

Управление селективностью конкретного сложного многостадийного процесса окисления смеси углеводородов (газового бензина) в промышленных условиях проводилось по статистическим моделям, выражающим зависимость выхода целевого продукта от параметров процесса: состава сырья, температуры в реакционной зоне и времени пребывания в реакторе (или скорости расхода сырья). Опыт был реализован по схеме полного факторного эксперимента (ПФЭ) [1]; количество факторов — $N = n^k$, эксперимент проводился на двух уровнях — $n = 2$, и количество факторов — $k = 3$. Температура в середине реактора z_1 менялась в диапазоне 173—179°С, расход шихты в реакторе z_2 — в диапазоне 4—7 т/ч, а состав шихты z_3 — 40—60% по легкой фракции. Изучали влияние этих факторов на содержание уксусной, муравьиной и пропионовой кислот в оксидате на выходе из реакторов. Каждый опыт повторялся 3 раза ($m = 3$).

Основные уровни $z_i^0 = (z_i^{\max} + z_i^{\min})/2$ и интервалы варьирования $\Delta z_i = (z_i^{\max} - z_i^{\min})/z$ при проведении опытов были следующие:

$$z_1^0 = 176^\circ\text{C}, \quad \Delta z_1 = 3^\circ\text{C}; \quad z_2^0 = 5,5 \text{ т/ч}, \quad \Delta z_2 = 1,5 \text{ т/ч};$$

$$z_3^0 = 50\%, \quad \Delta z_3 = 10\%.$$

Функции отклика $f = f(x_1, x_2, x_3)$, $\varphi = \varphi(x_1, x_2, x_3)$ и $\psi = \psi(x_1, x_2, x_3)$ соответственно для уксусной, муравьиной и пропионовой кислот определялись в виде уравнений регрессий с коэффициентами взаимодействия

$$\begin{aligned} f = & a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + \\ & + a_{23}x_2x_3 + a_{123}x_1x_2x_3, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \varphi = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + \\ & + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \end{aligned} \quad (2)$$

$$\psi = c_0 + c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_{12}x_1x_2 + c_{13}x_1x_3 + c_{23}x_2x_3 + c_{123}x_1x_2x_3. \quad (3)$$

От системы координат $\{z_i\}$ путем линейного преобразования перейдем к безразмерной системе координат $\{X_i\}$

$$x_i = (z_i - z_i^0) \Delta z_i \quad (i = 1, 2, 3) \quad (4)$$

и введем в ПФЭ столбец фиктивной переменной $x_0 = 1$. В каждой строчке матрицы средние значения выхода уксусной кислоты в оксидате получены по трем измерениям

$$f_j = \sum_{i=1}^m f_{ij}/m \quad (j = 1, 2, \dots, 8, \quad m = 3),$$

а дисперсия равна

$$S_j^2 = \sum_{i=1}^m (f_{ij} - f_j)^2 / (m - 1).$$

Дисперсия по критерию Кохрена для уровня значимости $P = 0,05$ и числа степеней свободы $r_1 = m - 1$, $r_2 = N$ однородны. Тогда дис-

дисперсия воспроизводимости определяется как средняя арифметическая

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n S_j^2}{n}, \quad n = 8, \text{ а ее число степеней свободы равно } N(m-1).$$

Коэффициенты уравнения регрессии определим по формуле

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} f_j}{n}, \quad (i = 0, 1, 2, 3, 1,2, 1,3, 2,3, 1,2,3),$$

а ошибку коэффициентов — $S_{a_i}^2 = S_{\text{воспр}}^2 / Nm$.

После исключения незначимых коэффициентов по критерию Стьюдента, уравнение регрессии (1) для уксусной кислоты примет вид (таблица)

$$\hat{f} = 30,8 - 0,6x_1 - 1,43x_2 + 1,12x_1x_2, \quad (5)$$

Дисперсия адекватности определялась по формуле

$$S_{a_i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (\hat{f}_j - \bar{f})^2}{N - l},$$

где l — число значимых коэффициентов в (5). По критерию Фишера для $P = 0,05$, чисел степеней свободы дисперсии адекватности $r_1 = N - l$ и $r_2 = N(m - 1)$ удовлетворяется условие адекватности уравнения регрессии (5) эксперименту.

Аналогично, уравнения регрессии для муравьиной (2) и пропионо-вой (3) кислоты примут вид

$$\varphi = 10,91 - 0,49x_1 - 0,29x_2 - 0,36x_1x_2, \quad (6)$$

$$\psi = 5,81 - 0,54x_1 + 0,61x_2 - 0,33x_1x_2x_3, \quad (7)$$

которые также адекватны эксперименту.

Совместно решая (4) — (6), получаем уравнения в натуральных единицах измерения

$$f = 280,353 - 1,369z_1 - 14,204z_2 - 0,143z_3 + 0,249z_1z_2,$$

$$\varphi = 118,16 - 0,603z_1 - 14,273z_2 + 0,98z_1z_2,$$

$$\psi = -432,805 + 2,509z_1 + 68,444z_2 + 9,526z_3 - 0,389z_1z_2 -$$

$$- 0,05z_1z_3 - 1,369z_2z_3 + 0,008z_1z_2z_3,$$

где z_1 — температура в середине реактора, °С; z_2 — расход шихты в реакторе, т/ч; z_3 — содержание легкой фракции в шихте, %.

Проверка адекватности моделей проведена по данным работы реакторной системы С узла окисления газового бензина.

Таблица

Расширенная матрица планирования (ПЭФ 2³) и результаты измерений

№ опыта	Факторы в безразмерном масштабе								Выход продукта, эксперимент, вес %			Дисперсия S^2			Выход продукта, расчеты, вес %			$(\bar{y}-\bar{y})^2$	$(\bar{f}-\bar{f})^2$	$(\bar{y}-\bar{f})^2$
	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	м. к.	у. к.	п. к.	м. к.	у. к.	п. к.	м. к.	у. к.	п. к.	м. к.	у. к.	п. к.
1	-	-	-	-	+	-	-	+	12,2	33,9	5,07	0,43	0,6	0,02	12,05	33,23	5,08	0,02	0,45	0,000
2	+	-	-	+	+	-	-	+	11,9	29,8	7,70	0,19	2,7	0,19	12,05	30,37	7,64	0,62	0,32	0,004
3	+	+	-	-	-	+	+	+	10,5	29,5	5,73	0,25	0,3	0,64	10,75	29,79	5,70	0,95	0,08	0,001
4	+	+	+	-	-	-	-	-	11,0	27,3	6,87	1,09	0,8	0,05	10,75	26,97	6,94	0,06	0,11	0,005
5	-	+	-	+	+	-	+	+	10,4	30,5	5,17	0,18	1,7	0,10	10,35	30,99	5,1	0,003	0,24	0,029
6	-	+	+	-	+	+	-	-	10,3	28,5	5,10	0,38	1,4	0,07	10,35	28,13	5,20	0,003	0,14	0,010
7	-	+	-	+	-	-	+	+	10,0	32,1	4,80	0,01	0,3	0,01	10,49	32,03	4,64	0,240	0,01	0,025
8	+	+	+	+	+	+	+	+	11,0	29,0	6,00	0,22	0,7	0,01	10,49	29,17	5,90	0,260	0,03	0,010

Примечание: \bar{y} — средние значения экспериментальных данных; \bar{f} — расчетные значения выходов кислот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Краковский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М: Наука, 1976. — 197 с.

ВЦ АН Армении

25. VIII. 1989

Изв. АН Армении (сер. ТН), т. XLIII, № 5, 1990, с. 237—241.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 62.50

С. С. ЗАХАРЬЯН, Э. В. КАРСЯН, С. Е. ЧИМИШКЯН

ПРИНЦИП УПЛОТНЕНИЯ В ПРОБЛЕМЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РОБАСТНЫХ МНОГОСВЯЗНЫХ САР

Показано, что в основе довольно общей и результативной методологии рассмотрения многосвязанных систем автоматического регулирования (МСАР) лежит принцип уплотнения во временной или в частотной области. Указан способ получения на его основе ряда существующих частотных методов: метода характеристических топографов, аппарата главных передаточных функций с направлениями, принципа нормальной помехоустойчивости и др.

Пл. 1. Блблнотр.: 5 назв.

Յուշը է արված, որ փոփոխականների խտացման սկզբունքը մեծածախյին կամ նախափական տիրույթում բազմակապ ավտոմատ կարգավորման նամակարգերի (ՄՍԱՐ) ուսումնասիրման բազմակամին ընդհանուր և արդյունավետ մեթոդիկայի խորք է նախդասելով Յուշը է արված նաև ինչպես անգնել աղ սկզբունքից մի շարք հայտեր նախափական մեթոդների, որիսկի՝ բնութագրային տողագրաֆների մեթոդի, գլխավոր փոխանցման ֆունկցիաների և գրականոր աղբյուրների մեթոդի, նորմալ դիրեկտորային սկզբունքի և այլն:

В настоящее время у разработчиков систем автоматики возникают серьезные проблемы при автоматизации многосвязанных объектов. Многообещающими являются методы рассмотрения многосвязанных систем автоматического регулирования (МСАР), позволяющие разложить многомерную задачу на ряд относительно независимых. К последним можно применить классические методы теории систем «один вход—один выход», что облегчает процедуру анализа и синтеза.

Рассмотрим характерные для практических задач МСАР с одинаковым числом входов и выходов m , изображенные на рис. 1, где $G(s)$, $\Lambda(s)$ и $W(s)$ —передаточные матрицы (ПМ) линеаризованного объекта, линейного компенсатора и линейной части разомкнутой системы, а Bl_1 и Bl_2 —блоки статических секторных нелинейностей, учитывающие нелинейности датчиков и неполнотельных органов. Цель работы—показать на примере таких систем, как многие распространенные методы рассмотрения МСАР, не использующие описанный выше прием разложения многомерной задачи, вытекают из принципа уплотнения, дающего весьма общую методологию исследования МСАР [1].