

Ж. П. Дусанюк  
С. В. Репінський  
О. В. Паславська  
А. В. Курилець  
М. І. Устич

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

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Проведено повний трифакторний експеримент для побудови математичної моделі залежності переміщення шпинделя верстата при точінні зовнішньої діаметральної поверхні вала від таких параметрів, як подача, глибина різання і головний кут різця в плані. Адекватність визначеної залежності для розгляданого діапазону рівнів факторів підтверджена за критерієм Фішера.

**Ключові слова:** механічна обробка, точіння, планування експерименту, повний факторний експеримент, критерій Фішера.

### Abstract

A complete three-factorial experiments to construct a mathematical model based motion spindle for turning the outer diametric surface of the shaft of the parameters such as feed, depth of cut and cutter main angle in the plan. The adequacy of a certain relationship for the considered range of factor levels is confirmed by the Fisher test.

**Keywords:** machining, turning, design of experiments, the full factorial experiment, Fisher test.

### Вступ

При виконанні механічної обробки поверхонь деталей необхідно забезпечити необхідну конфігурацію, розміри, точність, шорсткість поверхонь, вимоги до їх відносного розташування та форми згідно робочого креслення. На вказані параметри впливають досить різноманітні фактори [1–2]. Для дослідження точності їх виконання використовуються як теоретичні, так і експериментальні методи. При використанні експериментальних досліджень з метою підвищення ефективності, мінімізації загальної кількості проведених дослідів використовується планування експерименту.

Характерними особливостями процесу планування експерименту є: мінімізація загального числа дослідів; одночасне варіювання всіх досліджуваних факторів за спеціальними правилами – алгоритмами; використання математичного апарату, який формалізує багато дій експериментатора; вибір чіткої стратегії, яка дозволяє приймати обґрунтовані рішення після кожної серії дослідів [3–4].

Мета роботи – дослідження впливу факторів процесу різання на величину переміщення шпинделя верстата та точність обробки діаметрального розміру під впливом сил різання за допомогою математичного планування експерименту.

Для досягнення поставленої мети розв'язувалися такі задачі:

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

### Результати дослідження

Розглядається деталь «Вал», зовнішня діаметральна поверхня якої обробляється точінням на токарному верстаті (рис. 1). Аналізується вплив наступних факторів: величини подачі  $S$ , глибини різання  $t$  і головного кута різця в плані  $\varphi$  на точність обробки діаметральної поверхні  $d$ . Всі вибрані

фактори відповідають наступним обов'язковим вимогам: керованості, незалежності і сумісності по відношенню один до одного.

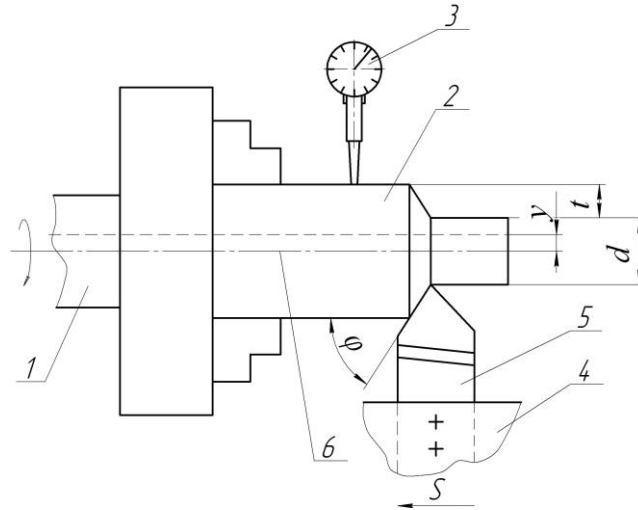


Рис. 1. Ескіз обробки: 1 – шпиндель; 2 – вал; 3 – індикатор; 4 – супорт; 5 – різець; 6 – вісь шпинделя

Вибрані фактори  $S$ ,  $t$ ,  $\varphi$  відповідно позначено через  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ . Перед початком експериментальних дослідів вибрано основні рівні та інтервали варіювання факторів, які наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Кодові значення рівнів факторів

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

Зв'язок між кодованим та дійсним значенням фактора задається виразом

$$x_i = (x_i - x_{i0}) / \Delta x_i, \quad (1)$$

де  $x_i$  – кодове значення  $i$ -го фактора;  $x_i$  – натуральне значення  $i$ -го фактора;  $x_{i0}$  – початковий (основний) рівень фактора;  $\Delta x_i$  – інтервал варіювання  $i$ -го фактора.

Для оцінки впливу обраних факторів на параметр оптимізації і математичного опису розглядуваного процесу в якості моделі використано поліном першого ступеня

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + \dots + b_{12 \dots k} x_1 x_2 \dots x_k. \quad (2)$$

Поліном лінійний відносно невідомих коефіцієнтів, що спрощує обробку експериментальних даних. Для трьох факторів математична модель має вигляд

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3. \quad (3)$$

Для проведення експерименту прийнято матрицю планування, в якій рядки відповідають різним незалежним дослідом, а стовпці – рівням факторів.

Матриця планування повного трифакторного експерименту наведена в табл. 2.

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту

Номер досліджу	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$
1	+1	-	-	-	+	+	+	-
2	+1	+	-	-	-	-	+	+
3	+1	-	+	-	-	+	-	+
4	+1	+	+	-	+	-	-	-
5	+1	-	-	+	+	-	-	+
6	+1	+	-	+	-	+	-	-
7	+1	-	+	+	-	-	+	-
8	+1	+	+	+	+	+	+	+

При виконанні плану експерименту з метою підвищення точності заміру величини переміщення шпинделя (параметра оптимізації) проведено 3 паралельних досліди при незмінних режимах. Результати дослідів показано в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати дослідів

Номер досліджу	Величина зміщення осі шпинделя, мкм				$y_1 - \bar{y}$	$y_2 - \bar{y}$	$y_3 - \bar{y}$	$(y_1 - \bar{y})^2$	$(y_2 - \bar{y})^2$	$(y_3 - \bar{y})^2$	$S_j^2$
	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$\bar{y}$							
1	56	61	58	58,3	-2,3	+2,7	-0,3	5,29	7,29	0,09	6,34
2	52	56	58	55,3	-3,3	+0,7	+2,7	10,89	0,49	7,29	9,34
3	90	86	81	85,7	+4,3	+0,3	-4,7	18,49	0,09	22,09	20,34
4	130	125	119	124,7	+5,3	+0,3	-5,7	28,09	0,09	32,49	30,34
5	45	56	49	50,0	-5,0	+6,0	-1,0	25,0	36,0	1,0	31,0
6	61	56	53	56,7	+4,3	-0,7	-3,7	18,49	0,49	13,69	16,34
7	61	49	56	55,3	+5,7	-6,3	+0,7	32,49	39,69	0,49	36,34
8	116	105	100	107,0	+9,0	-2,0	-7,0	81,0	4,0	49,0	67,0
$\Sigma$				593,0							217,04

За результатами дослідів за відомими формулами [4] розраховано дисперсію паралельних дослідів  $S_j^2$ , дисперсію відтворюваності  $S^2(y)$  та коефіцієнти математичної моделі (3).

Після розрахунку всіх коефіцієнтів і їх підстановки в рівняння (3) отримано

$$\hat{y} = 74,1 + 11,8x_1 + 19,1x_2 - 6,9x_3 + 10,9x_1x_2 + 2,8x_1x_3 - 5,2x_2x_3 + 0,4x_1x_2x_3. \quad (4)$$

Перевірку статистичної значущості коефіцієнтів виконано за критерієм Стюдента [4]. Нехтуючи статистично незначущим коефіцієнтом, рівняння (4) набуло вигляду

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

або у розгорнутому вигляді з використанням натуральних значень факторів

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

Адекватність отриманого рівняння перевірено за критерієм Фішера [4].

## Висновки

1. Проведено повний трифакторний експеримент і побудовано математичну модель залежності переміщення шпинделя верстата (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 шпинделя верстата 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 шпинделя 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.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дерібо О. В. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин. Частина 1 : практикум / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 114 с.

2. Дерібо О. В. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин : лабораторний практикум / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, О. М. Мироненко [та ін.] – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 118 с.

3. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 280 с.

4. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.

*Дусанюк Жанна Павлівна* – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

*Репінський Сергій Володимирович* – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [repinskyisv@gmail.com](mailto:repinskyisv@gmail.com);

*Паславська Оксана Віталіївна* – старший лаборант кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [o.v.paslavska@gmail.com](mailto:o.v.paslavska@gmail.com);

*Курилець Андрій Васильович* – студент групи ІТМ-16м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

*Устич Михайло Іванович* – студент групи ІІМ-13б, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

*Dusaniuk Zhanna P.* – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

*Repinsky Serhii V.* – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [repinskyisv@gmail.com](mailto:repinskyisv@gmail.com);

*Paslavska Oksana V.* – Senior Laboratory of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [o.v.paslavska@gmail.com](mailto:o.v.paslavska@gmail.com);

*Kurylets Andrii V.* – Student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

*Ustych Mykhailo I.* – Student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.