

УДК 519.24 : 62.50

© 2010

*Кошовий М.Д., доктор технічних наук*

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського "ХАІ"

*Костенко О.М., кандидат технічних наук*

Полтавська державна аграрна академія

**ОПТИМАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ СТАНКІВ ІЗ ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ УПРАВЛІННЯМ***Рецензент – доктор технічних наук О.Ю. Соколов*

*На прикладах дослідження продуктивності ділянки цеху станків із числовим програмним управлінням і оптимізації режимів роботи цих станків показана ефективність оптимального за часовими витратами планування експерименту. Показано, що для оптимізації планів повного факторного експерименту доцільно застосовувати метод аналізу перестановок рядків матриці планування, а для ротатбельного центрального композиційного планування – метод гілок і меж.*

**Ключові слова:** оптимальний план, експеримент, часові витрати, станки, продуктивність, режим.

**Постановка проблеми.** При проектуванні, обслуговуванні та ремонті технічних систем, у тому числі й станків із числовим програмним управлінням (ЧПУ), постає задача побудови їх математичних моделей [3]. У цьому випадку отримані моделі використовуються для пошуку оптимальних параметрів і режимів цих систем та їх обслуговування й ремонту.

Вирішення даної задачі передбачає вибір ефективного методу побудови математичної моделі об'єкта дослідження та програмних засобів, що його реалізують.

**Аналіз основних досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми.** У праці [1] із застосуванням методів планування експерименту проведено дослідження, моделювання та оптимізацію процесів підвищення продуктивності станків із ЧПУ, збільшення обсягу випуску деталей цими станками.

Недоліком даного дослідження є те, що не враховуються затрати часу на проведення активних експериментів, а це досить важливо при виконанні експериментів у промислових умовах [3].

**Мета статті:** синтезувати оптимальні за часовими витратами плани експериментів для проведення вказаних досліджень.

**Матеріали, методи і результати досліджень.** При дослідженні ділянки цеху станків із числовим програмним управлінням в якості критерію

оптимізації було вибрано [2] сумарний час  $\bar{y}$  роботи станків із ЧПУ. Домінуючими факторами, що впливають на цей показник, вибрані:  $X_1$  – час виконання профілактики  $t_n$ , годин;  $X_2$  – число  $y'_c$  станків із ЧПУ;  $X_3$  – час роботи станків упродовж доби  $t_c$ , годин;  $X_4$  – періодичність профілактики  $t_0$ , годин.

Начальний план повного факторного експерименту (ПФЕ), згідно з яким виконувалося дослідження продуктивності ділянки цеху, подано в таблиці 1.

Проведемо оптимізацію начального плану ПФЕ за критерієм сумарного часу реалізації експерименту. Часові зміни значень рівнів факторів наведені в таблиці 2.

За допомогою пакету прикладних програм [2] синтезовані оптимальні за часом проведення плани експерименту, отримані в результаті аналізу перестановок рядків початкової матриці планування (проаналізовано 50000 варіантів) і методом випадкового пошуку (проаналізовано 50000 варіантів). Матриці планування оптимальних планів подані в таблиці 1.

Часові витрати на реалізацію експериментів за оптимальними планами становлять: 215 годин (аналіз перестановок; варіант 14791); 251 година (випадковий пошук; варіант 1). При цьому часові витрати на реалізацію начального плану дорівнюють 251 годині, а максимальні витрати становлять: 915 годин (аналіз перестановок; варіант 35887); 1318 годин (випадковий пошук; варіант 44777).

Таким чином, маємо наступні виграші у часових витратах на реалізацію експерименту: а) план, отриманий аналізом перестановок, у 1,17 разу (у порівнянні з начальним планом) і в 4,26 разу – у порівнянні з планом із максимальними часовими витратами; б) план, отриманий випадковим пошуком, – у порівнянні з начальним планом виграшу немає, а в порівнянні з планом із максимальними часовими витратами виграш у 5,25 разу.

**1. Начальний і оптимальний плани ПФЕ**

Начальний план					Оптимальні плани									
Номер досліджу	позначення факторів				номер досліджу	позначення факторів				номер досліджу	позначення факторів			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	-1	-1	-1	-1	5	-1	-1	+1	-1	1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	-1	6	+1	-1	+1	-1	2	+1	-1	-1	-1
3	-1	+1	-1	-1	7	-1	+1	+1	-1	3	-1	+1	-1	-1
4	+1	+1	-1	-1	8	+1	+1	+1	-1	4	+1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	-1	4	+1	+1	-1	-1	5	-1	-1	+1	-1
6	+1	-1	+1	-1	2	+1	-1	-1	-1	6	+1	-1	+1	-1
7	-1	+1	+1	-1	1	-1	-1	-1	-1	7	-1	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	-1	3	-1	+1	-1	-1	8	+1	+1	+1	-1
9	-1	-1	-1	+1	9	-1	-1	-1	+1	9	-1	-1	-1	+1
10	+1	-1	-1	+1	10	+1	-1	-1	+1	10	+1	-1	-1	+1
11	-1	+1	-1	+1	11	-1	+1	-1	+1	11	-1	+1	-1	+1
12	+1	+1	-1	+1	12	+1	+1	-1	+1	12	+1	+1	-1	+1
13	-1	-1	+1	+1	13	-1	-1	+1	+1	13	-1	-1	+1	+1
14	+1	-1	+1	+1	14	+1	-1	+1	+1	14	+1	-1	+1	+1
15	-1	+1	+1	+1	15	-1	+1	+1	+1	15	-1	+1	+1	+1
16	+1	+1	+1	+1	16	+1	+1	+1	+1	16	+1	+1	+1	+1

**2. Час зміни значень рівнів факторів**

Час зміни значень рівнів факторів, годин	Позначення факторів			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
із «0» в «-1»	3,0	2,0	12,0	50,0
із «0» в «+1»	7,0	6,0	16,0	100,0
із «-1» в «+1»	7,0	6,0	16,0	100,0
із «+1» в «-1»	3,0	2,0	12,0	50,0

**3. Начальний і оптимальний плани РЦКП**

Начальний план						Оптимальний план					
номер досліджу	позначення факторів					номер досліджу	позначення факторів				
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	+1	+1	+1	+1	+1	24	0	0	0	+α	0
2	-1	+1	+1	+1	-1	23	0	0	0	-α	0
3	+1	-1	+1	+1	-1	25	0	0	0	0	-α
4	-1	-1	+1	+1	+1	26	0	0	0	0	+α
5	+1	+1	-1	+1	-1	27	0	0	0	0	0
6	-1	+1	-1	+1	+1	28	0	0	0	0	0
7	+1	-1	-1	+1	+1	29	0	0	0	0	0
8	-1	-1	-1	+1	-1	30	0	0	0	0	0
9	+1	+1	+1	-1	-1	31	0	0	0	0	0
10	-1	+1	+1	-1	+1	32	0	0	0	0	0
11	+1	-1	+1	-1	+1	21	0	0	-α	0	0
12	-1	-1	+1	-1	-1	22	0	0	+α	0	0
13	+1	+1	-1	-1	+1	17	-α	0	0	0	0
14	-1	+1	-1	-1	-1	18	+α	0	0	0	0
15	+1	-1	-1	-1	-1	19	0	-α	0	0	0
16	-1	-1	-1	-1	+1	20	0	+α	0	0	0
17	-α	0	0	0	0	15	+1	-1	-1	-1	-1

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
18	+ $\alpha$	0	0	0	0	16	-1	-1	-1	-1	+1
19	0	- $\alpha$	0	0	0	11	+1	-1	+1	-1	+1
20	0	+ $\alpha$	0	0	0	12	-1	-1	+1	-1	-1
21	0	0	- $\alpha$	0	0	9	+1	+1	+1	-1	-1
22	0	0	+ $\alpha$	0	0	10	-1	+1	+1	-1	+1
23	0	0	0	- $\alpha$	0	13	+1	+1	-1	-1	+1
24	0	0	0	+ $\alpha$	0	14	-1	+1	-1	-1	-1
25	0	0	0	0	- $\alpha$	5	+1	+1	-1	+1	-1
26	0	0	0	0	+ $\alpha$	6	-1	+1	-1	+1	+1
27	0	0	0	0	0	1	+1	+1	+1	+1	+1
28	0	0	0	0	0	2	-1	+1	+1	+1	-1
29	0	0	0	0	0	3	+1	-1	+1	+1	-1
30	0	0	0	0	0	4	-1	-1	+1	+1	+1
31	0	0	0	0	0	7	+1	-1	-1	+1	+1
32	0	0	0	0	0	8	-1	-1	-1	+1	-1

4. Час зміни значень рівнів факторів

Час зміни значень рівнів факторів, хвилин	Позначення факторів				
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>
із «- $\alpha$ » в «-1»	5,0	240,0	180,0	360,0	120,0
із «- $\alpha$ » в «0»	10,0	300,0	240,0	480,0	80,0
із «- $\alpha$ » в «+1»	15,0	360,0	300,0	600,0	60,0
із «- $\alpha$ » в «+ $\alpha$ »	20,0	420,0	300,0	720,0	48,0
із «-1» в «- $\alpha$ »	5,0	180,0	120,0	240,0	240,0
із «-1» в «0»	5,0	300,0	240,0	480,0	80,0
із «-1» в «+1»	10,0	360,0	300,0	600,0	60,0
із «-1» в «+ $\alpha$ »	15,0	420,0	300,0	720,0	48,0
із «0» в «- $\alpha$ »	10,0	180,0	120,0	240,0	240,0
із «0» в «-1»	5,0	240,0	180,0	360,0	120,0
із «0» в «+1»	5,0	360,0	300,0	600,0	60,0
із «0» в «+ $\alpha$ »	10,0	420,0	360,0	720,0	48,0
із «+1» в «- $\alpha$ »	15,0	180,0	120,0	240,0	240,0
із «+1» в «-1»	10,0	240,0	180,0	360,0	120,0
із «+1» в «0»	5,0	300,0	240,0	480,0	80,0
із «+1» в «+ $\alpha$ »	5,0	420,0	300,0	720,0	48,0
із «+ $\alpha$ » в «- $\alpha$ »	20,0	180,0	120,0	240,0	240,0
із «+ $\alpha$ » в «-1»	15,0	240,0	180,0	360,0	120,0
із «+ $\alpha$ » в «0»	10,0	300,0	240,0	480,0	80,0
із «+ $\alpha$ » в «+1»	5,0	360,0	300,0	600,0	60,0

Для оптимізації режиму роботи станків із ЧПУ [1] в якості критерію було вибрано обсяг  $U$  випуску деталей складної конфігурації, який необхідно збільшити в умовах виробництва. Домінуючими факторами, що впливають на цей показник, були вибрані: X<sub>1</sub> – число станків на ділянці; X<sub>2</sub> – час обробки однієї деталі, годин;

X<sub>3</sub> – час переналадки і технічного обслуговування станка, годин; X<sub>4</sub> – тривалість робочої зміни, годин; X<sub>5</sub> – число фахівців, які займають-

ся обслуговуванням станків.

Начальний план ротатбельного центрального композиційного планування (РЦКП), в основі якого лежить головна піврепліка 2<sup>5-1</sup> із генеруючим співвідношенням X<sub>5</sub> = X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>X<sub>3</sub>X<sub>4</sub> і згідно з яким виконувалося дослідження режимів роботи станків з ЧПУ [1], подано в таблиці 3.

Проведемо оптимізацію начального плану РЦКП за критерієм сумарного часу реалізації експерименту. Часові зміни значень рівнів факторів наведені в таблиці 4.

За допомогою програми, що реалізує оптимізацію багатофакторних планів експерименту методом гілок і меж, синтезовано оптимальний за часом проведення план РЦКП (табл. 3).

Часові витрати на реалізацію експериментів становлять: 8613 хвилин для начального плану; 6323 хвилини – для оптимального плану. При цьому маємо вииграш у часових витратах на реалізацію експерименту в 1,36 разу (у порівнянні з

начальним планом).

**Висновки:** 1. На прикладі дослідження ділянки цеху станків із ЧПУ доведена ефективність оптимального за часовими витратами планування експерименту.

2. Показано, що для оптимізації планів ПФЕ доцільно застосовувати метод аналізу перестановок рядків матриці планування, а для планів РЦКП – метод гілок і меж.

#### БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Барабашук В.И.* Планирование эксперимента в технике / В.И. Барабашук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко. – К.: Техніка, 1984. – 200 с.  
2. *Кошовий М.Д., Костенко О.М.* Комп'ютерна програма «Програма пошуку оптимальних планів багатофакторного експерименту». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір

№ 29920. – Зареєстр. в Державному департаменті інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України 17.08.2009 р.

3. *Славутский Л.А.* Основы регистрации данных и планирование эксперимента. – Чебоксары: изд-во ЧГУ, 2006. – 200 с.