базами є центрові отвори, або оброблені зовнішні поверхні тому похибками базування для цих операцій можна нехтувати.

#### 2.1.4 Розрахунок і призначення припусків на обробку

Розрахунок припусків на механічну обробку виконано розрахунково-аналітичним методом.

Розраховуємо припуски на обробку і проміжні граничні розміри для поверхні під підшипники  $\varnothing 60k6^{(+0,021 / +0,002)}$ .

Розрахунок припусків на обробку поверхні  $\varnothing 60k6^{(-0,021 / -0,002)}$  зводимо в таблицю 2.3, в якій послідовно запишемо маршрут обробки поверхні і все значення елементів припуску.

Таблиця 2.3

Технологічні переходи обробки $\varnothing 60^{(+0,021 / +0,002)}$	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск $ZZ_{\text{пів}}$ , мкм	Розрахунковий розмір $r$ $d_p$ , мм	Допуск $\delta$ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні розміри припуску, мм	
	$R_z$	T	$\rho$				$d_{\text{max}}$	$d_{\text{min}}$	$ZZ_{\text{max}}$	$ZZ_{\text{min}}$
1 Прокат	150	250	1987	–	70,000	1600	70,500	68,900	–	–
Точіння:										
2 Попереднє	50	50	119	2-2387	60,9	300	61,2	60,9	9,6	7,7
3 Чистове	30	30	100	2-219	60,462	190	60,65	60,46	0,55	0,438
Шліфування:										
4 Чистове	10	20	40	2-160	60,142	46	60,188	60,142	0,462	0,32
5 Полірування	3,2	15	–	2-70	60,002	19	60,021	60,002	0,167	0,14
Загалом									9,279	5,698



$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 270,9}{3,14 \cdot 60,7} = 1421 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Приймаємо  $n = 1250$  об/хв по паспорту верстата.

Визначаємо силу різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p \quad (2.11)$$

Приймаємо  $C_p=300$ ;  $n=-0,15$ ;  $x=1,0$ ;  $y=0,75$ ;  $K_p=0,87$ .

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,5^1 \cdot 0,51^{0,75} \cdot 270,9^{-0,15} \cdot 0,87 = 340 \text{ Н.}$$

Визначаємо силу потужність різання:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} \quad (2.12)$$

$$N_{\text{різ}} = \frac{340 \cdot 270,9}{1020 \cdot 60} = 1,51 \text{ кВт}$$

Визначаємо основний час:

$$T_o = \frac{L_{\text{різ}}}{S_o \cdot n} \quad (2.13)$$

$$L_{\text{різ}} = L_{\text{різ}} + y \quad (2.14)$$

де  $L_{\text{різ}}$  – довжина різання, приймається рівною довжині обробленої поверхні в напрямку подачі, мм;  $L_{\text{різ}}=32$  мм;

$y$  – довжина підвода, врізання і перебігу.

Для чистової обробки довжина підведення дорівнює 2 мм. Довжини перебігу дорівнює нулю, так як кут  $\varphi=95^\circ$ .

$$L_{\text{різ}} = 32 + 2 = 34 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{34}{0,51 \cdot 1250} = 0,05 \text{ хв}$$

Розрахунок режимів різання на шліфування чистове поверхні діаметром  $60_{+0,002}^{+0,021}$ .

Вибір шліфувального круга:

Розміри шліфувального круга (нового) приймаємо по паспорту верстата: діаметр круга  $D_k=600$  мм;  $B_k=63$  мм.

Вибираємо марку круга: 23A50НСМ27К1.

Визначення частоти обертання круга:

[Введіть текст]				ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ	Лист
Изм	Лист	На доум.	Подп.		Дата

Продовження таблиці 2.4

010	Токарна							
	Точіння:							
	Підрізка торця Ø70	1,5	5	1	0,5	418	92	0,02
	Ø67	2,5	35,3	1	0,6	500	105	0,12
	Ø62	0,6	184	1	0,6	640	125	0,48
	Ø60,8	1,45	152	2	0,6	550	105	0,92
	Ø55	0,5	121	1	0,6	723	125	0,28
	Фаска 4×30°	4	5	1	0,12	737	125	0,05
Канавка R4 <sup>+0,3</sup>	3,5	8	1	0,15	1250	112	0,04	
015	Токарна							
	Точіння:							
	Підрізка торця Ø70	1,5	5	1	0,5	418	92	0,02
	Ø67	2,5	35,3	1	0,6	500	105	0,12
	Ø62	0,6	184	1	0,6	640	125	0,48
	Ø60,8	1,45	152	2	0,6	550	105	0,92
	Ø55	0,5	121	1	0,6	723	125	0,28
	Фаска 4×30°	4	5	1	0,12	737	125	0,05
Канавка R4 <sup>+0,3</sup>	3,5	8	1	0,15	1250	112	0,04	
020	Шліцефрезерна							
	Фрезерування шліців 9,2 <sup>+0,1</sup>	7,2	86	1	2,0	48	15	7,12
025	Шліцефрезерна							
	Фрезерування шліців 9,2 <sup>+0,1</sup>	7,2	86	1	2,0	48	15	7,12
035	Шліцешліфувальна							
	Шліфування шліців витримуючи розмір 9 <sub>-0,036</sub>	0,2	152	8	0,01	35 м/с	6	5,41
040	Шліцешліфувальна							
	Шліфування шліців витримуючи розмір 9 <sub>-0,036</sub>	0,2	152	8	0,01	35 м/с	6	5,41
045	Круглошліфувальна							
	Шліфування Ø60 <sup>+0,021 +0,002</sup>	0,2	36	2	0,5	159	30	1,44
050	Круглошліфувальна							
	Шліфування Ø60 <sup>+0,021 +0,002</sup>	0,2	36	2	0,5	159	30	1,44

[Введіть текст]

Изм Лист № докум. Подп. Дата

ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ

Лист

21

### 2.1.6 Розрахунок норм часу

Розрахунок норм часу проводимо докладно для фрезерно-центрувальної операції 005.

Загальний основний час операції:  $T_0=0,25$  хв.

Визначаємо допоміжний час на обробку:

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{ус}} + T_{\text{вим}} + T_{\text{уп}} \quad (2.17)$$

де  $T_{\text{ус}} = 0,16$  хв час на установку і зняття деталі;

$T_{\text{вим}} = 0,23$  хв – час на вимірювання деталі;

$T_{\text{уп}} = 0,08$  хв – час на прийоми управління.

$$T_{\text{доп}} = 0,16 + 0,22 + 0,08 = 0,47 \text{ хв}$$

Оперативний час:

$$T_{\text{оп}} = T_0 + T_{\text{доп}} = 0,25 + 0,47 = 0,72 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця, відпочинок визначається як:

$$T_{\text{об.від}} = T_{\text{оп}} \cdot 9/100 = 0,72 \cdot 9/100 = 0,06 \text{ хв}$$

де 9 – витрати на обслуговування робочого місця і відпочинок, %.

Далі визначаємо норму штучного часу:

$$T_{\text{шт}} = T_0 + T_{\text{доп}} + T_{\text{об.від}} = 0,25 + 0,47 + 0,06 = 0,78 \text{ хв.}$$

Розрахунок норм штучно-калькуляційного часу проводимо за формулою:

$$T_{\text{шт.к}} = T_{\text{п.з.п}} / n + T_{\text{шт}} \quad (2.18)$$

де  $T_{\text{п.з.п}}$  - підготовчо-заклучний час, хв;

$n$  - кількість деталей в партії, шт

Норма підготовчо-заклучного часу складається з:

$T_{\text{п.з.п.1}}$  – час на організаційну підготовку:

-отримати наряд, креслення, технологічну документацію, ріжучий і допоміжний інструмент, контрольно-вимірювальний інструмент, пристосування, заготовки виконавцем і здати їх після закінчення обробки партії деталей -10 хв;

- ознайомлення з документацією та огляд заготовки – 1,5 хв;

- на інструктаж майстра – 1,3 хв.

Отримуємо  $T_{\text{п.з.п.1}} = 9,8$  хв.

$T_{\text{п.з.п.2}}$  - час на додаткові прийоми:

[Введіть текст]					ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		22

- встановити і зняти пристосування – 14 хв;
- встановити вихідні режими верстата – 0,5 хв;
- розкласти і прибрати інструмент – 2 хв;
- встановити в магазин інструменти - 1 хв.

Всього:

$$T_{п.з.п.2} = 14 + 0,5 + 2 + 1 = 17,5 \text{ хв}$$

$$T_{п.з.п.3} = 2,0 \text{ хв} - \text{ час на пробну обробку.}$$

$$T_{п.з.п.} = T_{п.з.п.1} + T_{п.з.п.2} + T_{п.з.п.3} = 9,8 + 17,5 + 2 = 29,3 \text{ хв}$$

$$T_{п.з.} = (29,3 / 60) + 0,78 = 1,28 \text{ хв}$$

Норми часу на інші операції зведені в таблицю 2.5

Таблицю 2.5 – Зведена таблиця норм часу

№ операції	Найменування операції	$T_0$	$T_{доп}$	$T_{оп}$	$T_{пер}$	$T_{от}$	$T_{пш}$	$T_{шт-а}$
005	Фрезерно-центрувальна	0,25	0,47	0,72	0,06	0,78	0,5	1,28
010	Токарна	1,91	2,3/0,16	4,21	0,34	4,55	0,61	5,16
015	Токарна	1,91	2,3/0,16	4,21	0,34	4,55	0,61	5,16
020	Шліцефрезерна	7,12	1,96	9,08	0,72	9,8	0,67	10,47
025	Шліцефрезерна	7,12	1,96	9,08	0,72	9,8	0,67	10,47
035	Шліце-шліфувальна	5,41	1,58/0,52	6,99	0,55	7,54	0,72	8,26
040	Шліце-шліфувальна	5,41	1,58	6,99	0,55	7,54	0,72	8,26
045	Кругло-шліфувальна	1,44	1,04/0,16	2,48	0,25	2,73	0,56	3,29
050	Кругло-шліфувальна	1,44	1,04	2,48	0,25	2,73	0,56	3,29

## 2.2 Розробка технологічного процесу токарної обробки деталі "Вал" на верстаті з ЧПК

### 2.2.1 Обґрунтування вибору верстата з ЧПК

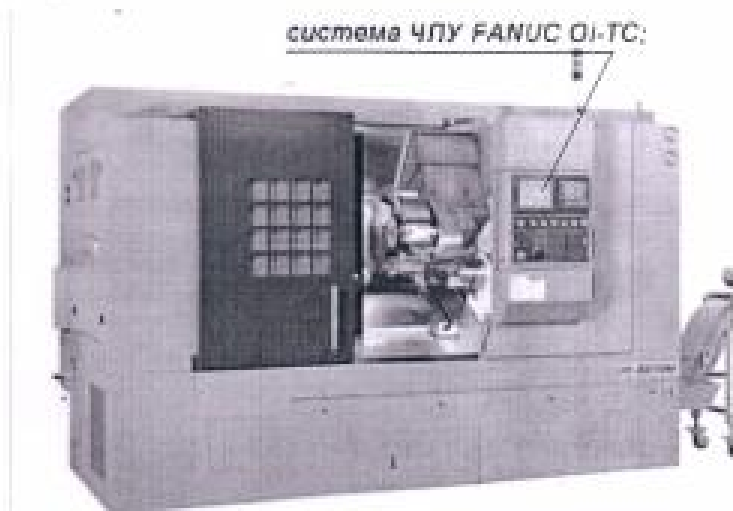
Технологічний процес у варіанті застосування верстатів з ЧПК розроблено при наступних допущеннях:

- Заготовкою вибрано гарячекатаний прокат звичайної точності з такими ж параметрами, як і в попередньому варіанті. При цьому коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) також має попереднє значення:

$$КВМ = 10,3/15,4 = 0,67.$$

- Методи обробки поверхонь вибрані такими ж як і при обробці на універсальних верстатах (таблиця 2.3).

Для токарних робіт застосовано сучасний токарний верстат з ЧПК із протишпінделем моделі *UT-300SM*<sup>1</sup>.



#### ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Діаметр патрона основного шпінделя	250 мм
Діаметр патрона субшпінделя	150 мм
Довжина обробки	610 мм

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд токарного верстата з ЧПК моделі *UT-300SM*

Для фрезерування прямобічних шліців застосовано напівавтомат

<sup>1</sup> <http://www.techtrade.ru/postavki/oborudovanie/tokarnye-i-frezernye-obrabyvayushchie-tokarnye-stanki/73/>

[Введіть текст]				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

шліцефрезерний з ЧПК моделі 5А352ПФ2<sup>2</sup>. Верстати моделі 5А352ПФ2 призначені для формоутворення на валах прямобочного і евольвентних шліців, а також зубців прямозубих і косозубих циліндричних коліс черв'ячними фрезами методом обкатки. Застосовується в умовах серійного, дрібносерійного і одиничного виробництва. Основні технічні характеристики верстата наступні:

Висота центрів, мм:

- від підшви станини .....1060
- над напрямними .....300

Відстань між центрами, мм .....1 080

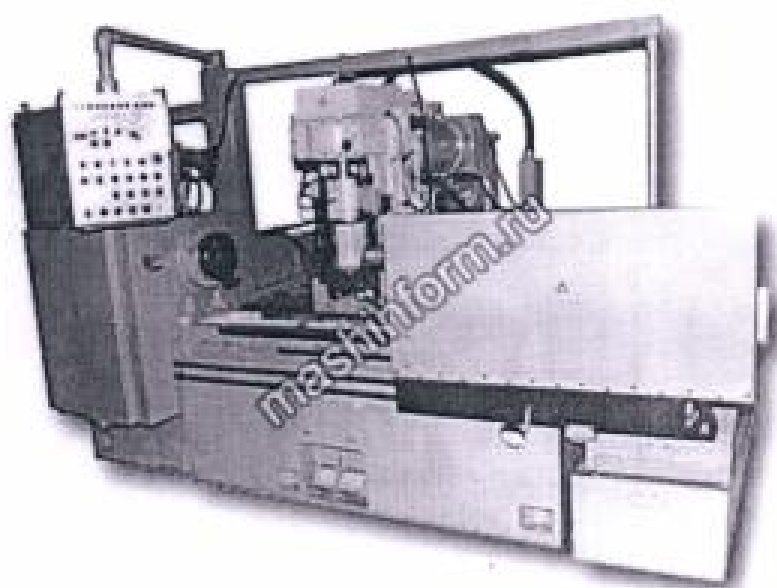


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд токарно-фрезерного верстата з ЧПУ ВЗ-729Ф4

Для шліфування прямобочних шліців застосовано шліце шліфувальний верстат з ЧПК ВЗ-729Ф4.

Прецизійний (високоточний) шліце шліфувальний верстат з ЧПУ ВЗ-729Ф4 використовується на промислових підприємствах для шліфування на деталях шліців як прямого, так і евольвентного профілю. Процес шліфування шліців здійснюється спеціальними абразивними шліфувальними кругами з

<sup>2</sup> <http://www.interprom-spb.ru/metal/frezer/shlitsefrezernyye-stanki-s-chpu/shlitsefrezernyy-standok-s-chpu-nlz-4000a>

безпосередньою їх правкою на верстаті із застосуванням охолоджуючих технологічних рідин (ОТР).

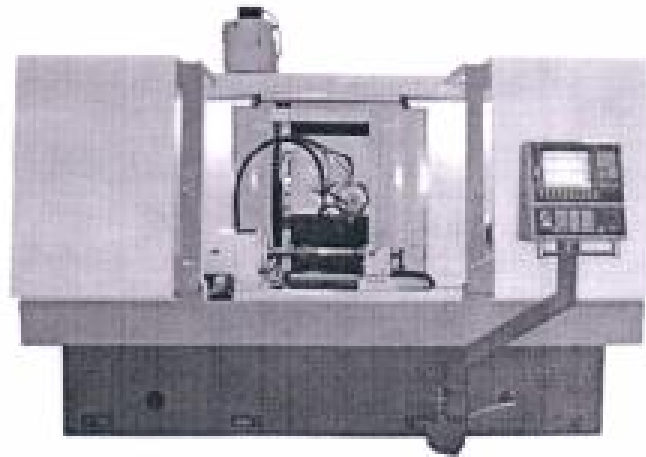


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд шліце шліфувального верстата с ЧПУ ВЗ-729Ф4

Унікальні технічні можливості верстата дозволяють здійснювати операції шліфування пазів ділительних дисків, прямозубих циліндричних зубчастих коліс і інші подібні операції з використанням додаткових опцій<sup>3</sup>. Основні технічні характеристики верстата наступні:

Розміри оброблюваних поверхонь:

- Найбільша довжина, мм.....400
- Найбільший діаметр, мм..... 200
- Найменший діаметр, мм .....10
- Найбільший модуль/висота пазу, мм... 1...6/2...15
- Максимальна маса оброблюваної деталі, кг..... 150

Розміри встановлюємої заготовки:

- Довжина, мм:..... 600
- Діаметр, мм: ..... 250

Розроблений технологічний маршрут виготовлення деталі "Вал" наведено в табл. 2.6.

<sup>3</sup> [http://www.vizas.org/products/vizas/metal\\_processing\\_machinery/grinders\\_with\\_cnc/vz-729f4.html](http://www.vizas.org/products/vizas/metal_processing_machinery/grinders_with_cnc/vz-729f4.html)

Таблиця 2.6 – Технологічний маршрут обробки деталі "Вал" на верстатах з ЧПК

№ операції	Найменування операції і модель верстата	Зміст операції	Спосіб встановлення	Технологічні бази
005	Заготівельна	Різання проката	-	
010	Токарна. Токарний верстат з ЧПК моделі UT-300SM	<p><i>Установ I</i> Обробити начорно по програмі поверхні зі сторони правого торцю:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• торець правий у розмір 510,</li> <li>• центровий отвір <math>d5</math> ГОСТ 14034-74,</li> <li>• шийку вала <math>\varnothing 60k6</math> до <math>\varnothing 60,4</math>,</li> <li>• шийку вала <math>\varnothing 55</math> до <math>\varnothing 55,4</math>,</li> <li>• шийку вала <math>\varnothing 54n6</math> до <math>\varnothing 54,4</math>,</li> </ul> <p><i>Установ II</i> Обробити начорно по програмі поверхні зі сторони лівого торцю:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• торець лівий у розмір 508,</li> <li>• центровий отвір <math>d5</math> ГОСТ 14034-74,</li> <li>• шийку вала <math>\varnothing 60k6</math> до <math>\varnothing 60,4</math>,</li> <li>• шийку вала <math>\varnothing 55</math> до <math>\varnothing 55,4</math>,</li> <li>• шийку вала <math>\varnothing 54n6</math> до <math>\varnothing 54,4</math>,</li> </ul> <p><i>Установ III</i> Обробити начисто по програмі поверхні зі сторони правого торцю:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• шийку вала <math>\varnothing 60k6</math> до <math>\varnothing 60,4</math>,</li> <li>• шийку вала <math>\varnothing 55</math>,</li> <li>• шийку вала <math>\varnothing 54n6</math> до <math>\varnothing 54,4</math>,</li> </ul>	Патрон трьохкулачковий	Циліндричні поверхні заготовки Поверхні центрових отворів



Продовження таблиці 2.6

№ операції	Найменування операції і модель верстата	Зміст операції	Спосіб встановлення	Технологічні бази
010 продовження	Токарна	<i>Установ IV</i> Обробити начисто по програмі поверхні зі сторони лівого торцю: <ul style="list-style-type: none"> <li>• шийку вала Ø60k6 до Ø60,4,</li> <li>• шийку вала Ø55,</li> <li>• шийку вала Ø54h6 до Ø54,4.</li> </ul>	Патрон трьохкулачковий	Циліндричні поверхні заготовки Поверхні центрових отворів
020	Шліцефрезерна з ЧПК. 5A352ПФ2 - Напівавтомат шліцефрезерний горизонтальний с ЧПК (Відстань поміж центрами до 1080 мм)	<i>Установ I</i> Фрезерувати 8 шліців, витримуючи розміри зубців зі сторони правого торцю. <i>Установ II</i> Фрезерувати 8 шліців, витримуючи розміри зубців зі сторони лівого торцю (Подача, мм/хв: осьова 2..100 радіальна 2..50)	Пристосування	Циліндричні поверхні заготовки Поверхні центрових отворів
030	Шліцешліфувальна з ЧПК. Шліцешліфувальний верстат з ЧПК ВЗ-729Ф4	<i>Установ I</i> Шліфувати 8 шліців, витримуючи розміри зубців зі сторони правого торцю. <i>Установ II</i> Шліфувати 8 шліців, витримуючи розміри зубців зі сторони лівого торцю	Пристосування	Циліндричні поверхні заготовки Поверхні центрових отворів
040	Токарна тонка з ЧПК. Верстат з ЧПК моделі UT-300SM	Точити тонко по програмі поверхні: <ul style="list-style-type: none"> <li>• шийки вала Ø60k6</li> <li>• шийку вала Ø54h6</li> </ul>		

[Введіть текст]

ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ

Лист

Ізм Лист № докум. Подп. Дата

28

### 2.2.2 Проектування схем налагоджень

Для розробки схеми налагоджень токарних операцій застосовано САМ-систему, що входить до складу САД-системи Компас-3D V16. САМ-система має назву «Модуль ЧПУ – Токарная обработка». Схема налагоджень для операцій чорнового точіння наведена в графічній частині кваліфікаційної роботи.

На підставі розробленого маршруту обробки деталі з урахуванням обраного обладнання розроблено операційний технологічний процес механічної обробки деталі (наведено у Додатках до пояснювальної записки).

Режими різання призначені за даними, що рекомендовані постачальниками імпортного ріжучого інструменту.

Процес тонкого точіння, застосований замість шліфування, характеризується високими швидкостями різання (від 120-200 до 1000 м / хв і вище), подачами від 0,02 до 0,12 мм / об і глибинами різання порядку 0,05 -0,3 мм.

Висота нерівностей поверхні при тонкому точінні знаходиться в межах від 1 до 6 мкм, і таким чином шорсткість поверхні може бути менше, ніж після шліфування, розгортання і протягування.

Внаслідок малих перетинів стружки і невеликих величин контакту різця з виробом зусилля різання і нагрівання деталі при тонкому точінні виявляються досить незначними, навіть при переривистій поверхні точіння. Невеликі сили різання при тонкому точінні дозволяють обмежуватися вельми незначними зусиллями при затиску деталей. Внаслідок малих величин тих і інших зусиль відповідні деформації при установці і обробці деталей виявляються також вельми незначними, що забезпечує високу точність і правильну макрогеометрію при тонкому точінні.

### 2.2.3. Нормування операцій технологічного процесу

Норма штучного часу визначена за формулою:

$$T_{шт} = T_o + T_n + T_{обс} + T_{шт} [хв], \text{ де} \quad (2.19)$$

$T_{шт}$  – норма штучного часу;

[Введіть текст]				ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп.		Дата

$T_0$  – основний (технологічний) час;

$T_d$  – допоміжний час;

$T_{обс}$  – час обслуговування робочого місця;

$T_{физ}$  – час на фізичні потреби.

Основний чи технологічний час – час, протягом якого виконується зняття стружки. До нього входить час на врізання і перебіг (підхід і відхід) ріжучого інструменту. Основний час  $T_0$  визначено по формулі

$$T_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{s_0 \times n} \quad (2.20)$$

де  $l$  – довжина оброблюваної поверхні;

$l_1$  – довжина врізання (прийнято 1 мм);

$l_2$  – довжина перебігу (прийнято 0 мм);

$$L = l + l_1 + l_2$$

$T_d$  – допоміжний час, що містить:

- час  $T_{двер}$  на переміщення інструменту і час управління верстатом,
- час  $T_{вст}$  на встановлення і зняття деталі, пристосування, інструменту,
- час  $T_{вим}$  на прийоми вимірювання.

Складові допоміжного часу визначені табличним методом за довідником.

Для верстатів з ЧПК можна прийняти рівним нулю час на управління верстатом, встановлення і зняття, інструменту, прийоми вимірювання, бо вказані дії виконуються по програмі, тобто миттєво.

Час  $T_{обс}$  обслуговування прийнято рівним 3,5% від оперативного і поділяється на

- час технічного обслуговування;
- час організаційного обслуговування.

Час технічного обслуговування витрачається на догляд за робочим місцем в процесі даної роботи:

- на налагоджування та регулювання верстата,
- на зміні затупленого інструмента,
- на правку інструмента,

- на видалення стружки під час роботи.

Час організаційного обслуговування витрачається на догляд за робочим місцем протягом зміни:

- на розкладку інструмента,
- на чищення і змазування верстата,
- на огляд та випробування верстата.

Час  $T_{\text{одо}}$  на відпочинок та перерви приймається рівним 4% від оперативного часу

Таблиця 2.7 – Нормування операцій технологічного процесу обробки на верстатах з ЧПК, хв.

№№	Найменування операцій	$K^0$	$T_0$			$T_{\text{оп}}$	$T_{\text{обс}}$ ( $\approx 0$ )	$T_{\text{вд}}$	$T_{\text{пр}}$	$T_{\text{п.і}}$	$T_{\text{вст.і}}$
			$T_{\text{двст}}$	$T_{\text{дпер}}$ ( $\approx 0$ )	$T_{\text{двим}}$ ( $\approx 0$ )						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
010	Токарна з ЧПК	1,4	0,32			1,72	0	0,06	1,78	2,0	3,78
020	Шліф-фрезерна з ЧПК	7,12	1,2			8,32	0	0,33	8,65	1,33	9,68
030	Шліф-шліфувальна з ЧПК	5,41	1,05			6,46	0	0,26	6,72	1,42	8,14
040	Токарна тонка з ЧПК	0,3	0,16			0,46	0	0,02	0,48	1,5	1,98

Для порівняння продуктивності розроблених альтернативних технологій дані зведені в таблицю 2,8 та відтворені в порівняльній діаграмі на рисунку 2.4. З отриманих даних видно, що застосування верстатів з ЧПК в поєднанні з сучасним прогресивним ріжучим інструментом призводить до підвищення продуктивності:

- по токарним роботам у 7 разів,

- по шліцефрезерним та шліцешліфувальним роботам у 3 рази.

Таблиця 2.8 – Порівняння продуктивності розроблених альтернативних технологій

Типи верстатів	Час штучно-калькуляційний по видам робіт, хв					
	Токарні	Шліце-фрезерні	Шліце-шліфу-вальні	Токарні тонкі	Кругло шліфу-вальні	Загалом
Універсальні верстати	10,32	20,94	16,52	0	6,58	54,36
Верстати з ЧПК	1,4	7,12	5,41	0,3	0	14,23
Усього	11,72	28,06	21,93	0,3	6,58	

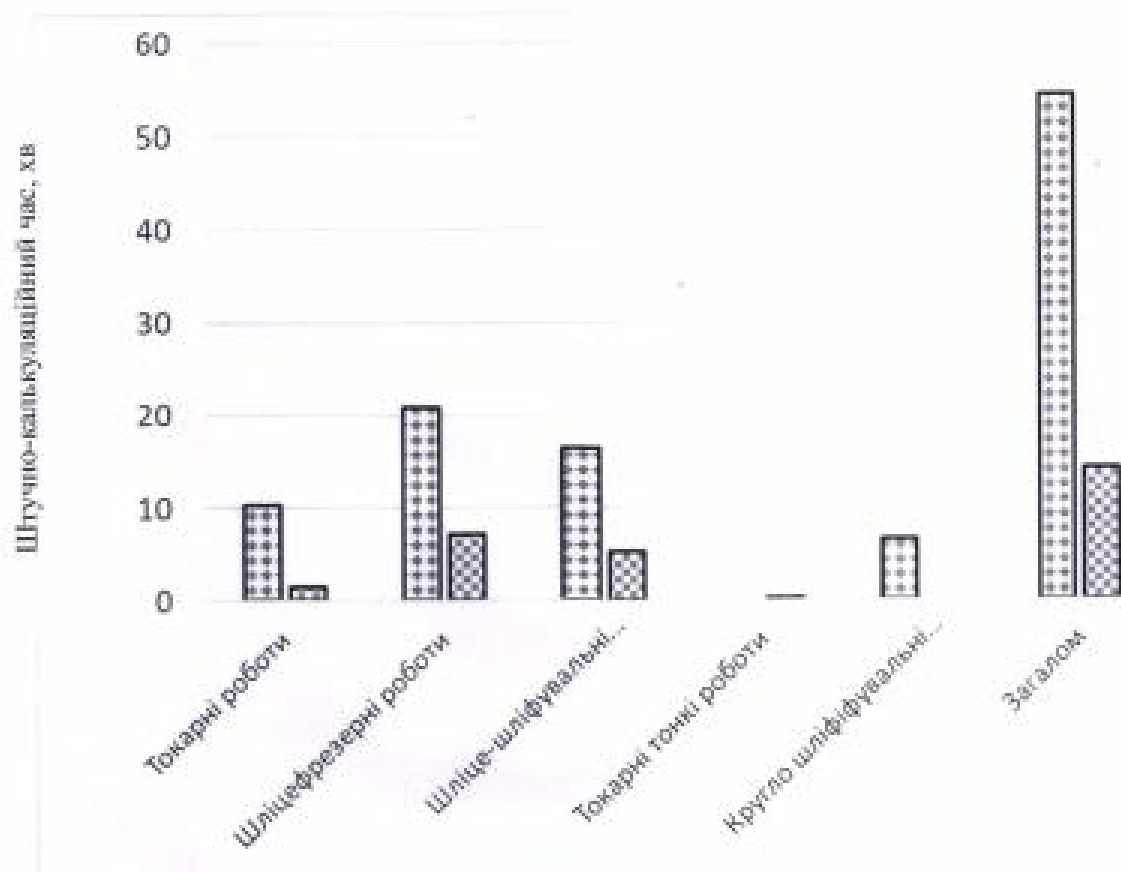


Рисунок 2.4 – Порівняльна діаграма продуктивності альтернативних технологій

### 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### Проектування ріжучого інструменту

Для шліцефрезерної операції потрібно запроєктувати шліцьову черв'ячну фрезу без вусиків.

Позначення валу  $D-8 \times 46 \times 54h6 \times 9h9$  є фаскою  $f = 0,5^{+0,3}$  ГОСТ 1139-80.

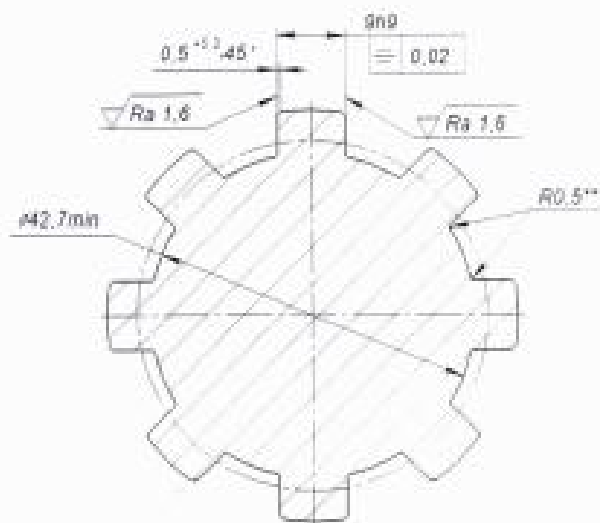


Рисунок 3.1– Ескіз прямобічних шліців

Зовнішній розрахунковий діаметр:

$$D_p = D_{max} + \Delta - 2f_{min} = 54,045 + 0,2 - 2 \cdot 0,5 = 53,245 \text{ мм} \quad (3.1)$$

де  $D_{max}$  - максимальне значення зовнішнього діаметру;

$\Delta$  - припуск на фінішну обробку діаметру  $D$ ;

$f_{min}$  - мінімальне значення фаски.

Внутрішній розрахунковий діаметр:

$$d_p = d_{ном} = 46 \text{ мм} \quad (3.2)$$

Ширина шліця з урахуванням припуску для шліфування

$$b_p = b_{ном} + P = 9 + 0,5 = 9,5 \text{ мм} \quad (3.3)$$

де  $b_{ном}$  - номінальна ширина шліця.

Діаметр начального кола:

[Введіть текст]					ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		33

$$D_H = \sqrt{D_p^2 - 0,75 \cdot b_p^2} = \sqrt{53,245 - 0,75 \cdot 9,5^2} = 51,9 \text{ мм} \quad (3.4)$$

Бічний профіль зубців фрези визначено аналітичним методом. Бічний профіль зубця фрези є кривою, що огинає ряд послідовних положень профілю шліцьового валу при коченні початкового кола фрези за початковим колом валу. На практиці теоретичну криву замінюють однією або двома дугами кола. Однією дугою заміняють при висоті профілю шліцьового валу  $\square \leq 3,5$  мм і двома коли  $\square > 3,5$  мм.

Визначимо висоту профілю шліцьового валу:

$$\square = \frac{D_H - d_p}{2} = \frac{51,9 - 46}{2} = 2,7 \leq 3,5 \text{ мм}$$

Тому проведено заміну теоретичної кривої дугою кола радіусом  $R_0$  з координатами  $(x_0, y_0)$  по формулам:

$$R_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \quad (3.5)$$

де

$$x_0 = \frac{x_1^2 - 2y_0y_1 + y_1^2}{2x_1} \quad (3.6)$$

$$y_0 = \frac{x_1(x_2^2 + y_2^2) - x_2(x_1^2 + y_1^2)}{2(x_1y_2 - x_2y_1)} \quad (3.7)$$

де  $(x_1; y_1)$  та  $(x_2; y_2)$  - відповідно координати точок т. 1 і т. 2 по середині профілю і у вершині зубця.

Ординати т. 1 і т. 2 приймаємо:

$$y_1 = (0,4..0,5) \cdot \square = 0,5 \cdot 2,7 = 1,35 \text{ мм}$$

$$y_2 = 0,9 \cdot \square = 0,9 \cdot 2,7 = 2,43 \text{ мм.}$$

Абсциси т. 1 и т. 2:

$$x_1 = R_H[(\alpha_1 - \gamma_H) - \cos \alpha_1 \cdot (\sin \alpha_1 - \sin \gamma_H)]$$

$$x_2 = R_H[(\alpha_2 - \gamma_H) - \cos \alpha_2 \cdot (\sin \alpha_2 - \sin \gamma_H)] \quad (3.8)$$

де  $R_H$  - радіус начального кола валу;

$\alpha_1, \alpha_2$  - кути обкату в т. 1 и т. 2 відповідно, рад;

$\gamma_H$  - кут шліця в точці на  $D_H$ , рад.

$$R_H = \frac{D_H}{2} = \frac{51,9}{2} = 25,95 \text{ мм}$$

$$\sin \gamma_H = \frac{b_H}{D_H} = \frac{9,5}{51,9} = 0,18304$$

$$\gamma_H = 0,18407 \text{ рад}$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{\sin \gamma_H}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma_H}{2}\right)^2 + \frac{y_1}{R_H}} \quad (3.9)$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{\sin \gamma_H}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma_H}{2}\right)^2 + \frac{y_2}{R_H}}$$

Підставляємо значення:

$$\sin \alpha_1 = \frac{0,18304}{2} + \sqrt{\left(\frac{0,18304}{2}\right)^2 + \frac{1,35}{25,95}} = 0,33722$$

$$\alpha_1 = 0,34396 \text{ рад}$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{0,18304}{2} + \sqrt{\left(\frac{0,18304}{2}\right)^2 + \frac{2,43}{25,95}} = 0,41073$$

$$\alpha_2 = 0,42326 \text{ рад}$$

$$x_1 = 25,95 \left[ (0,34396 - 0,18407) - \cos(0,34396) (\sin(0,34396) - \sin(0,18407)) \right] = 0,16 \text{ мм}$$

$$x_2 = 25,95 \left[ (0,42326 - 0,18407) - \cos(0,42326) (\sin(0,42326) - \sin(0,18407)) \right] = 0,337 \text{ мм}$$

$$y_3 = \frac{0,16092 \cdot (0,33735^2 + 2,43^2) - 0,33735 \cdot (0,16092^2 + 1,35^2)}{2 \cdot (0,16092 \cdot 2,43 - 0,33735 \cdot 1,35)} = -2,89 \text{ мм}$$

$$x_3 = \frac{0,16092^2 - 2 \cdot (-2,89) \cdot 1,35 + 1,35^2}{2 \cdot 0,16092} = 7,78 \text{ мм}$$

$$R_0 = \sqrt{7,78^2 + (-2,89^2)} = 8,299 \text{ мм}$$

Для перевірки точності заміни кривої бокового профілю зубця фрези дугою кола визначено величину відхилень дуги від теоретичної кривої у двох точках  $a$  і  $b$ , що розміщені поміж точками 0; 1; 2.

Максимальна похибка заміни в точках  $a$  и  $b$ :

$$\Delta a = F_a + R_0$$

$$\Delta b = F_b + R_0. \quad (3.10)$$

де  $F_a$  и  $F_b$  – радіуси в точках  $a$  и  $b$ .

[Введіть текст]					ТММ.КВР.18.07. 00. 000. ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		35



$$F_a = \sqrt{(x_a - x_o)^2 + (y_a - y_o)^2}$$

$$F_b = \sqrt{(x_b - x_o)^2 + (y_b - y_o)^2} \quad (3.11)$$

где  $(x_a; y_a); (x_b; y_b)$  - координати точок  $a$  та  $b$ .

$$x_a = R_H [(\alpha_a - \gamma_H) - \cos \alpha_a (\sin \alpha_a - \sin \gamma_H)]$$

$$x_b = R_H [(\alpha_b - \gamma_H) - \cos \alpha_b (\sin \alpha_b - \sin \gamma_H)] \quad (3.12)$$

$$y_a = R_H \cdot \sin \alpha_a (\sin \alpha_a - \sin \gamma_H)$$

$$y_b = R_H \cdot \sin \alpha_b (\sin \alpha_b - \sin \gamma_H) \quad (3.13)$$

Кути обкату  $\alpha$  и  $\beta$  у радіанах:

$$\alpha_b = A + \sqrt{A^2 + B}$$

$$\alpha_a = A - \sqrt{A^2 + B} \quad (3.14)$$

$$A = \frac{R_H \cdot \gamma_H + x_o}{2 \left( R_H + \frac{y_o}{3} \right)}$$

$$B = \frac{y_o}{R_H + \frac{y_o}{3}}$$

(3.15)

$$A = \frac{25,95 \cdot 0,18407 + 7,78}{2 \cdot \left( 25,95 + \left( \frac{-2,89}{3} \right) \right)} = 1,39$$

$$B = \frac{-2,89}{25,95 + \left( \frac{-2,89}{3} \right)} = -0,1156$$

$$\alpha_a = 1,39 - \sqrt{1,39^2 + (-0,1156)} = 1,3477$$

$$\alpha_b = 1,39 + \sqrt{1,39^2 + (-0,0415)} = 1,432$$

Товщина зубця фрези по початковій прямій:

$$S_H = D_H \left( \frac{\pi}{n} - \gamma_n \right) \quad (3.16)$$

де,  $n=8$  – число шліців.

$$S_H = 51,9 \cdot \left( \frac{3,14}{8} - 0,18407 \right) = 10,81 \text{ мм.}$$

Крок зубця у нормальному перерізі:

$$t_H = \frac{\pi}{n} \cdot D_H = \frac{3,14}{8} \cdot 51,9 = 20,37 \text{ мм.}$$

[Ваше ім'я]					ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		36

Зміщення уступу від початкової прямої:

$$h_1 = \frac{b_p^2}{8D_H} = \frac{9,5^2}{8 \cdot 51,9} = 0,217 \text{ мм.}$$

Кут уступу  $\psi=45^\circ$

Ширина:  $C=2 \cdot f=2 \cdot 0,5=1 \text{ мм}$

Висота:  $\square_2 = C \cdot \operatorname{tg} \psi = 1,0 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ = 1,0 \text{ мм}$

*Розміри канавки для виходу шліфувального круга при затилуванні канавки.*

Радіус  $r = 2 \text{ мм.}$

Ширина:

$$\ell = t_H - (S_H + 2 \cdot C) = 20,37 - (10,81 + 2 \cdot 1,0) = 7,56 \text{ мм}$$

Глибина:  $h_3 = 3 \text{ мм.}$

Висота шліфованої частини зубця фрези:

$$\square_{\text{ш}} = \square + \square_1 + \square_2 = 2,7 + 0,217 + 1 = 3,917 \text{ мм}$$

Загальна висота профілю зубця фрези :

$$\square_0 = h_{\text{ш}} + \square_3 = 3,917 + 3 = 6,917 \text{ мм.}$$

*Геометрія фрези*

Передній кут  $\gamma = 5^\circ$ . Тому, що інструмент для чорнової обробки, задній кут  $\alpha_b = 10^\circ$

На бокових сторонах:

$$\operatorname{tg} \alpha_\delta = \operatorname{tg} \alpha_b \cdot \sin \alpha_n$$

(3.17)

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{y_0}{x_0} = \frac{2,89}{7,78} = 0,37146; \alpha_n = 20,37^\circ$$

$$\operatorname{tg} \alpha_\delta = \operatorname{tg} 10^\circ \cdot \sin 20,37^\circ = 0,0613$$

$\alpha_\delta = 3^\circ 31' \geq 1^\circ 30'$  - значення бокового кута  $\alpha_\delta$  в межах допустимого.

*Розрахунок конструктивних та габаритних розмірів фрези*

Фреза однозахідна, напрямок витків правий. Кут підйому витка

$\tau = 4^\circ 30'$ . Напрямок передньої поверхні зубця лівий.

Орієнтовний зовнішній діаметр:

[Введіть текст]				ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ		Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.			Дата

$$D_{OH} = \frac{D_H}{\pi \cdot \sin \tau} + 2h_{ш} = \frac{51,9}{8 \cdot \sin 4^\circ 30'} + 2 \cdot 3,917 = 90,61 \text{ мм}$$

Приймаємо  $D_{OH} = 100$  мм.

Число зубців  $Z = 14$ .

Величина затилування:

$$K = \frac{D_{OH}}{Z} \pi \cdot \operatorname{tg} \alpha_B = \frac{100}{14} \cdot 3,14 \cdot \operatorname{tg} 10^\circ = 5,52 \text{ мм}$$

Округляємо до  $K = 6$  мм.

$$K_1 = (1,2 \dots 1,7) \cdot K = (1,2 \dots 1,7) \cdot 6 = 7,2 \dots 10,2 \text{ мм}$$

Приймаємо  $K_1 = 8,5$  мм.

Розміри канавки для виходу стружки:

$$r_2 = 1,5 \text{ мм};$$

$$H = \square_0 + \frac{K + K_1}{2} + 1 = 6,917 + \frac{6 + 8,5}{2} + 1 = 15,167 \text{ мм}$$

Кут канавки  $\theta = 25^\circ$ .

Довжина шліфованої частини задньої поверхні зубців фрези:

$$\ell_{ш} \geq \left( \frac{1}{3} \dots \frac{1}{2} \right) \frac{\pi \cdot D_{OH}}{Z} \tag{3.18}$$

$$\ell_{ш} = \frac{1}{2} \cdot \frac{3,14 \cdot 100}{14} = 11,2 \text{ мм}$$

Крок витків фрези в осьовому перетину:

$$t_0 = \frac{t_H}{\cos \tau} = \frac{20,37}{\cos 6^\circ} = 20,48 \text{ мм}$$

Довжина зовнішньої частини фрези:

$$\ell_p = 2 \cdot \sqrt{\square \cdot (D_{OH} - \square)} + (2 \dots 0,5)t_0 = 2 \cdot \sqrt{2,7 \cdot (100 - 2,7)} + 1,5 \cdot 20,48 = 63,1 \text{ мм}$$

Загальна довжина фрези:

$$L = \ell_p + 2\ell_\delta \tag{3.19}$$

де,  $\ell_\delta = 2 \dots 5$  мм - довжина буртика.

$$L = 63,1 + 2 \cdot 5 = 73,1 \text{ мм}$$

Діаметр циліндричної частини буртика:

$$d_\delta = D_{OH} - 2H - (3 \dots 5) = 100 - 2 \cdot 15,167 - 3 = 66,6 \text{ мм}$$

Середній розрахунковий діаметр:

$$D_t = D_{OH} - 2h - 0,5 \cdot K = 100 - 2 \cdot 2,7 - 0,5 \cdot 6 = 91,6 \text{ мм}$$

Кут нахилу стружечної канавки  $\omega = \tau = 4^\circ 30'$ .

Крок стружечної канавки:

$$T = \pi \cdot D_t \cdot \text{ctg } \omega = 3,14 \cdot 91,6 \cdot \text{ctg } 4^\circ 30' = 2808 \text{ мм}$$

Діаметр посадочного отвору:

$$d_0 \approx 0,625(D_{OH} - 2H) \quad (3.20)$$

$$d_0 \approx 0,625(100 - 2 \cdot 15,167) = 53,5 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення  $d_0 = 50 \text{ мм}$ .

## 4 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### Імітаційно-статистичне моделювання контрольних-вимірювальних процедур

Поставлена мета досягається застосуванням імітаційного-статистичного моделювання на основі комп'ютерного генерування випадкових похибок в середовищі Microsoft Office Excel (фрагмент показаний в табл.4.1). Щодо вибору зазначеної програми, необхідно відзначити, що електронні таблиці Excel вже стали звичним інструментом у вирішенні технічно складних і таких задач, що вимагають великих обчислень.<sup>1</sup>

Використання сучасного комп'ютера і програм такого класу дозволяє досліднику виконати необхідні розрахунки (в тому числі по імітаційно-статистичному моделюванню) в прийнятні терміни і з необхідною точністю.

Фрагмент таблиці показаний нижче (табл. 4.1). Кількість виробів при моделюванні може бути вибрана будь-якою.

У якості контрольованого розміру вибрано діаметр  $D$  прямокутних шліців  $D - 8 \times 46a11 \times 54n6 \times 9f8$ .

Нижче розглянута послідовність моделювання та виконано опис методики з урахуванням прийнятих припущень.

Початкові дані:

- номінальний діаметр  $D = 54$  мм;
- верхнє відхилення  $es = +39$  мкм;
- нижнє відхилення  $ei = +20$  мкм;
- допуск  $Td = 19$  мкм.

<sup>1</sup> Пацера С. Т. Изучение влияния расширенной неопределенности второго рода на риски изготовителя и заказчика методом статистического моделирования / С. Т. Пацера, В. И. Корсун, С. С. Курдюков // Системы обработки информации. - 2006. - Вып. 7. - С. 62-65. - Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi\\_2006\\_7\\_21](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2006_7_21)

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ТММ.КвР.18.07.00.000.ПЗ

Лист

40

Таблиця 4.1 – Фрагменти електронної таблиці імітаційного моделювання процесу виготовлення і контролю валів  $\varnothing 54_{h6}$  (декілька рядків не показано для скорочення обсягу таблиці)

Номери стовпців									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Порядковий номер шліцьового валу	Відхилення діаметру $D$ від номіналу, мкм	Бал придатності валу	Випадкова похибка вимірювання $\Delta d$ , мкм	Дійсне відхилення діаметру $D$ від номіналу, мкм	Бал придатності валу з урахуванням впливу похибки вимірювання	Групи деталей			
						Неправильно забраковані (НЗ)	Правильно забраковані (ПЗ)	Неправильно прийняті (НП)	Правильно прийняті (ПП)
1	27	1	-6	20	1	0	0	0	1
2	38	1	4	42	0	1	0	0	0
3	31	1	5	36	1	0	0	0	1
4	22	1	-4	18	0	1	0	0	0
5	29	1	2	31	1	0	0	0	1

49	39	0	8	47	0	0	1	0	0
50	16	0	5	21	1	0	0	1	0
51	30	1	-2	28	1	0	0	0	1
52	22	1	5	27	1	0	0	0	1
53	28	1	9	37	1	0	0	0	1
54	41	0	7	48	0	0	1	0	0

95	34	1	-8	26	1	0	0	0	1
96	37	1	-3	34	1	0	0	0	1
97	30	1	-5	25	1	0	0	0	1
98	40	0	6	46	0	0	1	0	0
99	28	1	1	29	1	0	0	0	1
100	30	1	7	37	1	0	0	0	1
<b>Всього</b>		<b>95</b>	<b>Всього</b>		<b>68</b>	<b>29</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>66</b>

Схема поля допуску показана на рисунку 4.1.

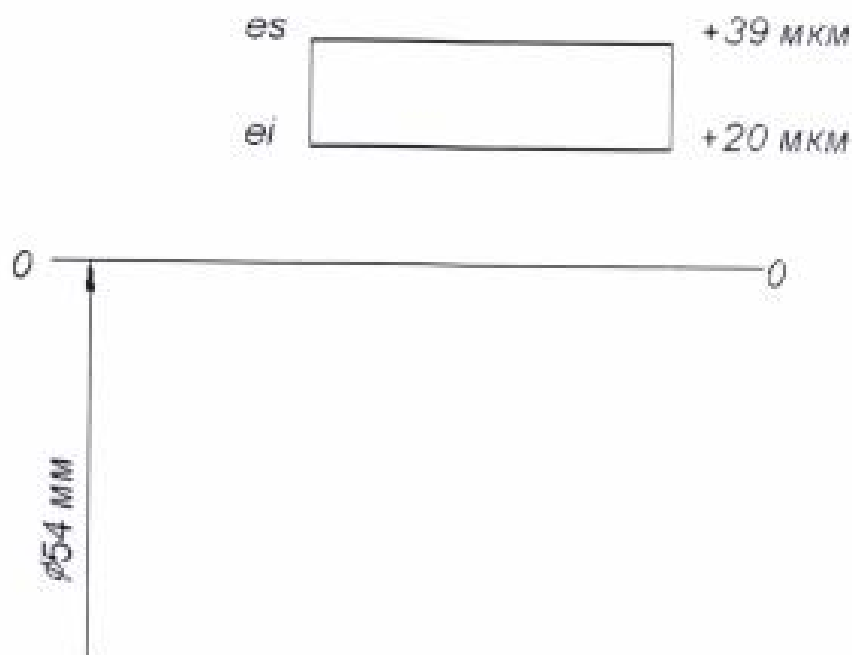


Рисунок 4.1 – Поле допуску на діаметр  $D$  шліцьового валу

Імітаційно-статистична таблиця включає в себе рядки (в кожному з них імітуються номери валів, для яких визначаються відхилення діаметра шліців, результати вимірювань і контролю) і стовпці, в які заносяться результати статистичного моделювання.

Дані в стовпцях 1 і 2 відповідають блоку, в якому реалізовано моделювання відхилення при нульовій похибці вимірювання шліцьового валу при відсутності похибок вимірювання.

Обсяг вибірки для моделювання становив 100 шт.

У стовпці 3, який відповідає блоку, в якому проводилася оцінка придатності шліців за двоохальною шкалою: придатним деталям присвоювався бал  $\beta_i = \langle 1 \rangle$ , а бракованим – відповідно бал  $\beta_i = \langle 0 \rangle$ . Для комп'ютерного заповнення колонки 2 використовувалася логічна формула:

$$IF(eitr \leq es; eitr \geq ei; 1; 0),$$

		[Введіть текст]							Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТММ.КвР.18.07.00.000.ПЗ				42

де  $\epsilon_{\text{дв}}$  - «істинне» значення відхилення (за умови нульової похибки вимірювання). Сума балів (95) в стовпці 3 (див.табл. 4.1) відображає частку (95%) придатних деталей для обраної точності технологічного процесу.

Комп'ютерне моделювання дозволяє моделювати істинне значення (результат вимірювання за нульової похибки), яке в реальних умовах виготовлення досягти неможливо. Для моделювання випадкових значень істинного відхилення використаний пакет аналізу, що входить у склад програми *Microsoft Office Excel*, призначений для вирішення складних статистичних і інженерних задач. У діалоговому вікні з пакету «Анализ данных» – «Генерация случайных чисел» заповнюємо відповідні поля:

- число змінних - 1 (істинне відхилення діаметра шліця);
- число випадкових чисел - 100 (відповідає кількості валів у вибірці);
- *распределение нормальное* (припускаємо, що немає домінуючих факторів, що впливають на відхилення від номінального значення).

Середнє значення відхилення прийнято рівним середині поля допуску, тобто передбачається високий рівень налаштованості технологічного процесу:

$$\frac{\sigma_{\text{дв}}}{\text{мкм}} = \frac{\frac{32}{2} + \frac{20}{2}}{2} = \frac{32 + 20}{2} = 26 \text{ мкм.}$$

Стандартне відхилення, що може бути змодельоване для технологічних процесів, може істотно відрізнитися за рівнем точності:

- зниженої точності, при якій відношення величини поля допуску до стандартного відхилення менше 6;
- нормальної точності, при якій відношення величини поля допуску до стандартного відхилення дорівнює 6;
- підвищеної точності, при якій відношення величини поля допуску до стандартного відхилення більше 6.

У прикладі, наведеному в табл. 4.1, прийнято знижений рівень точності



технології, при якому вказане відношення дорівнює 4 і при цьому стандартне відхилення прийнято рівним

$$T_d/4 = 12/4 = 3 \text{ мкм.}$$

Вивідним інтервалом є стовпець 2.

У стовпці 3 проводиться оцінка придатності виробу по двобальній шкалі: придатним виробам присвоюється бал  $\beta_i = «1»$ , а бракованим відповідно бал  $\beta_i = «0»$ . Придатними є вироби, у яких істинне відхилення лежить в полі допуску. Тоді для комп'ютерного заповнення стовпчика 3 використовується формула

$$\text{ЕСЛИ}(И(e_i \geq e_i^d; e_i \leq e_i^s); 1; 0),$$

де  $e_i$  – істинне відхилення від номінального положення.

Сума балів у стовпчику 2 (95) відображає відсоток придатних деталей при даній точності технології.

У стовпці 4 імітується (моделюється) випадкова похибка вимірювання при використанні обраного засобу вимірювання (штангенциркуль, мікрометр, скоба індикаторна і т.д.) Для моделювання використовується, як і вище, інструмент аналізу EXCEL – «Генерація случайных чисел». При заповненні відповідного діалогового вікна приймаємо:

- число змінних: 1;
- число випадкових чисел: 100;
- розподіл: рівномірний (прямокутний).

Можна імітувати також і інші розподіли.

Для здійснення комп'ютерного моделювання необхідно заповнити вікна діалогового вікна: «від» і «до» (в нашому прикладі  $\Delta \pm 10$  мкм).

У колонці 5 імітується сумарний результат виготовлення і вимірювання, тобто дійсне відхилення від номінального значення (результат вимірювання).

		[Введіть текст]							Лист
Мзм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	TMM.КаР.18.07.00.000.ПЗ				4/4

Для цього проводимо по рядкам підсумовування відповідних елементів таблиці.

У стовпці 6 проводиться оцінка придатності виробу після вимірювання за двобальною шкалою: придатним виробам присвоюється бал  $\beta_d = \langle 1 \rangle$ , а бракованим відповідно бал  $\beta_d = \langle 0 \rangle$ . Придатними є вироби, у яких дійсне відхилення лежить в полі допуску, бал визначається також, як і вище, за формулою:

$$\text{ЕСЛИ}(И(e_d \geq ei; e_d \leq es); 1; 0),$$

де  $e_d$  – дійсне відхилення від номінального положення.

Сума балів (68) в стовпці 6 відображає відсоток придатних деталей при даній точності технології з урахуванням впливу похибки вимірювання

Зіставлення суми балів у стовпцях 2 і 6 наочно демонструє, що похибка вимірювань істотно знизилася відсоток придатних деталей (в розглянутій реалізації на 32%).

Далі проведено аналіз для виявлення відсотків правильно і неправильно забракованих та відсотків правильно і неправильно прийнятих деталей.

Неправильно забраковані деталі повинні мати

«1» – бал в стовпці 3, «0» – бал в стовпці 6. Для їх ідентифікації у стовпці 7 застосована формула

$$\text{ЕСЛИ}(И(\beta_i = 1; \beta_d = 0) 1; 0).$$

Правильно забраковані деталі повинні мати

«0» – бал як в стовпці 3, так і в стовпці 6. Для їх ідентифікації у стовпці 8 застосована формула

$$\text{ЕСЛИ}(И(\beta_i = 0; \beta_d = 0) 1; 0).$$

Неправильно прийняті деталі повинні мати

«0» – бал в стовпці 3, «1» – бал в стовпці 6. Для їх ідентифікації у стовпці 9 застосована формула

$$\text{ЕСЛИ}(И(\beta_i = 0; \beta_d = 1) 1; 0).$$

[Введите текст]					ТММ.КвР.18.07.00.000.ПЗ		Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			45

Для цього проводимо по рядкам підсумовування відповідних елементів таблиці.

У стовпці 6 проводиться оцінка придатності виробу після вимірювання за двобальною шкалою: придатним виробам присвоюється бал  $\beta_d = \langle 1 \rangle$ , а бракованим відповідно бал  $\beta_d = \langle 0 \rangle$ . Придатними є вироби, у яких дійсне відхилення лежить в полі допуску, бал визначається також, як і вище, за формулою:

$$\text{ЕСЛИ}(И(e_d \geq ei; e_d \leq es); 1; 0),$$

де  $e_d$  – дійсне відхилення від номінального положення.

Сума балів (68) в стовпці 6 відображає відсоток придатних деталей при даній точності технології з урахуванням впливу похибки вимірювання

Зіставлення суми балів у стовпцях 2 і 6 наочно демонструє, що похибка вимірювань істотно знизилася відсоток придатних деталей (в розглянутій реалізації на 32%).

Далі проведено аналіз для виявлення відсотків правильно і неправильно забракованих та відсотків правильно і неправильно прийнятих деталей.

Неправильно забраковані деталі повинні мати

«1» – бал в стовпці 3, «0» – бал в стовпці 6. Для їх ідентифікації у стовпці 7 застосована формула

$$\text{ЕСЛИ}(И(\beta_i = 1; \beta_d = 0) 1; 0).$$

Правильно забраковані деталі повинні мати

«0» – бал як в стовпці 3, так і в стовпці 6. Для їх ідентифікації у стовпці 8 застосована формула

$$\text{ЕСЛИ}(И(\beta_i = 0; \beta_d = 0) 1; 0).$$

Неправильно прийняті деталі повинні мати

«0» – бал в стовпці 3, «1» – бал в стовпці 6. Для їх ідентифікації у стовпці 9 застосована формула

$$\text{ЕСЛИ}(И(\beta_i = 0; \beta_d = 1) 1; 0).$$

[Введіть текст]					ТММ.КвР.18.07.00.000.ПЗ		Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			45

Правильно прийняті деталі повинні мати

«1» – бал як в стовпці 3, так і в стовпці 6. Для їх ідентифікації у стовпці 9 застосована формула

$$\text{ЕСЛИ}(И(\beta_i = 1; \beta_o = 1); 1; 0).$$

Сума балів (29, 3, 2, 66) в стовпцях 7, 8, 9, 10 відображає відповідно відсоток правильно забракованих (ПЗ), неправильно забракованих (НЗ), правильно прийнятих (ПП) і неправильно прийнятих (НП) деталей.

Зіставлення суми балів в зазначених шпальтах наочно демонструє, що похибка вимірювання істотно впливає на кількість неправильно забракованих деталей (рис. 4.2).

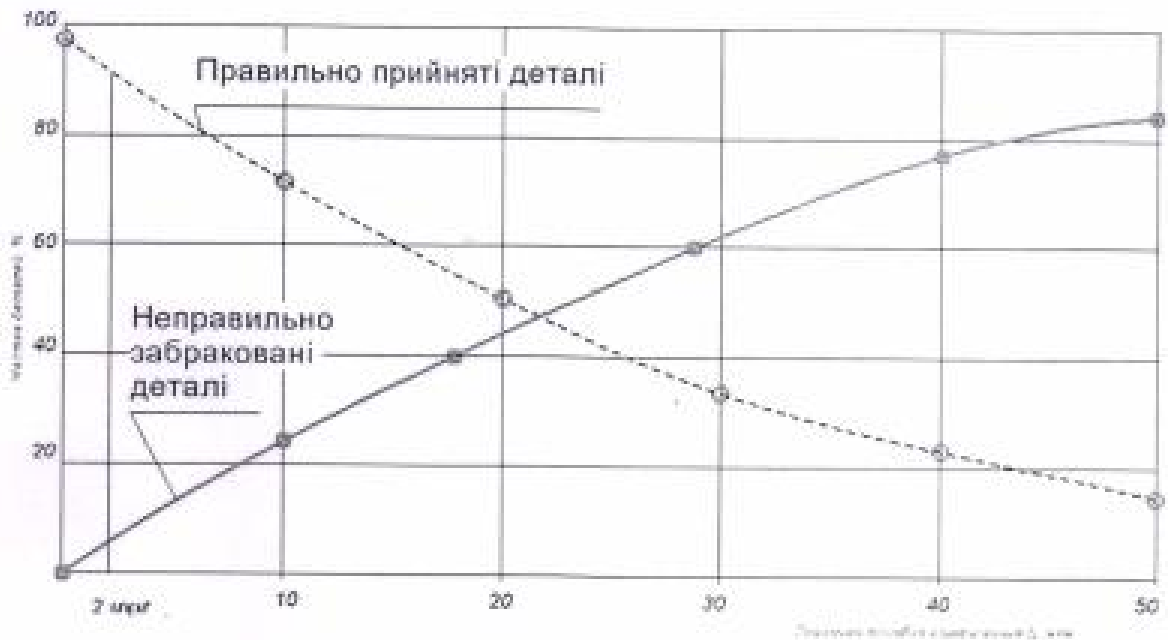


Рисунок 4.2 – Залежність відсотку неправильно забракованих деталей від граничної похибки вимірювальних засобів

Відсоток неправильно забракованих деталей впливає на ризик виробника З наведеного прикладу впливає, що в даному конкретному випадку виробник повинен бути зацікавлений застосувати вимірювальний прилад з меншою











А.А. Ловыгин, Л.В. Твердовский. -М.: ДМК Пресс, 2012. - 179 с.

10. Сосонкин В.Л. Системы числового программного управления / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. – М. : Логос, 2005. – 296 с.

11. Сосонкин В.Л. Методика программирования станков с ЧПУ на наиболее полном полигоне вспомогательных M-функций [Электронный ресурс] /

В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. – 101 с. – Режим доступа: [http://www.mirstan.ru/files/CNC\\_Literature/CNC\\_meth.pdf](http://www.mirstan.ru/files/CNC_Literature/CNC_meth.pdf) (дата звернення: 16.05.17).

12. Медведев Ф.В. Автоматизированное проектирование и производство деталей сложной геометрии на базе программного комплекса Power Solution: Учеб. пособие / Ф.В. Медведев, И.В. Нагаев ; Под общ. ред. А.Г. Громашева. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. – 167 с.

12. Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении / Б.С. Балакшин и др. – М.: «Машиностроение», 1972. – 326 с.

13. Дидык Р.П. Технология горного машиностроения. [Учебник] / Р.П. Дидык, В. А. Жовтобрюх, С.Т. Пацера; Под общей редакцией докт. техн. наук, проф. Дидыка Р.П. - Д. НГУ, 2016. -424 с.

14. Пацера С.Т. Методичні вказівки і завдання до лабораторних робіт з дисципліни "Системно-структурна оптимізація процесів обробки деталей на верстатах з ЧПК" . [Электронный ресурс] навч. посіб. / С.Т. Пацера, В.А. Дербаба, В.В. Проців; Електрон. текст. дані. - Д. : 2017. - 33 с. - Режим доступа: <http://do.nnu.org.ua/mod/resource/view.php?id=31717> - Назва з екрану.

15. Пацера С. Т. Изучение влияния расширенной неопределенности второго рода на риски изготовителя и заказчика методом статистического моделирования / С. Т. Пацера, В. И. Корсун, С. С. Курдюков // Системи обробки інформації. - 2006. - Вип. 7. - С. 62-65. - Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi\\_2006\\_7\\_21](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2006_7_21)

16. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях: учебн. пособие / И.П. Захаров, В.Д. Кукш. – Харьков: Консум, 2002. – 240 с.

										Лист
										60
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата	ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ					

А.А. Ловыгин, Л.В. Твердовский. -М.: ДМК Пресс, 2012. - 179 с.

10. Сосонкин В.Л. Системы числового программного управления / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. – М. : Логос, 2005. – 296 с.

11. Сосонкин В.Л. Методика программирования станков с ЧПУ на наиболее полном полигоне вспомогательных M-функций [Электронный ресурс] /

В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. – 101 с. – Режим доступа: [http://www.mirstan.ru/files/CNC\\_Literature/CNC\\_meth.pdf](http://www.mirstan.ru/files/CNC_Literature/CNC_meth.pdf) (дата звернення: 16.05.17).

12. Медведев Ф.В. Автоматизированное проектирование и производство деталей сложной геометрии на базе программного комплекса Power Solution: Учеб. пособие / Ф.В. Медведев, И.В. Нагаев ; Под общ. ред. А.Г. Громашева. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. – 167 с.

12. Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении / Б.С. Балакшин и др. – М.: «Машиностроение», 1972. – 326 с.

13. Дидык Р.П. Технология горного машиностроения. [Учебник] / Р.П. Дидык, В. А. Жовтобрюх, С.Т. Пацера; Под общей редакцией докт. техн. наук, проф. Дидыка Р.П. - Д. НГУ, 2016. -424 с.

14. Пацера С.Т. Методичні вказівки і завдання до лабораторних робіт з дисципліни "Системно-структурна оптимізація процесів обробки деталей на верстатах з ЧПК" . [Електронний ресурс] навч. посіб. / С.Т. Пацера, В.А. Дербаба, В.В. Проців; Електрон. текст. дані. - Д. : 2017. - 33 с. - Режим доступу: <http://do.nnu.org.ua/mod/resource/view.php?id=31717> - Назва з екрану.

15. Пацера С. Т. Изучение влияния расширенной неопределенности второго рода на риски изготовителя и заказчика методом статистического моделирования / С. Т. Пацера, В. И. Корсун, С. С. Курдюков // Системи обробки інформації. - 2006. - Вип. 7. - С. 62-65. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi\\_2006\\_7\\_21](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2006_7_21)

16. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях: учебн. пособие / И.П. Захаров, В.Д. Кукш. – Харьков: Консум, 2002. – 240 с.

									Лист
									60
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата	ТММ.КвР.18.07. 00. 000. ПЗ				

						1	
НТУ «Дніпровська політехніка»		КВР.ТММ.131-17-13.07.000ПЗ					
Вал						КвР	

«Затверджено»

Головний інженер ( )  
« » 2018 р.

ДОДАТОК А

# ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ

ВАЛ

УЗГОДЖЕНО:

Метрол. контроль ( )

Вед. технолог ( )

Н. контроль ( )

Гол. спеціаліст ( )

Нач. техбюро ( )

Розробник. (Джурко)

Акт № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

Підпис \_\_\_\_\_





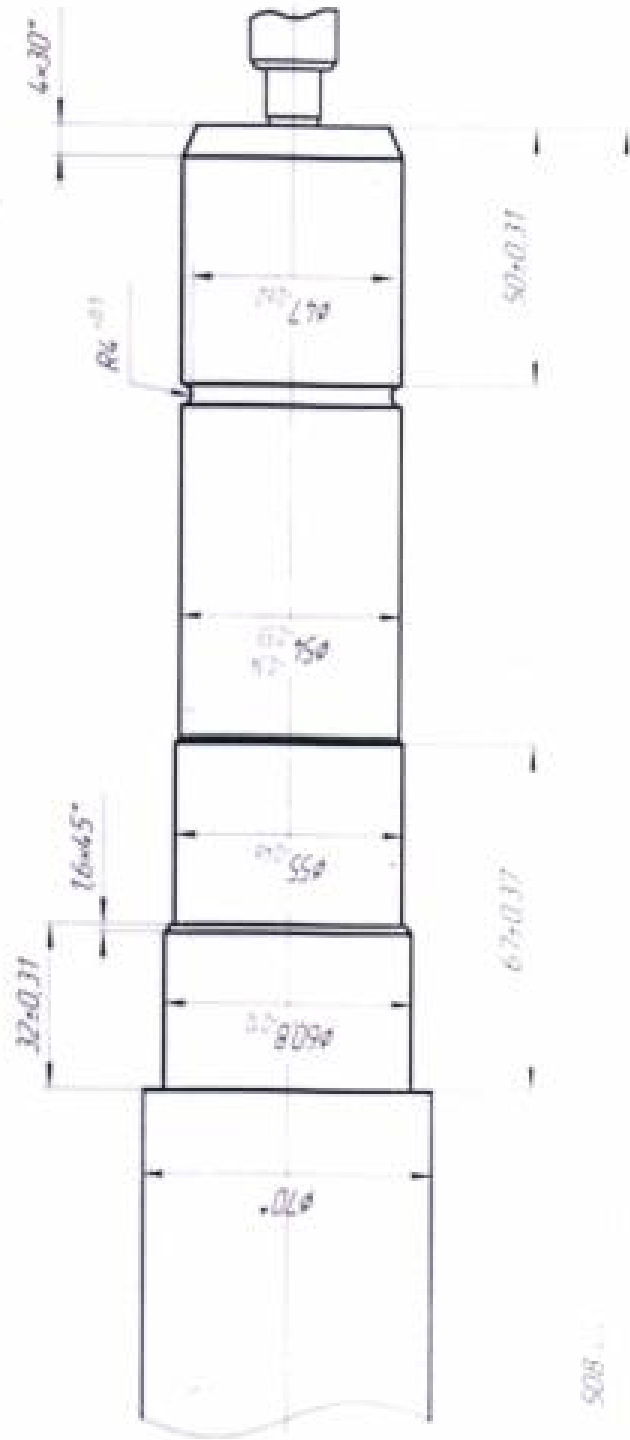


										5	
КВР.ТММ.131-17-13.07.00013										10	
P	01		III	Д, мм	l, мм	i	S мм/об	п об/хв	V м/хв		
O	02	Установ III									
O	03	4. Обробити начисто по програмі поверхні зі сторони правого торцю: шійку вала Ø60k6 до Ø60,4; шійку вала Ø54 до Ø54,4.									
T	04	Інструмент TасuTес: Державки TCLNL 2525M12, Пластини CNMG 120412 PC TT8115									
P	05						0,4			350	
	06										
O	07										
T	08										
P	09										
	10	Установ IV									
O	11	5. Обробити начисто по програмі поверхні зі сторони лівого торцю: шійку вала Ø60k6 до Ø60,4; шійку вала Ø54 до Ø54,4.									
T	12	Інструмент TасuTес: Державки TCLNL 2525M12, Пластини CNMG 120412 PC TT8115									
P	13						0,4			350	
	14										
O	15										
T	16	6. Відкрити і зняти деталь									
P	17										
O	19										

OK

55

Розроб	Джурко	НТУ «Дніпровська політехніка»		КВР.ТММ.131-17-14.07.000013	6
Норм		Вал			010



508

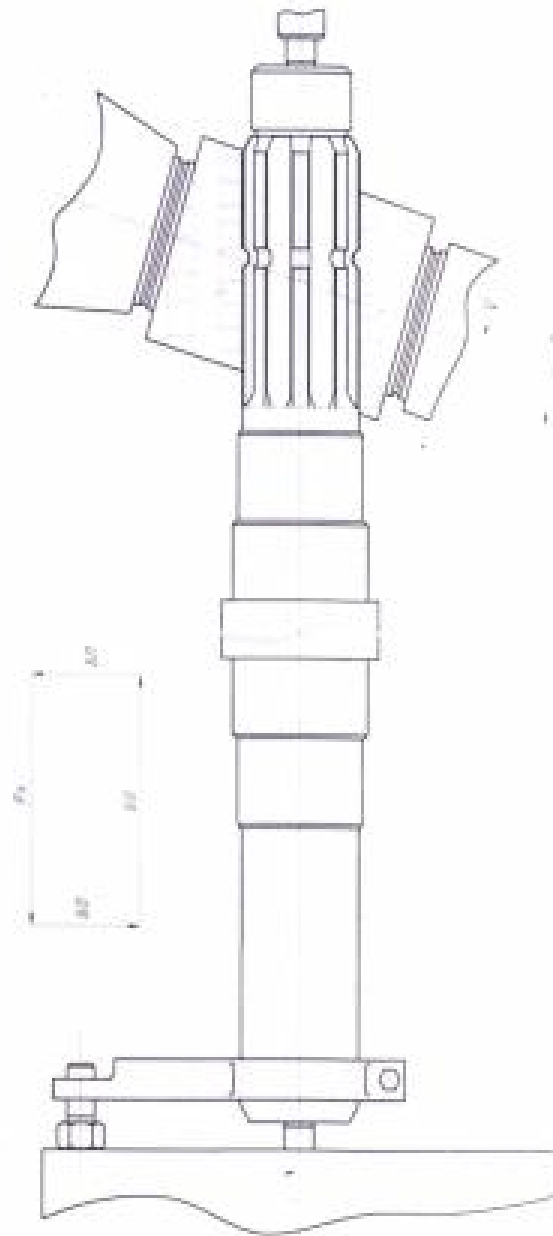


Розроб	Джурюк				КВР.ТММ.131-17-13.07.000ПЗ				7
Норм					НТУ «Дніпровська політехніка»				
<b>Вал</b>									
Найменування операції		Матеріал		Твердість	ЕВ	МД	Профіль в розмірі		МЗ
Шлісфрезерна з ЧПК		Сталь 40Х ГОСТ 4543-71		210-245НВ	кг	10,5	Ø70x512		15,4
Устаткування, система ЧПК		Позначення програми		T <sub>0</sub>	T <sub>д</sub>	T <sub>ш</sub>	Типтк		СОЖ
5А352ПФ2 - Напівавтомат шлісфрезерний горизонтальний з ЧПК				7,12	1,2	1,33	9,98		5% Укрінол-1 ТУ38-101197-76
P			ПШ	Д чи В, мм	L, мм	i	i	S, мм/хв	V, м/хв
O 01	1. Встановити, затиснути заготовку								
T 02	396181, Патрон трьохкулачковий								
O 03	Установ І								
O 04	Фрезерувати 8 шліців, вигризуючи розміри зубців зі сторони правого торця.								
T 05	Фреза спеціальна Р6М5 (проект); Комплект вимірювального інструменту: Штангенциркуль 0-150 ГОСТ 166-89, Скоба індикаторна								
P 06							2	10	15
O 07									
O 08	Установ ІІ								
O 09	Фрезерувати 8 шліців, вигризуючи розміри зубців зі сторони лівого торця								
T 10	Фреза спеціальна Р6М5 (проект); Комплект вимірювального інструменту: Штангенциркуль 0-150 ГОСТ 166-89, Скоба індикаторна								
P 11							2	10	15
O 12	6. Відкрити і зняти деталь.								

OK

54

										8	
Розроб	Джурко			НТУ «Дніпровська політехніка»		КВР.ТММ.131-17-13.07.000ПЗ					
Норм											
										020	
Вал											



Розроб	Джурко				КВР.ТММ.131-17-11.07.000ПЗ				9		
Норм					НТУ «Дніпровська політехніка»						
<b>Вал</b>											
	Найменування операції			Матеріал	Твердість	ЕВ	МД	Профіль в розміри		МЗ	КООД
	Шліфшліфувальна з ЧПК			Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	210-245НВ	кг	10,5	Ø70x512		15,4	1
	Устаткування, система ЧПК			Позначення програми	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>in</sub>	Тштк		СОЖ	
	Шліфшліфувальний верстат з ЧПК ВЗ-729Ф4				5,41	1,05	1,42	8,14		5% Укрінол-1 ТУ38-101197-76	
P	1. Встановити, записати заготовку			ПН	Д, чп В, мм	L, мм	i	i	S, мм/об	п, об/хв	V, м/хв
T	Пристосування,										
O	Установ I										
O	2. Шліфувати 8 шліців, витримуючи бокові розміри зубців, зі сторони правого торцю.										
T	Круг шліфувальний										
P											
07											
08	Установ II										
O	3. Шліфувати 8 шліців, витримуючи бокові розміри зубців, зі сторони лівого торцю.										
T	Круг шліфувальний 23A50HSM27K1 (D <sub>к</sub> = 600 мм B <sub>к</sub> = 23)										
P											
12											50 м/с
O	4. Відкрити і зняти деталь										







Додаток Б.

Фрагмент програми механічної обробки деталі Вал на верстаті з ЧПК

%	
O0001	
N2 G90	N17 G00 X63.4
N3 G40	N18 G01 Z-113.80
N4 S500 F0.35	N19 G01 X66.4
N5 M03	N20 G00 Z2.7
N6 G00 X100.0 Z20.0	N21 G00 X60.4
N7 T001	N22 G01 Z-113.80
N8 G00 X72.4 Z2.7	N23 G01 X63.4 Z-112.30
N9 G00 X69.4	N24 G00 Z2.7
N10 G01 Z-148.80	N25 G00 X57.4
N11 G01 X72.4	N26 G01 Z-81.80
N12 G00 Z2.7	N27 G01 X60.4
N13 G00 X66.4	N28 G00 X72.4 Z2.7
N14 G01 Z-148.80	N29 G00 X100.0 Z20.0
N15 G01 X69.4 Z-147.30	N30 M05
N16 G00 Z2.7	N31 M30
	%

# ДОДАТОК В

## КОПІ АРКУШІВ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ

ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ ЗАВОД

ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ ЗАВОД

Фронтальний вигляд

Бічний вигляд

Вигляд з боку

Вид з боку

1. Назва: Штанга з шестом, що виконана з сталі 45.

2. Назва: Штанга з шестом, що виконана з сталі 45.

3. Назва: Штанга з шестом, що виконана з сталі 45.

4. Назва: Штанга з шестом, що виконана з сталі 45.

5. Назва: Штанга з шестом, що виконана з сталі 45.

6. Назва: Штанга з шестом, що виконана з сталі 45.

7. Назва: Штанга з шестом, що виконана з сталі 45.

8. Назва: Штанга з шестом, що виконана з сталі 45.

9. Назва: Штанга з шестом, що виконана з сталі 45.

10. Назва: Штанга з шестом, що виконана з сталі 45.

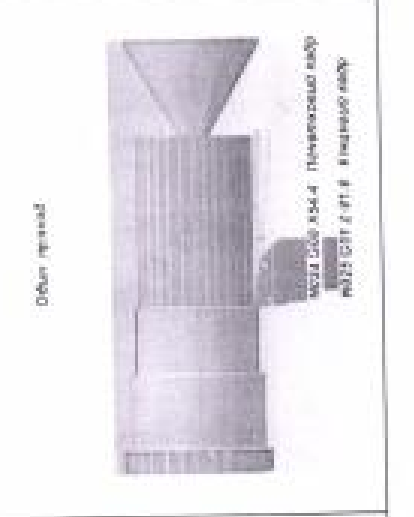
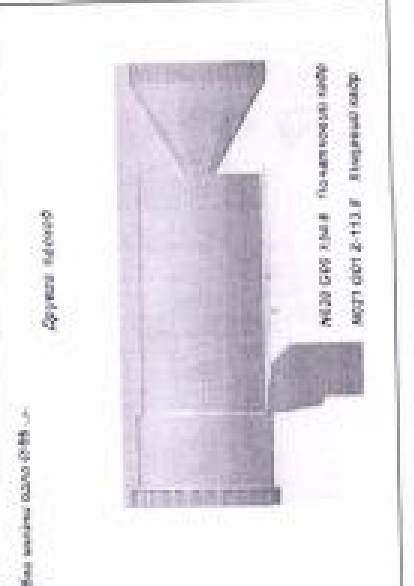
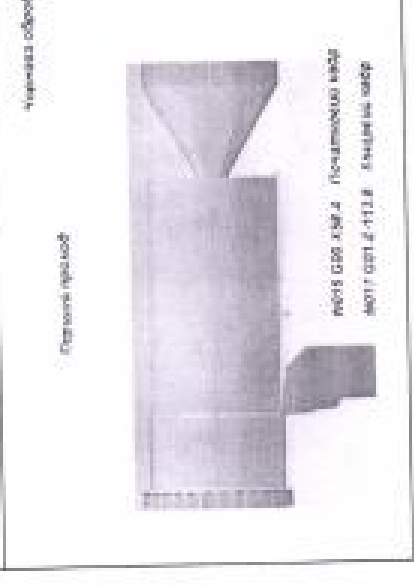
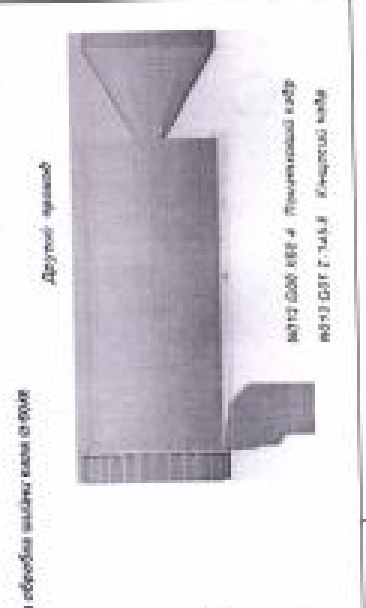
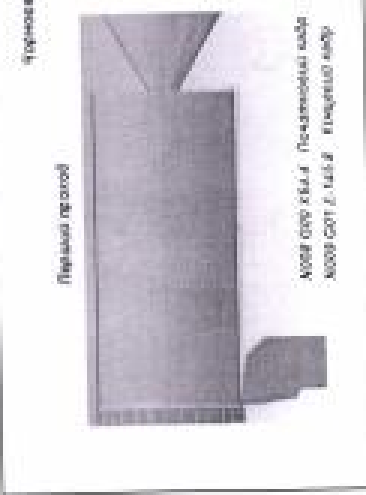
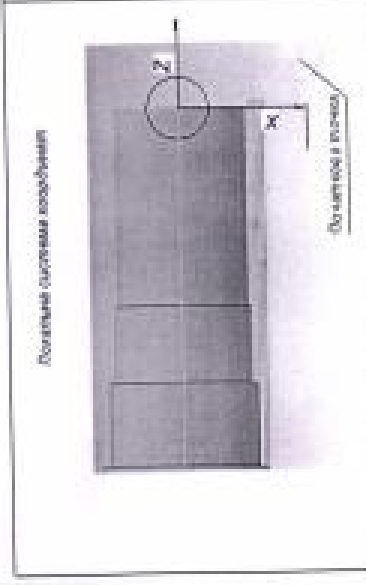
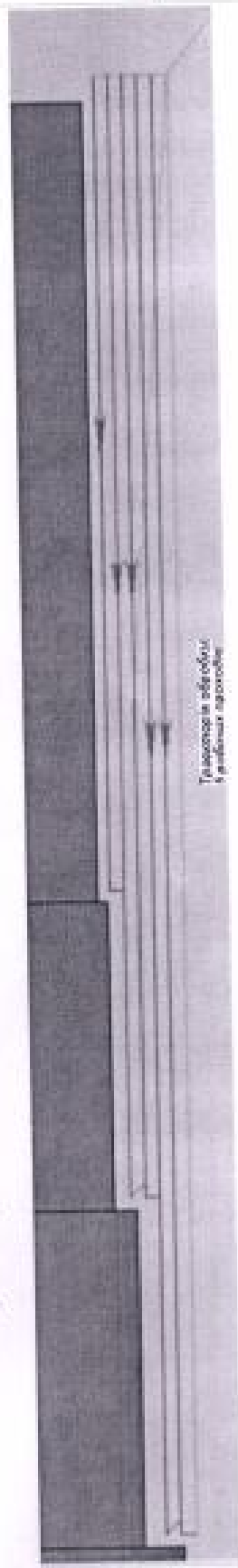
Лист №		Лист №		Лист №	
1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102





# ТЕХНОЛОГІЧНІ НАЛАГОДЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ САМ-МОДУЛЯ

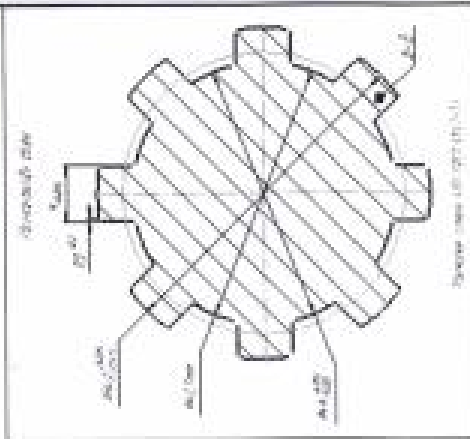
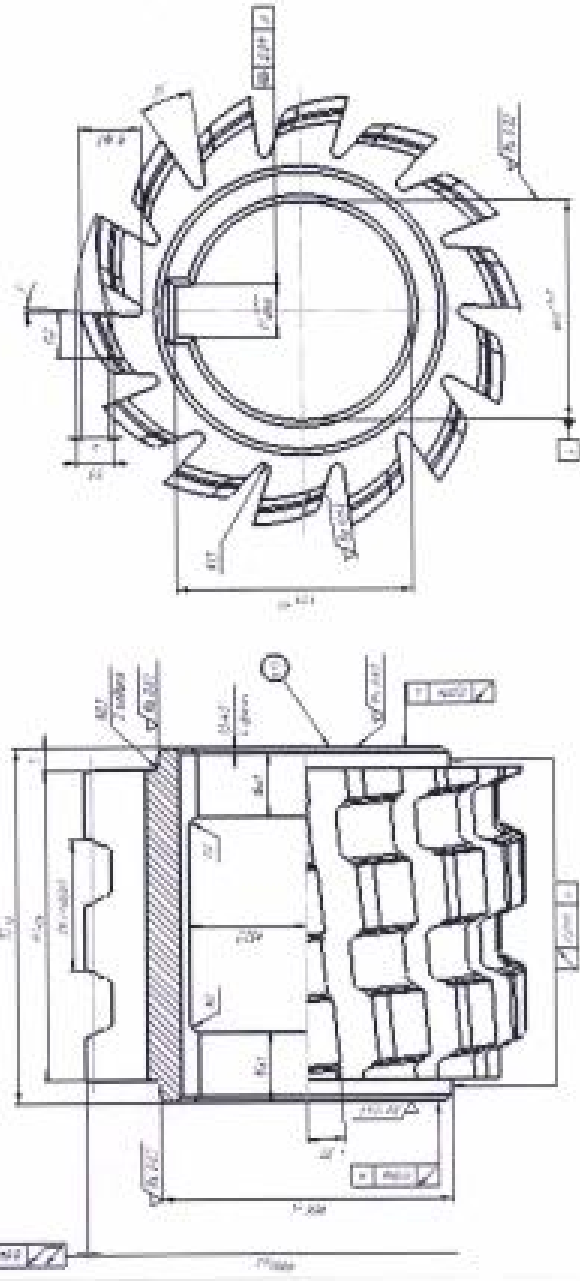
Токарна обробка на верстаті з ЧПК  
 Візуалізація та верифікація кадрів програми для робочих проходів чорнового точіння



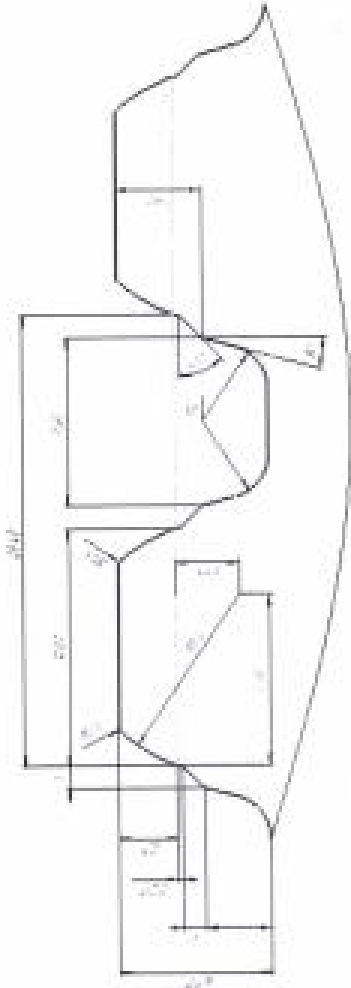
Сделайте чертеж

№ 22/21

№ п/п	№ задания	№	№
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10



Чертеж зубчатого колеса с червяком



1. Сделать чертеж зубчатого колеса с червяком.
2. Сделать чертеж зубчатого колеса с червяком.
3. Сделать чертеж зубчатого колеса с червяком.
4. Сделать чертеж зубчатого колеса с червяком.
5. Сделать чертеж зубчатого колеса с червяком.
6. Сделать чертеж зубчатого колеса с червяком.
7. Сделать чертеж зубчатого колеса с червяком.
8. Сделать чертеж зубчатого колеса с червяком.

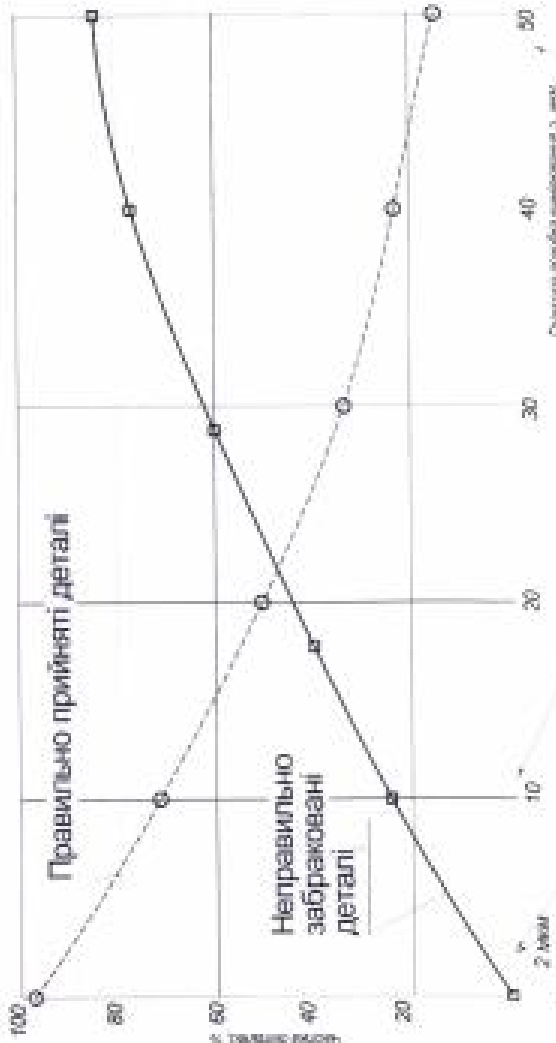
№ п/п	№ задания	№	№
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10

# СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ Імітаційно-статистичне моделювання контрольно-вимірвальних процедур

ГОСТ 17009 (ІСО)

$\phi 54n6 \begin{matrix} +0,039 \\ +0,020 \end{matrix}$

$es = +39 \text{ мкм}$        $ei = +20 \text{ мкм}$        $IT = 19 \text{ мкм}$



## ДОПУЩЕННЯ

Нормальний закон розподілу для вимірювань діаметру валу

Рівномірний закон розподілу для вимірювань частоти вальних зубців вкочована

Функція розподілу таблиці вимірювань моделювання процесу встановлення контролю діаметру 2 шліфового валу (Лист розрахунок прикладно) для сортування об'єкту таблиці

i	Кількість спостережень									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	27	1	4	18	1	0	0	0	1	0
2	38	1	4	42	0	1	0	0	0	0
3	81	1	5	98	1	0	0	0	1	1
4	32	1	4	18	0	1	0	0	0	0
5	28	1	1	33	1	0	0	0	0	1

89	89	0	0	47	0	0	1	0	0	0
90	88	0	1	21	1	0	0	1	0	0
91	80	1	7	28	1	0	0	0	1	1
92	32	1	5	37	1	0	0	0	0	1
93	28	1	0	37	1	0	0	0	0	1
94	41	0	7	40	0	0	1	0	0	0

95	84	1	4	28	1	0	0	0	0	1
96	37	1	0	34	1	0	0	0	0	1
97	50	1	0	25	1	0	0	0	1	1
98	60	0	6	46	0	0	1	0	0	0
99	28	1	1	29	1	0	0	0	0	1
100	30	1	1	37	1	0	0	0	0	1
Σ (контр.)	97	Σ (контр.)	88	Σ (контр.)	79	Σ (контр.)	7	Σ (контр.)	7	Σ (контр.)

Координатно-вимірвальна машина



## Відгук керівника кваліфікаційної роботи

Кваліфікаційна робота Джурко Марка Олеговича виконана на актуальну тему: Аналіз альтернативних варіантів механічної обробки валу та імітаційно-статистичне моделювання контрольно-вимірювальних процедур.

Тема кваліфікаційної роботи розкрита в чотирьох розділах: аналітичному, технологічному, конструкторському, спеціальному. В аналітичному розділі розглянуто призначення деталі Вал та показано, що конструкція деталі є технологічною.

В технологічному розділі для токарних робіт застосовано сучасний токарний верстат з ЧПК із протишпінделем моделі *UT-300SM*. Для фрезерування прямобічних шліців застосовано напівавтомат шліцефрезерний з ЧПК моделі *5A352ПФ*.

Високі оберти токарного шпінделя при одночасному застосуванні прогресивного твердосплавного ріжучого інструменту фірми *TaeguTec* дозволили обробляти поверхні  $\varnothing 60k6$  та  $\varnothing 54h6$  тонким високо обертовим точінням замість шліфування.

Вказані особливості технології дозволили скоротити номенклатуру верстатів на 2 одиниці при одночасному підвищенні точності обробки деталі на сучасних верстатах з ЧПК в порівнянні з універсальними верстатами.

В спеціальному розділі виконано комп'ютерне імітаційно-статистичне моделювання вимірювально-контрольних операцій геометричних параметрів та одержані залежності рівня бездефектності продукції від граничної похибки вимірювального засобу.

Кваліфікаційній роботі притаманні органічний зв'язок змісту пояснювальної записки з графічною частиною та наявність посилань на джерела інформації, логічна послідовність викладу матеріалу. Кваліфікаційна робота заслуговує оцінки «відмінно».

Керівник кваліфікаційної роботи

професор



Пацера С.Т.