

Аналіз алгоритму ММРП показує, що є, принаймні, два способи такої оптимізації. Перший спосіб пов'язаний з вибором оптимальних початкових компонентів вектора [Hz]. Ці значення повинні бути якомога ближчі до своїх скінченних значень для більшої частини даних, що обробляються. При цьому початкові значення вектора [Hz] можуть бути задані відносно простими залежностями від значення вектора [b] зовнішніх режимних параметрів. Такий спосіб оптимізації доцільно використовувати під час роботи з інформацією, в якій значення зовнішніх режимних параметрів ММРП від розрахунку до розрахунку може змінюватися в широких межах (наприклад, при використанні ММРП в алгоритмах діагностування). При обробці даних, в яких вектор [b] від розрахунку до розрахунку змінюється мало (наприклад, при верифікації параметрів робочого процесу ГТД у польоті), більш доцільно за початкове значення вектора [Hz] брати значення цього вектора наприкінці попереднього розрахунку. Вибір оптимальних початкових значень, як впливає з аналізу даних, наведених на рис. 2, 4, дозволяє зменшити кількість ітерацій для балансування моделі від одного до п'яти.

Якщо в алгоритмі ММРП використовують внутрішні ітераційні процедури (наприклад, під час розрахунку характеристик робочого тіла), то вони також можуть бути оптимізовані внаслідок вибору початкових значень параметрів, що забезпечують найменшу кількість ітерацій на обраному середньому режимі.

Другий спосіб оптимізації ММРП пов'язаний з виключенням із розрахунку частини параметрів, які не впливають на значення відхилів і не потрібні при розв'язанні задачі, у контур якої буде включено ММРП ГТД.

Список літератури

1. *Игнатович С.Р., Якушенко А.С.* Использование математической модели рабочего процесса ГТД при прогнозировании его остаточного ресурса // Прогресс-технология-качество: Тр. Второго конгресса двигателестроителей Украины. – Ин-т машин и систем, 1997. – С. 279–281.
2. *Якушенко О.С.* Вплив виробничо-технологічних і експлуатаційних факторів на пошкодження деталей газотурбінного двигуна // Вісн. НАУ. – 2001. – №2(9). – С. 34–38.
3. *Ахмедзянов А.М., Дубравский Н.Г., Тунаков А.П.* Диагностика состояния ВРД по термодинамическим параметрам. – М.: Машиностроение, 1983. – 206 с.
4. *Математическое моделирование эксплуатационных характеристик газотурбинных двигателей / А.П. Тунаков, Э.В. Мац, В.И. Орланов и др.* – К: КИИГА, 1989. – 148 с.

Стаття надійшла до редакції 28.10.02.

0565-082.205.3-01-07
УДК 629.735.064.33:621.928(045)

фільтр дезорбційний, регенерація фільтра, очистка
десорбція газу

В.В. Гаража, канд. техн. наук, проф.
(Національний авіаційний університет)
А.М. Желіба, асист.
(Національний авіаційний університет)

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЛАНОВАНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦІЇ ФІЛЬТРОЕЛЕМЕНТІВ МЕТОДОМ ДЕСОРБЦІЇ ГАЗУ З МІЮЧОЇ РІДИНИ

Розглянуто математичну модель восьмифакторного планованого експерименту, перевірку адекватності моделі і перевірку значущості коефіцієнтів регресії. Наведено значущі фактори, матрицю і план факторного експерименту.

Для очищення робочих рідин від механічних забруднень у функціональних системах повітряних суден і технологічних стендах на підприємствах цивільної авіації найбільш широке застосування одержали механічні фільтри.

За статистичними даними експлуатаційного забруднення механічних фільтрів в умовах експлуатації, виробництва і ремонту за час напрацювання на повітряному судні до 50 год рівень забруднення фільтроелементів може перевищуватися в 3,75 рази [1]. З цієї причини виникає не-

обхідність робити часту заміну фільтруючих елементів для підтримання заданого рівня чистоти робочих рідин. Сумарні витрати на відновлення фільтроелементів становлять понад 50% від загальної витрати засобів на підтримку нормованого класу чистоти в системах відповідно до ГОСТ 17216-71. Зменшити витрати на відновлення фільтроелементів можливо розробкою нових і вдосконаленням наявних засобів очищення.

Розроблена установка для регенерації фільтроелементів методом десорбції газу з миючої рідини дозволяє зменшити витрати на їх відновлення.

Для дослідження впливу різних факторів на процес очищення фільтруючих елементів проведено експерименти.

На процес регенерації фільтроелементів впливає до 15 факторів, що характеризують вплив зовнішнього середовища. Аналіз впливу значущих восьми факторів на процес регенерації виконано з урахуванням апріорної інформації [2] і обґрунтуванням їхніх основних рівнів. Метою аналізу є виділення значущих факторів для побудови математичної моделі процесу регенерації методом десорбції газу з миючої рідини. У випадках неможливості кількісної оцінки змінної величини використовували якісні фактори. У результаті аналізу визначено спрямованість і ступінь впливу ряду факторів на ефективність процесу регенерації. Аналіз апріорної інформації зазвичай від зміни функції відгуку і кривизни поверхні надав можливість знайти локальну область виконання експериментальних досліджень, що задається основними рівнями й інтервалами варіювання факторів.

Виконане математичне моделювання роботи установки для очищення фільтраційного матеріалу методом десорбції газу з миючої рідини дозволило визначити область оптимальних значень факторів.

У план експерименту були включені вісім факторів для побудови залежностей $\varphi = f(\tilde{\chi}_i)$, де $i = 1 \dots 8$. Локальна область здійснення експерименту у вигляді рівнів і інтервалів варіювання факторів подано в табл. 1.

Таблиця 1

$\tilde{\chi}_j$	Фактор	Рівень факторів			Інтервал варіювання J_j
		$\tilde{\chi}_{jn}$	$\tilde{\chi}_{j0}$	$\tilde{\chi}_{jб}$	
		-1	0	+1	
$\tilde{\chi}_1$	Час витримування T, хв	5	10	15	5
$\tilde{\chi}_2$	Газ	CO ₂	Повітря	CH ₄	-
$\tilde{\chi}_3$	Рідина	ТС-1	H ₂ O+ ПАВ	АМГ-10	-
$\tilde{\chi}_4$	Тиск P, МПа	5	10	15	5
$\tilde{\chi}_5$	Об'єм миючої рідини V, см ³	1	2	3	1
$\tilde{\chi}_6$	Ступінь забруднення фільтра ϕ	0,30	0,50	0,70	0,20
$\tilde{\chi}_7$	Температура t, °C	20	30	40	10
$\tilde{\chi}_8$	Кількість циклів регенерації n	1	2	3	1

Для побудови матриці планування використовували дрібно-факторний план 2^{8-4} , тобто 1/16 репліки від повного факторного плану 2^8 , із генерувальними співвідношеннями:

$$\chi_5 = \chi_1 \chi_2 \chi_3; \quad \chi_6 = \chi_1 \chi_3 \chi_4; \quad \chi_7 = \chi_2 \chi_3 \chi_4; \quad \chi_8 = \chi_1 \chi_2 \chi_3 \chi_4$$

і визначальними контрастами [2; 3]:

$$1 = \chi_1 \chi_2 \chi_3 \chi_5; \quad 1 = \chi_1 \chi_3 \chi_4 \chi_6; \quad 1 = \chi_2 \chi_3 \chi_4 \chi_7; \quad 1 = \chi_1 \chi_2 \chi_3 \chi_4 \chi_8.$$

Узагальнюючий визначальний контраст отримано перемноженням визначальних контрастів попарно-по три і чотири:

$$1 = \chi_1\chi_2\chi_3\chi_5 = \chi_1\chi_3\chi_4\chi_6 = \chi_2\chi_3\chi_4\chi_7 = \chi_1\chi_2\chi_3\chi_4\chi_8 = \chi_2\chi_4\chi_5\chi_6 = \chi_1\chi_4\chi_5\chi_7 = \chi_4\chi_5\chi_8 = \chi_1\chi_2\chi_6\chi_7 = \\ = \chi_2\chi_6\chi_8 = \chi_1\chi_7\chi_8 = \chi_3\chi_5\chi_6\chi_7 = \chi_2\chi_3\chi_5\chi_7\chi_8 = \chi_1\chi_3\chi_5\chi_6\chi_8 = \chi_3\chi_4\chi_6\chi_7\chi_8 = \chi_1\chi_2\chi_3\chi_4\chi_5\chi_6\chi_7\chi_8.$$

У записі системи змішування для лінійних ефектів і частини парних взаємодій усі взаємодії, починаючи з потрійних і вище, не враховуються:

$$\begin{aligned} b_1 &\rightarrow \beta_1 + \beta_{78}; & b_{12} &\rightarrow \beta_{12} + \beta_{35} + \beta_{67}; \\ b_2 &\rightarrow \beta_2 + \beta_{68}; & b_{13} &\rightarrow \beta_{13} + \beta_{25} + \beta_{46}; \\ b_3 &\rightarrow \beta_3; & b_{14} &\rightarrow \beta_{14} + \beta_{36} + \beta_{57}; \\ b_4 &\rightarrow \beta_4 + \beta_{58}; & b_{15} &\rightarrow \beta_{15} + \beta_{23} + \beta_{47}; \\ b_5 &\rightarrow \beta_5 + \beta_{48}; & b_{16} &\rightarrow \beta_{16} + \beta_{34} + \beta_{27}; \\ b_6 &\rightarrow \beta_6 + \beta_{28}; & b_{17} &\rightarrow \beta_{17} + \beta_{45} + \beta_{26} + \beta_8; \\ b_7 &\rightarrow \beta_7 + \beta_{18}; & b_{18} &\rightarrow \beta_{18} + \beta_7; \\ b_8 &\rightarrow \beta_8 + \beta_{17} + \beta_{45} + \beta_{26}; & b_{23} &\rightarrow \beta_{23} + \beta_{15} + \beta_{47}. \end{aligned}$$

Роздільна здатність такої репліки невисока. Тому для одержання реальних оцінок лінійних ефектів реалізовано другу репліку від 2^{8-4} методом крутого перевалу.

Матрицю планування для цієї репліки (табл. 2) отримано з першої репліки зміною в ній усіх знаків на обернені. Така репліка задається генерувальними співвідношеннями:

$$\chi_5 = -\chi_1\chi_2\chi_3; \quad \chi_6 = -\chi_1\chi_3\chi_4; \quad \chi_7 = -\chi_2\chi_3\chi_4; \quad \chi_8 = -\chi_1\chi_2\chi_3\chi_4$$

і визначальними контрастами:

$$1 = -\chi_1\chi_2\chi_3\chi_5; \quad 1 = -\chi_1\chi_3\chi_4\chi_6; \quad 1 = -\chi_2\chi_3\chi_4\chi_7; \quad 1 = -\chi_1\chi_2\chi_3\chi_4\chi_8.$$

Таблиця 2

Номер випробування	Випадковий порядок реалізації	Кодоване значення факторів								
		χ_0	χ_1	χ_2	χ_3	χ_4	χ_5	χ_6	χ_7	χ_8
1	26,29	+	-	-	-	-	-	-	-	+
2	7,20	+	+	-	-	-	+	+	-	-
3	4,13	+	-	+	-	-	+	-	+	-
4	3,27	+	+	+	-	-	-	+	+	+
5	15,17	+	-	-	+	-	+	+	+	-
6	25,30	+	+	-	+	-	-	-	+	+
7	5,16	+	-	+	+	-	-	+	-	+
8	8,11	+	+	+	+	-	+	-	-	-
9	10,14	+	-	-	-	+	-	+	+	-
10	19,28	+	+	-	-	+	+	-	+	+
11	12,31	+	-	+	-	+	+	+	-	+
12	21,32	+	+	+	-	+	-	-	-	-
13	2,24	+	-	-	+	+	+	-	-	+
14	18,23	+	+	-	+	+	-	+	-	-
15	6,22	+	-	+	+	+	-	-	+	-
16	1,9	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Узагальнюючий визначальний контраст у цьому випадку може мати вигляд:

$$1 = -\chi_1\chi_2\chi_3\chi_5 = -\chi_1\chi_3\chi_4\chi_6 = -\chi_2\chi_3\chi_4\chi_7 = \chi_1\chi_2\chi_3\chi_4\chi_8 = \chi_2\chi_4\chi_5\chi_6 = \chi_1\chi_4\chi_5\chi_7 = -\chi_4\chi_5\chi_8 = \chi_1\chi_2\chi_6\chi_7 = \\ = -\chi_2\chi_6\chi_8 = -\chi_1\chi_7\chi_8 = -\chi_3\chi_5\chi_6\chi_7 = \chi_2\chi_3\chi_5\chi_7\chi_8 = \chi_1\chi_3\chi_5\chi_6\chi_8 = \chi_3\chi_4\chi_6\chi_7\chi_8 = -\chi_1\chi_2\chi_3\chi_4\chi_5\chi_6\chi_7\chi_8,$$

а спільні оцінки лінійних ефектів і частини парних взаємодій аналогічні лінійним ефектам і частинам парних взаємодій у першій репліці.

Усереднення спільних оцінок за двома такими репліками цілком звільняє від парних і половини потрійних взаємодій лінійні ефекти.

Коефіцієнти регресії в рівнянні функції відгуку визначали за формулами:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}; \quad b_j = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \chi_{ji}}{N},$$

де $N = \sum_{i=1}^N \chi_{ji}^2$; $j = 0, 1, 2, \dots, k$; j – номер фактора; i – номер досліджу.

Перевірку однорідності дисперсій для $N=16$ з рівним числом паралельних дослідів виконували за допомогою критерію Кохрена:

$$G = S_{\max}^2 / \sum_{i=1}^N S_i^2,$$

де S_{\max}^2 – найбільша в досвідах дисперсія; S_i^2 – дисперсія в кожному досліді.

Перевірку адекватності моделі здійснювали за критерієм Фишера [2]:

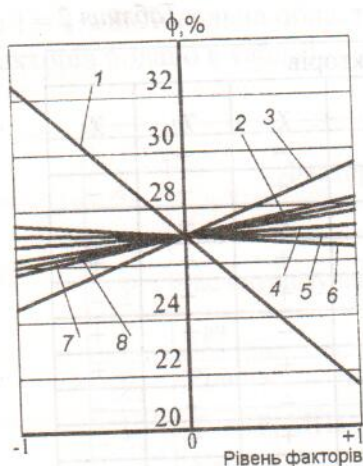
$$F = S_{\text{ад}}^2 / S_{\{y\}}^2,$$

де $S_{\text{ад}}^2$ – дисперсія адекватності; $S_{\{y\}}^2$ – дисперсія відтворюваності.

Перевірку значущості коефіцієнтів регресії виконували на порівнянні абсолютної величини кожного з них із довірчим інтервалом [2]:

$$\Delta b_j = \pm t \times S_{\{b_j\}},$$

де t – табличне значення критерію Стьюдента при числі степенів вільності $f_{\text{ст}} = N(n-1)$ для $S_{\{y\}}^2$ і рівня значущості 0,05; $S_{\{b_j\}}$ – квадратична помилка коефіцієнта регресії.



Вплив факторів на функцію відгуку математичної моделі регенерації:

1 – χ_6 ; 2 – χ_1 ; 3 – χ_8 ; 4 – χ_4 ;
5 – χ_5 ; 6 – χ_2 ; 7 – χ_7 ; 8 – χ_3

Лінійна апроксимація функції відгуку після реалізації основної репліки (табл. 2) і оберненої їй репліки методом перевалу з метою звільнення від взаємодій вище першого порядку і після регресійного аналізу дозволила одержати лінійну математичну модель процесу регенерації фільтроелементів методом десорбції газу з мийочною рідиною [1; 2]:

$$\hat{y}_1 = 27,0 + 1,0\chi_1 - 0,5\chi_2 - 0,28\chi_3 + 0,34\chi_4 - 0,094\chi_5 + 5,375\chi_6 + 0,81\chi_7 + 2,1\chi_8.$$

Спрямованість впливу ряду факторів на ступінь регенерації ϕ показано на рисунку. Ступінь регенерації при нульовому рівні факторів дорівнює 27%. Найбільший вплив на збільшення ступеня регенерації роблять змінні χ_6 і χ_8 (вихідний ступінь забруднення фільтроелемента і кількість циклів регенерації). При збільшенні абсолютного значення χ_8 ступінь регенерації зростає. Збільшення ступеня регенерації викликає зменшення абсолютного значення χ_6 . Спрямованість впливу змінних χ_2, χ_3, χ_5 ідентична впливу змінної χ_6 , а спрямованість впливу змінних χ_1, χ_3, χ_7 ідентична впливу змінної χ_8 . Це видно з порівняння абсолютних величин коефіцієнтів рівняння регресії.

Список літератури

1. Беянин П.Н., Черненко Ж.С. Авиационные фильтры и очистители гидравлических систем. – М.: Машиностроение. 1964. – 294 с.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
3. Налимов В.В. Теория эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 207 с.

Стаття надійшла до редакції 21.11.02.