

УДК 519.24:62.50

© 2010

*Кошовий М.Д., доктор технічних наук*  
 Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

*Костенко О.М., кандидат технічних наук*  
 Полтавська державна аграрна академія

## ОПТИМАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

*Рецензент – доктор технічних наук О.Ю. Соколов*

*На прикладах дослідження процесу обслуговування комплексу технічних систем і режиму роботи оператора при обслуговуванні такого комплексу показана ефективність оптимального за часовими витратами планування експерименту. Показано, що для оптимізації плану дрібного факторного експерименту доцільно застосовувати метод випадкового пошуку, а для ротатбельного центрального композиційного планування – метод гілок і меж. У процесі вирішення задач оптимізації та управління технічними системами виникає проблема побудови їх математичних моделей, до того ж мінімальних стосовно вартісних і часових витрат.*

**Ключові слова:** оптимальний план, експеримент, часові витрати, комплекс, технічна система, оператор.

**Постановка проблеми.** У ході вирішення задач оптимізації та управління технічними системами виникає проблема побудови їх математичних моделей. При цьому виправдане бажання експериментаторів отримувати ці моделі за мінімальні вартісні й часові витрати [3]. Передусім така задача актуалізується в разі дослідження висококоштовних і тривалих за часом обслуговування технічних систем.

**Аналіз основних досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми.** У роботі [1] із застосуванням методів планування експериментів проведено дослідження, моделювання та оптимізацію обслуговування комплексу технічних систем, що являють собою територіально розподілені ЕОМ, а також режиму роботи оператора з обслуговування такого комплексу.

Недоліком цього дослідження є те, що не враховуються затрати часу на проведення активних експериментів, що вкрай важливо в промислових умовах.

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

**Матеріали і методи досліджень.** У процесі дослідження комплексу технічних систем [1] в

якості параметра оптимізації розглядався час  $\bar{U}$  простою технічної системи на обслуговуванні. Поза сумнівом, що підрозділ, який обслуговує комплекс технічних систем, повинен виконувати свою роботу так, аби забезпечити мінімізацію часу простою системи на обслуговуванні. Домінуючими факторами, які впливають на цей показник, були вибрані:  $X_1$  – число систем, що обслуговуються;  $X_2$  – час обслуговування однієї системи, годин;  $X_3$  – стратегія обслуговування, годин;  $X_4$  – число лабораторій, що обслуговують;  $X_5$  – кількість персоналу, який обслуговує. Начальний план дрібного факторного експерименту (ДФЕ)  $2^{5-1}$  із генеруючим співвідношенням  $X_5 = X_1 X_2 X_3 X_4$ , згідно з яким виконувалося дослідження комплексу технічних систем, подано в таблиці 1.

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

**Результати досліджень.** За допомогою пакета 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 подані в таблиці 1. Часові витрати на реалізацію експериментів за оптимальними планами становлять: 1284,65 години (аналіз перестановок, варіант 46074); 606,66 години (випадковий пошук, варіант 152). При цьому часові витрати на реалізацію начального плану дорівнюють 1728,1 години, а максимальні витрати становлять: 2011,88 години (аналіз перестановок, варіант 3088); 2068,38 години (випадковий пошук, варіант 46719). Таким чином, маємо наступні виграші у часових витратах на реалізацію експерименту: а) план, отриманий аналізом перестановок, – в 1,35 разу порівняно з початковим планом і в 1,57 разу – в порівнянні

**1. Начальний і оптимальні плани ДФЕ**

Начальний план						Оптимальні плани												
№ до-сліду	позначення факторів					№ до-сліду	аналіз перестановок					№ до-сліду	випадковий пошук					
	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>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	
	1	+1	+1	+1	+1		+1	2	-1	+1	+1		+1	-1	2	-1	+1	+1
2	-1	+1	+1	+1	-1	6	-1	+1	-1	+1	+1	5	+1	+1	-1	+1	-1	
3	+1	-1	+1	+1	-1	5	+1	+1	-1	+1	-1	9	+1	+1	+1	-1	-1	
4	-1	-1	+1	+1	+1	7	+1	-1	-1	+1	+1	13	+1	+1	-1	-1	+1	
5	+1	+1	-1	+1	-1	8	-1	-1	-1	+1	-1	15	+1	-1	-1	-1	-1	
6	-1	+1	-1	+1	+1	3	+1	-1	+1	+1	-1	3	+1	-1	+1	+1	-1	
7	+1	-1	-1	+1	+1	1	+1	+1	+1	+1	+1	1	+1	+1	+1	+1	+1	
8	-1	-1	-1	+1	-1	9	+1	+1	+1	-1	-1	11	+1	-1	+1	-1	+1	
9	+1	+1	+1	-1	-1	10	-1	+1	+1	-1	+1	7	+1	-1	-1	+1	+1	
10	-1	+1	+1	+1	+1	11	+1	-1	+1	-1	+1	8	-1	-1	-1	+1	-1	
11	+1	-1	+1	-1	+1	12	-1	-1	+1	-1	-1	4	-1	-1	+1	+1	+1	
12	-1	-1	+1	-1	-1	13	+1	+1	-1	-1	+1	6	-1	+1	-1	+1	+1	
13	+1	+1	-1	-1	+1	14	-1	+1	-1	-1	-1	10	-1	+1	+1	-1	+1	
14	-1	+1	-1	-1	-1	15	+1	-1	-1	-1	-1	16	-1	-1	-1	-1	+1	
15	+1	-1	-1	-1	-1	16	-1	-1	-1	-1	+1	14	-1	+1	-1	-1	-1	
16	-1	-1	-1	-1	+1	4	-1	-1	+1	+1	+1	12	-1	-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>	X <sub>5</sub>
Із «0» в «-1»	50,0	10,0	10,0	25,0	4,17
Із «0» в «+1»	162,0	18,0	14,0	40,5	4,05
Із «-1» в «+1»	162,0	18,0	14,0	40,5	4,05
Із «+1» в «-1»	50,0	10,0	10,0	25,0	4,17

з планом із максимальними часовими витратами; б) план, отриманий випадковим пошуком, – у 2,85 разу порівняно з начальним планом і в 3,41 разу – порівняно з планом із максимальними часовими витратами.

Для дослідження режиму технічного обслуговування комплексу технічних систем параметром оптимізації вибрано числове значення  $\bar{J}$ , що відображає тривалість обслуговування однієї системи. Необхідно знайти умови роботи оператора, для яких простої системи на обслуговування будуть мінімальними.

Домінуючими факторами, що впливають на цей показник, були вибрані: X<sub>1</sub> – число систем, що обслуговуються оператором упродовж робочої зміни; X<sub>2</sub> – середній час обслуговування системи, хвилин; X<sub>3</sub> – час підготовки до обслуговування чергової системи, хвилин; X<sub>4</sub> – тривалість робочої зміни, годин.

Начальний план ротатбельного центрального композиційного планування (РЦКП), згідно з яким виконувалося дослідження режимів роботи оператора [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 багатфакторних планів експерименту методом гілок і меж, синтезовано оптимальний за часом проведення план РЦКП (табл. 3).

Часові витрати на реалізацію експериментів становлять: 3604 хвилини для начального плану; 2402 хвилини – для оптимального плану. При цьому маємо вигреш у часових витратах на реалізацію експерименту в 1,5 разу в порівнянні з начальним планом.

**3. Начальний і оптимальний плани РЦКП**

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

**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>
Із «-α» в «-1»	42,0	20,0	10,0	360,0
Із «-α» в «0»	30,0	30,0	20,0	480,0
Із «-α» в «+1»	24,0	40,0	30,0	600,0
Із «-α» в «+α»	18,0	50,0	40,0	720,0
Із «-1» в «-α»	60,0	10,0	0,0	240,0
Із «-1» в «0»	30,0	30,0	20,0	480,0
Із «-1» в «+1»	24,0	40,0	30,0	600,0
Із «-1» в «+α»	18,0	50,0	40,0	720,0
Із «0» в «-α»	60,0	10,0	0,0	240,0
Із «0» в «-1»	42,0	20,0	10,0	360,0
Із «0» в «+1»	24,0	40,0	30,0	600,0
Із «0» в «+α»	18,0	50,0	40,0	720,0
Із «+1» в «-α»	60,0	10,0	0,0	240,0
Із «+1» в «-1»	42,0	20,0	10,0	360,0
Із «+1» в «0»	30,0	30,0	20,0	480,0
Із «+1» в «+α»	18,0	50,0	40,0	720,0
Із «+α» в «-α»	60,0	10,0	0,0	240,0
Із «+α» в «-1»	42,0	20,0	10,0	360,0
Із «+α» в «0»	30,0	30,0	20,0	480,0
Із «+α» в «+1»	24,0	40,0	30,0	600,0

**Висновки:**

1. На прикладі дослідження процесу обслуговування комплексу технічних систем показана ефективність оптимального за часовими витра-

тами планування експерименту.

2. Показано, що для оптимізації плану ДФЕ доцільно застосовувати метод випадкового пошуку, 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 Держ. департ. інтелектуальної власності Мін. 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.