

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра ТАМ

Магістерська кваліфікаційна робота  
за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка»  
*на тему:*

**Удосконалення технологічного процесу механічної  
обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня»**

***Виконав:** ст. гр. ІТМ-16м з/в*

*Курилець А. В.*

***Керівник:** к.т.н., доц. каф. ТАМ*

*Дусанюк Ж. П.*

## Мета і завдання роботи

**Метою магістерської кваліфікаційної роботи** (МКР) є удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня» з урахуванням сучасних досягнень, передових технологій та нових методів обробки подібних заготовок, що забезпечує необхідну якість та знижує вартість продукції.

При цьому повинні бути вирішені такі **завдання**:

- варіантний вибір способу виготовлення заготовки;
- розробка варіантів маршруту механічної обробки з використанням сучасних верстатів з ЧПК та вибір кращого з них;
- призначення оптимальних режимів різання;
- аналіз впливу факторів процесу різання на точність обробки;
- визначення технічних норм часу;
- проектування технологічного оснащення;
- розрахунок кількості обладнання та працівників дільниці;
- проектування дільниці механічної обробки;
- розрахунок економічної доцільності впровадження удосконаленого ТП;
- розробка заходів з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення деталей типу «Вал-шестерня».

**Предмет дослідження** – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі «Вал-шестерня».

# Наукова новизна, практичне значення одержаних результатів

## **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Удосконалено технологічний процес механічної обробки деталі типу «Вал-шестерня» з використанням високопродуктивного сучасного обладнання.

2. Дістало подальший розвиток математичне планування повного трифакторного експерименту для дослідження впливу подачі, глибини різання і головного кута різця в плані на точність обробки діаметральної поверхні деталі типу «Вал-шестерня».

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня» та дільниці для його реалізації. При цьому запропоновані такі нові рішення:

- обґрунтовано вибрано оптимальний варіант виготовлення заготовки деталі «Вал-шестерня»;
- розроблено технологічний процес механічної обробки, економічні розрахунки підтвердили доцільність впровадження удосконаленого технологічного процесу;
- встановлено вплив режимів процесу різання (подачі, глибини), а також геометрії інструмента (головного кута в плані) на точність обробки деталі «Вал-шестерня» за допомогою математичного планування експерименту;
- для удосконаленого ТП встановлено кількість необхідного обладнання, працюючих.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення й результати роботи доповідалися й обговорювалися на XLVI науково-технічній конференції підрозділів ВНТУ (м. Вінниця, ВНТУ, 22-24 березня 2017 р.)

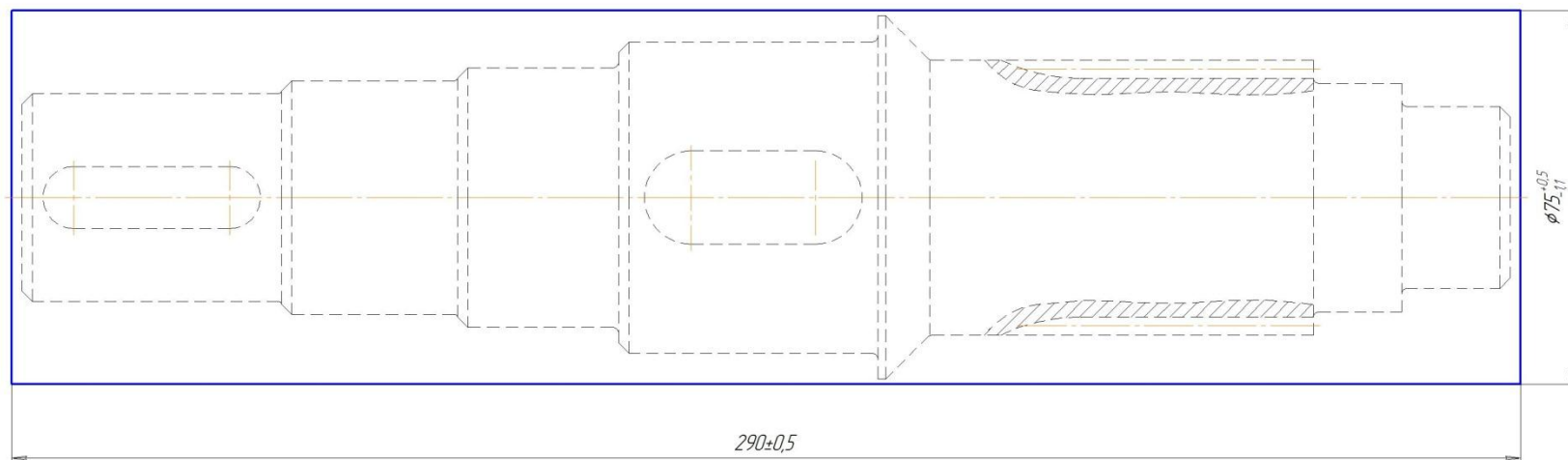
## **Публікації.** Оpubліковано теза доповіді:

- Аналіз впливу факторів процесу різання на точність обробки за допомогою математичного планування експерименту [Електронний ресурс] / Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, О. В. Паславська, А. В. Курилець, М. І. Устич // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22-24 березня 2017 р. – Електрон. текст. дані. – 2017. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/2884>.



08-26.МКР.003.00.002

Ra 12,5 (✓)



1. Питомая кривизна 1,5 мкм/мм.

08-26.МКР.003.00.002				Лист	Масса	Масштаб
Изм. Лист	№ докум.	Лист	Листа		9,988	2:1
Разработ.	Куримець А.В.					
Проект.	Дисанюк Ж.Г.					
Технический						
Начертано	Сабилжак В.В.			Лист 1	Листов 1	
Утверждено	Козлов Л.Г.			ВНТУ		
				ст. гр. 11М-16м		
				Формат А2		

Копирован

Формат А2

Лист, номер

Сторона, №

Лист, и дата

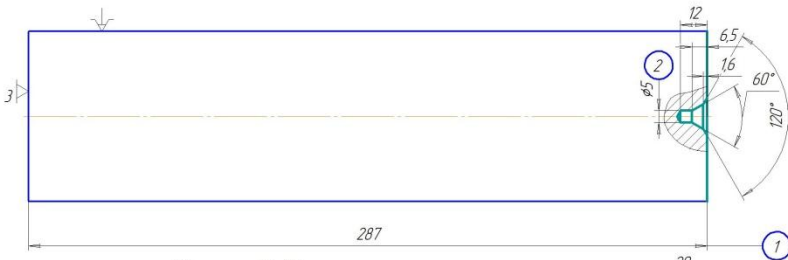
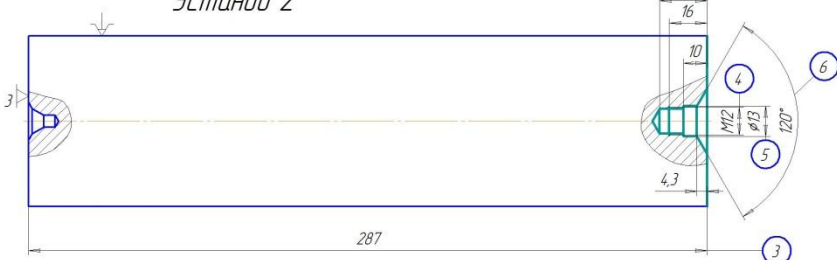
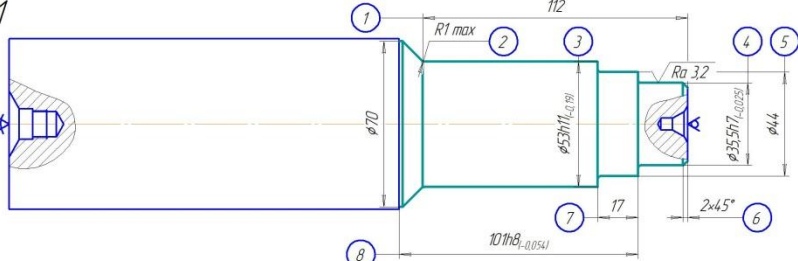
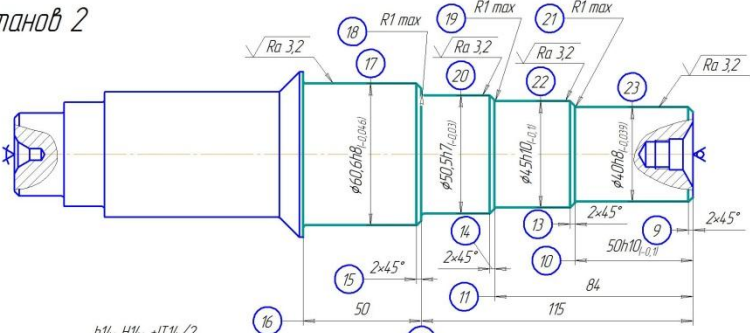
Лист, № докум.

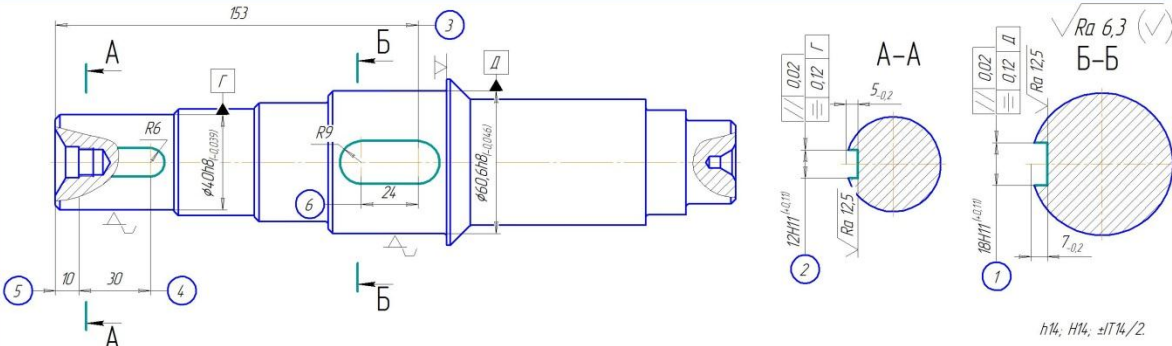
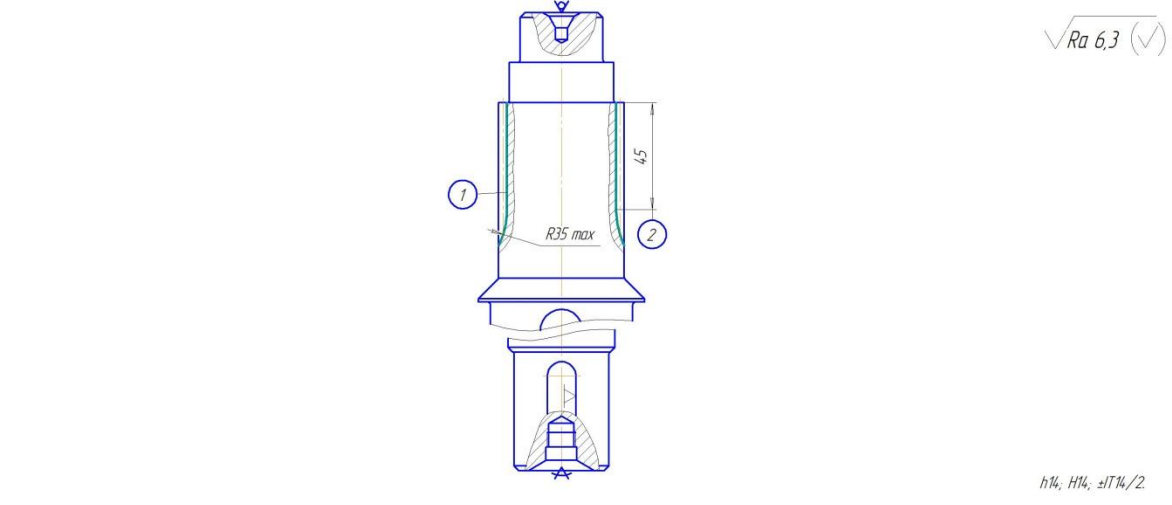
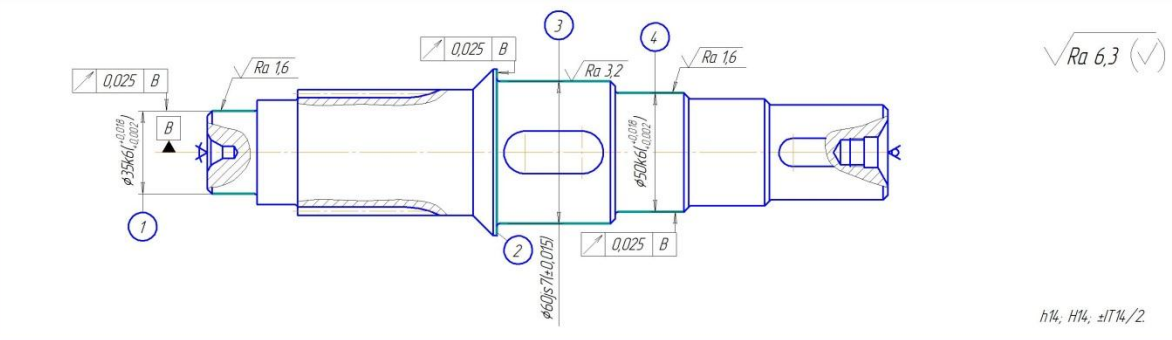
Лист, и дата

Лист, и дата

Лист, № докум.

# Маршрут механічної обробки

№ операції	Операції і переходи	Ескіз обробки, схема установки	Тип обладнання
005	<p>Токарна з ЧПК</p> <p><i>Установ 1</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Точити торець 1 однократно.</li> <li>3. Центрувати отвір 2.</li> <li>4. Переустановити деталь.</li> </ol> <p><i>Установ 2</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Точити торець 3 однократно.</li> <li>6. Центрувати отвір 4.</li> <li>7. Свердлити отвір 4.</li> <li>8. Розвердлити отвір 5.</li> <li>9. Зенкувати фаску 6.</li> <li>10. Нарізати різьбу в отворі 4.</li> <li>11. Зняти деталь.</li> </ol>	<p><i>Установ 1</i></p>  <p><i>Установ 2</i></p>  <p>Ра 6,3</p> <p>h14, H14, ±IT14/2</p>	Токарний верстат з ЧПК 16К20Т1
010	<p>Токарна з ЧПК</p> <p><i>Установ 1</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Точити по контуру пов. 1, 2, 5, 6, 7 однократно 3, 4, 8 попередньо.</li> <li>3. Точити по контуру пов. 4 попередньо 3, 8 остаточно.</li> <li>4. Точити пов. 4 остаточно.</li> <li>5. Переустановити деталь.</li> </ol> <p><i>Установ 2</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Точити по контуру пов. 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 21 однократно, 10, 17, 20, 22, 23 попередньо.</li> <li>7. Точити по контуру пов. 20, 23 попередньо 10, 17, 22 остаточно.</li> <li>8. Точити пов. 17, 20, 23 остаточно.</li> <li>9. Зняти деталь.</li> </ol>	<p><i>Установ 1</i></p>  <p><i>Установ 2</i></p>  <p>Ра 3,2</p> <p>h14, H14, ±IT14/2</p>	Токарний верстат з ЧПК 16К20Т1

№ операції	Операції і переходи	Ескіз обробки, схема установки	Тип обладнання
015	<p>Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати пов. 1 однократно витримуючи розміри 3 та 6.</li> <li>3. Фрезерувати пов. 2 однократно витримуючи розміри 4 та 5.</li> <li>4. Зняти деталь.</li> </ol>	 <p>h14, H14, ±IT14/2</p>	Вертикально-фрезерний верстат 6Р13РФЗ
020	<p>Зубофрезерна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати зубчастий вінець 1 витримуючи розмір 2 однократно.</li> <li>3. Зняти деталь.</li> </ol>	 <p>h14, H14, ±IT14/2</p>	Зубофрезерний верстат 532
025	<p>Токарна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Точити пов. 1 попередньо.</li> <li>3. Точити пов. 1 остаточно.</li> <li>4. Точити пов. 2, 3 однократно.</li> <li>5. Точити пов. 4 попередньо.</li> <li>6. Точити пов. 4 остаточно.</li> <li>7. Зняти деталь.</li> </ol>	 <p>h14, H14, ±IT14/2</p>	Токарний верстат з ЧПК МК6801ФЗ







## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ НА ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

**Мета роботи** – дослідження впливу факторів процесу різання на точність обробки діаметрального розміру під впливом сил різання за допомогою математичного планування експерименту.

Планування експерименту і побудова математичної моделі у разі повного факторного експерименту включає декілька **етапів** роботи:

- встановлення граничних значень та нульового рівня факторів;
- вибір матриці планування експерименту;
- проведення експериментальних дослідів;
- розрахунок коефіцієнтів та побудова математичної моделі;
- статистичний аналіз математичної моделі.

Розглядається деталь «Вал-шестерня» зовнішня діаметральна поверхня якої обробляється точінням на токарному верстаті. Аналізується вплив наступних факторів: величини подачі  $S$ , глибини різання  $t$  і головного кута різця в плані  $\varphi$  на точність обробки діаметральної поверхні  $d$ .

Таблиця 1 – Рівні факторів

Рівні факторів	$S$ , мм/об	$t$ , мм	$\varphi$ , град
	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Основний	0,5	2	60
Інтервал варіювання	0,25	1,5	15
Верхній	0,75	3,5	75
Нижній	0,25	0,5	45

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ НА ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ (продовження)

Для оцінки впливу обраних факторів на параметр оптимізації і математичного опису розглядуваного процесу математична модель має вигляд

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \quad (1)$$

Таблиця 2 – Матриця планування повного трифакторного експерименту

Номер дослідів	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$	Результати дослідів $\bar{y}$ , мкм
1	+	-	-	-	+	+	+	-	58,3
2	+	+	-	-	-	-	+	+	55,3
3	+	-	+	-	-	+	-	+	85,7
4	+	+	+	-	+	-	-	-	124,7
5	+	-	-	+	+	-	-	+	50,0
6	+	+	-	+	-	+	-	-	56,7
7	+	-	+	+	-	-	+	-	55,3
8	+	+	+	+	+	+	+	+	107,0

Після розрахунку всіх коефіцієнтів і нехтування статистично незначущих коефіцієнтів отримано

$$\hat{y} = 74,1 + 11,8x_1 + 19,1x_2 - 6,9x_3 + 10,9x_1x_2 + 2,8x_1x_3 - 5,2x_2x_3, \quad (2)$$

або у розгорнутому вигляді з використанням натуральних значень факторів

$$\hat{y} = 74,1 + 11,8 \frac{S-0,5}{0,25} + 19,1 \frac{t-2}{1,5} - 6,9 \frac{\varphi-60}{15} + 10,9 \left( \frac{S-0,5}{0,25} \right) \left( \frac{t-2}{1,5} \right) + 2,8 \left( \frac{S-0,5}{0,25} \right) \left( \frac{\varphi-60}{15} \right) - 5,2 \left( \frac{t-2}{1,5} \right) \left( \frac{\varphi-60}{15} \right). \quad (3)$$

Оскільки  $F_p = 0,131 \leq F_{табл} = 4,49$ , то модель є адекватною.

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ НА ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ (продовження)

Висновки.

1. Проведено повний трифакторний експеримент і побудовано математичну модель залежності переміщення осі заготовки (точності обробки зовнішнього діаметрального розміру вала  $d$ ) від таких параметрів, як подача  $S$ , глибина різання  $t$  і головний кут різця в плані  $\varphi$ .

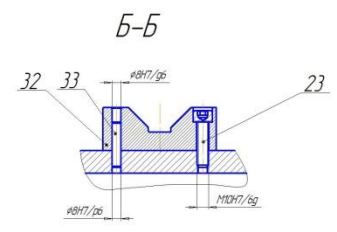
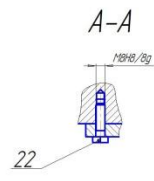
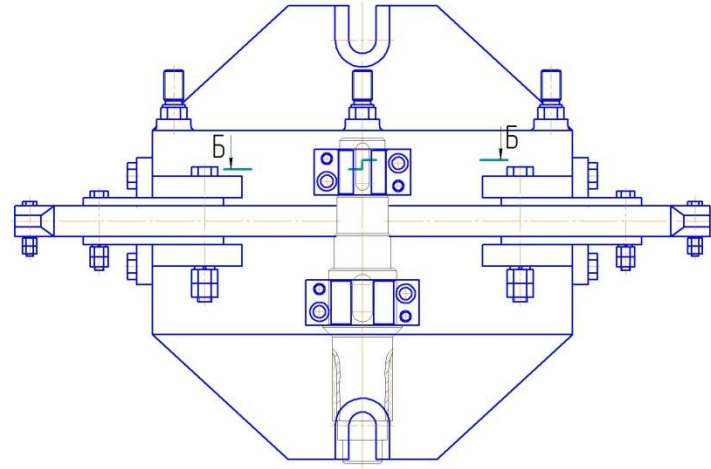
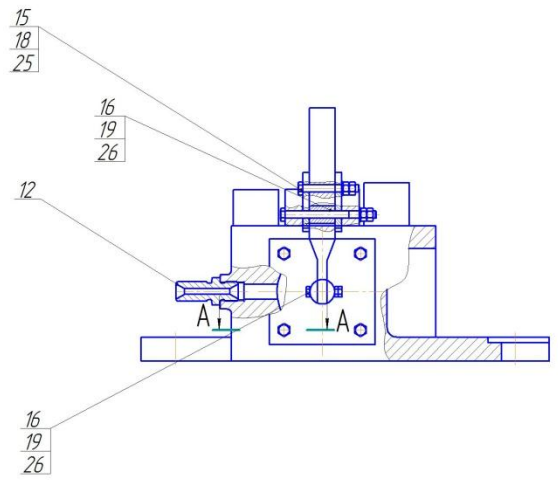
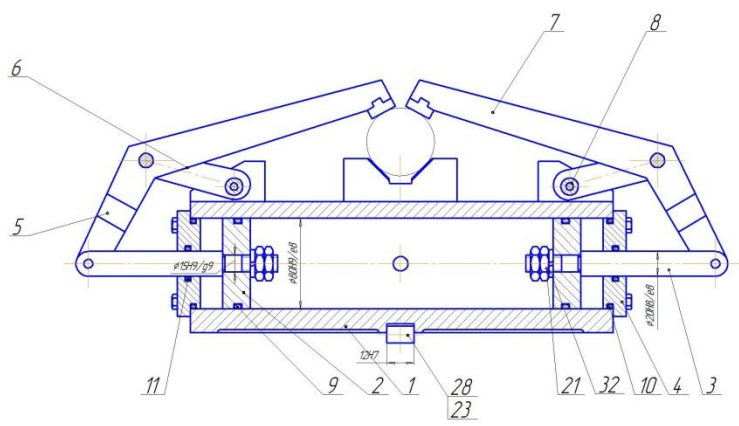
2. Отримана математична модель підтверджує значущість впливу вибраних факторів  $S$  ( $x_1$ ),  $t$  ( $x_2$ ) і  $\varphi$  ( $x_3$ ), а також ефектів взаємодії  $S$  і  $t$  ( $x_1x_2$ ),  $S$  і  $\varphi$  ( $x_1x_3$ ), а також  $t$  і  $\varphi$  ( $x_2x_3$ ).

3. Виявлено, що зі збільшенням подачі  $S$  і глибини різання  $t$  переміщення осі заготовки зростає, оскільки коефіцієнти  $b_1$  і  $b_2$  вийшли додатними, відповідно, точність обробки вала знижується. При цьому більший вплив в діапазоні вибраних рівнів варіювання факторів має глибина різання  $t$  ( $b_2 > b_1$ ).

При збільшенні головного кута різця в плані  $\varphi$  зміщення осі заготовки зменшується (коефіцієнт  $b_3$  – від'ємний), але вплив цього фактора менш значний, ніж вплив подачі  $S$  і глибини різання  $t$ , оскільки  $b_3 < b_1 < b_2$ .

4. Адекватність визначеної залежності для розглядуваного діапазону рівнів факторів підтверджена за критерієм Фішера ( $F_p = 0,131 \leq F_{табл} = 4,49$ ).

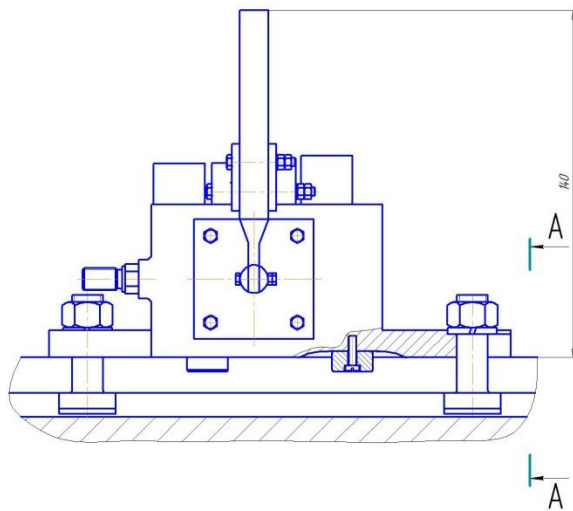
08-26.МКР.003.01.000 СК



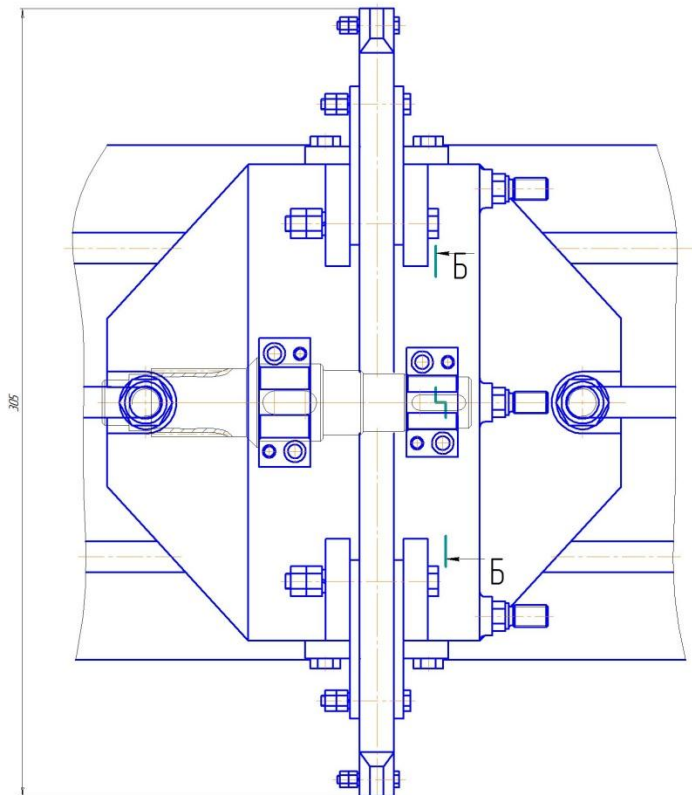
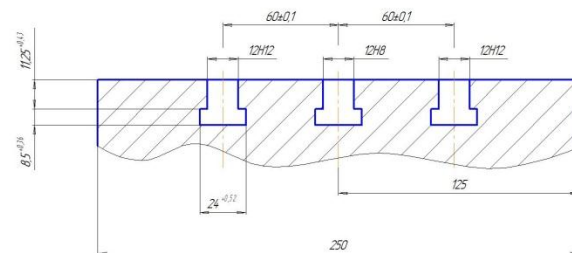
- 1. Розміри обробленої заготовки, мм  
діаметр 46  
довжина 96
- 2. Хід штока, мм 30
- 3. Діаметр пневмациліндра, мм 80
- 4. Зусилля затискання при тиску повітря 0,63 МПа, Н 2770

				08-26.МКР.003.01.000 СК			
№м	Конт.	№ версії	Дата	Лист	Маса	Масштаб	
Розроб.	Михайленко А.В.			1		1:1	
Вір.	Дубиняк Ж.П.			1			
Контр.				1			
Нач. бюро	Соловйов В.В.			1			
Контр.	Козлов Д.П.			1			
				Пристосування фрезерне			
				Складальне креслення			
				Лист 1 Листів 1			
				ВНТУ			
				ст. гр. ПТМ-16Н			
				Фабрикат А1			

Лист № 001  
Лист № 002  
Лист № 003  
Лист № 004  
Лист № 005  
Лист № 006  
Лист № 007  
Лист № 008  
Лист № 009  
Лист № 010  
Лист № 011  
Лист № 012  
Лист № 013  
Лист № 014  
Лист № 015  
Лист № 016  
Лист № 017  
Лист № 018  
Лист № 019  
Лист № 020  
Лист № 021  
Лист № 022  
Лист № 023  
Лист № 024  
Лист № 025  
Лист № 026  
Лист № 027  
Лист № 028  
Лист № 029  
Лист № 030  
Лист № 031  
Лист № 032  
Лист № 033  
Лист № 034  
Лист № 035  
Лист № 036  
Лист № 037  
Лист № 038  
Лист № 039  
Лист № 040  
Лист № 041  
Лист № 042  
Лист № 043  
Лист № 044  
Лист № 045  
Лист № 046  
Лист № 047  
Лист № 048  
Лист № 049  
Лист № 050  
Лист № 051  
Лист № 052  
Лист № 053  
Лист № 054  
Лист № 055  
Лист № 056  
Лист № 057  
Лист № 058  
Лист № 059  
Лист № 060  
Лист № 061  
Лист № 062  
Лист № 063  
Лист № 064  
Лист № 065  
Лист № 066  
Лист № 067  
Лист № 068  
Лист № 069  
Лист № 070  
Лист № 071  
Лист № 072  
Лист № 073  
Лист № 074  
Лист № 075  
Лист № 076  
Лист № 077  
Лист № 078  
Лист № 079  
Лист № 080  
Лист № 081  
Лист № 082  
Лист № 083  
Лист № 084  
Лист № 085  
Лист № 086  
Лист № 087  
Лист № 088  
Лист № 089  
Лист № 090  
Лист № 091  
Лист № 092  
Лист № 093  
Лист № 094  
Лист № 095  
Лист № 096  
Лист № 097  
Лист № 098  
Лист № 099  
Лист № 100



A-A (1:1)

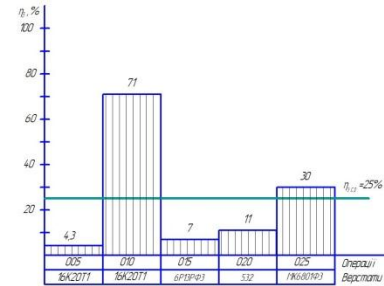
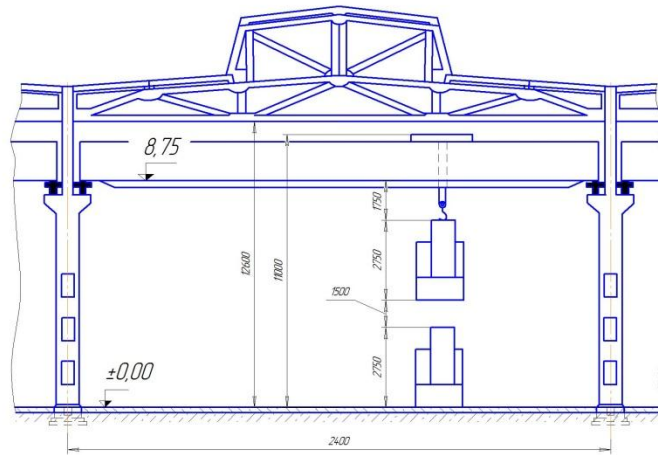


- |   |  |      |
|---|--|------|
| 1 | Разміри обробленої заготовки, мм                 |      |
|   | діаметр  | 46   |
|   | довжина  | 96   |
| 2 | Хід штака, мм                                    | 30   |
| 3 | Діаметр пневмоциліндра, мм                       | 80   |
| 4 | Зусилля затискання при тиску повітря 0,63 МПа, Н | 2770 |

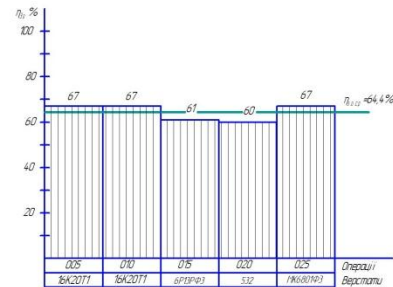
08-26.МКР.003.00.500 В3



A-A (1:200)



Графік завантаження обладнання



Графік використання обладнання за основним часом

1. На дільниці проводиться обов'язкове прибирання стружки в кінці зміни.
2. Не загроможувати проходи, проїзди, підходи до первинних засобів пожегогасіння.
3. Наявність на підлозі мастила і емульсії не допускається.
4. Площа дільниці: виробничо - 150 м<sup>2</sup>.
5. Кількість працюючих основних робітників - 5 чол.

08-26.МКР.003.00.500 В3		Лист	Масштаб
План дільниці механічної обробки		1	1:100
Інженер	М.В.Мельник	Лист	Листів
Розроб	Виготовлено А.С.	Лист	Листів
Замовник	Держспец. Ж/Д	Лист	Листів
Начальник	Соборняк В.В.	Лист	Листів
Контр.	Козарко Л.	Лист	Листів

Контр.робот

Фармац. А1



## Техніко-економічне порівняння технологічних процесів механічної обробки

	Розробка	Базовий варіант
Приведена програма випуску, шт.	20000	
Основний час обробки, хв.	11,54	20,5
Штучно-калькуляційний час обробки, хв.	18,95	28,58
Кількість металорізальних верстатів	5	9
Середній коефіцієнт завантаження обладнання	25	12
Коефіцієнт використання по основному часові обладнання	64,4	41
Кількість основних працюючих, чол.	5	18
Середній розряд працівників	3,67	5
Площа ділянки механічної обробки, м <sup>2</sup>	150	250
Річний випуск продукції в шт. на одного працюючого	4000	1111
Річний випуск продукції на одиницю основного обладнання	3333	2222
Річний випуск продукції на один метр квадратний виробничої площі	133	80
Собівартість виготовлення деталі, грн.	197,63	286,15
Капітальні вкладення, грн.	1371506,2	–
Прибуток, грн.	717450,8	–
Термін окупності, р.	1,9	–



## Висновки

В магістерській кваліфікаційній роботі на тему «Удосконалення технології механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня» поставлено завдання підвищити якість оброблюваної деталі, автоматизувати процес обробки, зменшити собівартість продукції.

Для виконання поставленого завдання:

- проведено аналіз типового та базового технологічних процесів, встановлено можливість використання запропонованих методів обробки, але із використанням більш сучасного, прогресивного обладнання, оснащення, інструменту;

- виконано розробку 2-х варіантів удосконаленого технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Вал-шестерня», проведено їх техніко-економічне порівняння, прийнято оптимальний варіант;

- для оптимального варіанту технологічного процесу проведено необхідні розрахунки, а саме вибір економічно доцільного варіанту виготовлення заготовки, розрахунок кількості переходів обробки найбільш відповідальних поверхонь, вибір технологічних баз, розрахунок режимів різання. Технічних норм часу для виконання операцій;

- виконано аналіз впливу факторів процесу різання (подачі, глибини, головного кута в плані різця) на точність обробки при точінні зовнішнього діаметра деталі «Вал-шестерня» за допомогою математичного планування експерименту, зроблені відповідні висновки;

- спроектовано механізоване пристосування для виконання фрезерної операції (015), що дозволяє значно скоротити допоміжний час на установлення та закріплення деталі, а значить зменшити норму штучно-калькуляційного часу виконання операції;

- для реалізації удосконаленого технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Вал-шестерня» спроектовано дільницю, проведені розрахунки кількості обладнання, працюючих, площ; дільниця по ходу технологічної обробки містить 6 верстатів, що обслуговуються 5 основними і 5 допоміжними працівниками;

- підтвердженням доцільності удосконалення технологій механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня» є виконання економічної частини МКР, в якій розраховано собівартість деталі – 197,63 грн., одержаний прибуток (717450,8 грн.) та термін окупності (1,9 років) капітальних вкладень (1371506,2 грн.). Дані показники повністю довели ефективність запропонованого рішення;

- проаналізовано умови праці на дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Вал-шестерня», розглянуто організаційно-технічні рішення з гігієни праці, виробничої санітарії, забезпечення безпечної роботи, розраховано занулення верстата;

- представлена графічна частина МКР, що ілюструє розробки, а також всі необхідні додатки.

***Дякую за увагу!!!***