

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 662.74:519.242

Л. Л. Прилепская, В. С. Швед

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА УГОЛЬНЫХ ШИХТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

Эффективное функционирование работы коксохимического предприятия во многом определяется сырьевой базой коксования.

Составление угольных шихт, которые должны обладать достаточно высокой спекаемостью и обеспечивать получение прочного кокса, является сложной задачей, зависящей от поставок углей и опыта сотрудников углеподготовительного цеха.

Подбор оптимальных составов шихт более точно можно осуществить путем использования методов прикладной математики, в т.ч. методов планирования эксперимента и статистической обработки результатов [1-3].

При выборе метода планирования эксперимента для подбора оптимальных составов смесей предпочтение отдают симплекс-решетчатому методу [1, 2], поскольку его использование допускает обработку результатов при условии, когда суммарное значение всех факторов (переменных) постоянно и равно 1 (100%), т.е. $\sum x_i = 1$, где x_i –

содержание данного компонента в смеси, доли.

Для составления плана эксперимента на основании предварительных опытов или литературных источников выбирают такой тип матрицы, который адекватно отражает эмпирическую зависимость между наблюдаемыми величинами, в частности, в данной работе использовалась матрица типа {3, 4}, в которой факторное пространство представлено правильным симплексом в виде равностороннего треугольника. Такая матрица применяется для трехкомпонентных шихт с последующим составлением уравнения регрессии четвертого порядка. Выбор степени модели осуществляется в соответствии с принципом пошагового поиска с проверкой адекватности полученного уравнения.

Свойства смеси исследовались в заданных точках решетки симплекса, в которой вершины треугольника соответствуют чистым веществам, стороны – двойным смесям, точки внутри сим-

Матрица планирования и результаты эксперимента

Но- мер опы- та	Состав шихты, доли			Спекаемость	
	x_1	x_2	x_3	Ив, мм	Обозна- чение
1	1	0	0	72	y_1
2	0	1	0	145	y_2
3	0	0	1	5,5	y_3
4	1/2	1/2	0	118	y_{12}
5	0	1/2	1/2	76	y_{23}
6	1/2	0	1/2	21	y_{13}
7	1/4	3/4	0	130	y_{122}
8	3/4	1/4	0	81	y_{1112}
9	0	3/4	1/4	126	y_{2223}
10	0	1/4	3/4	19	y_{2333}
11	1/4	0	3/4	8	y_{1333}
12	3/4	0	1/4	37	y_{1113}
13	1/4	1/4	1/2	30	y_{1233}
14	1/4	1/2	1/4	96	y_{1223}
15	1/2	1/4	1/4	53	y_{1123}
16	0,37	0,20	0,43	32	Кон- трольные опыты
17	0,30	0,30	0,40	42,5	

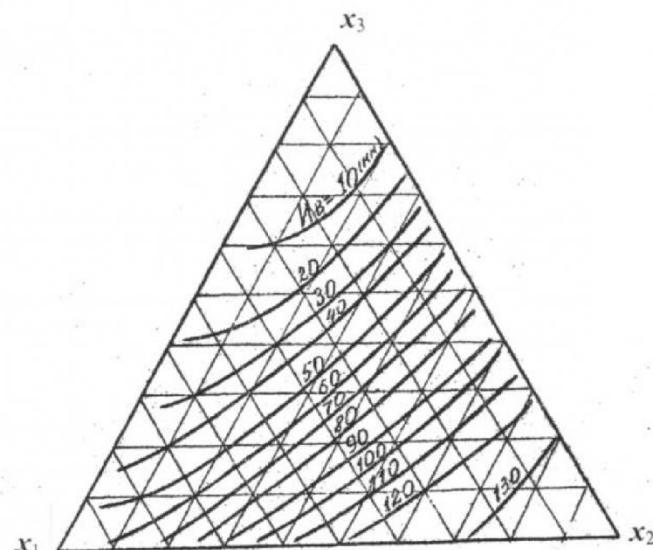


Диаграмма
«состав угольной шихты – индекс вспучивания»

плекса – тройным смесям. Необходимое число опытов N рассчитывалось по формуле

$$N = \frac{(n+q-1)!}{n!(q-1)!},$$

где n – степень полинома, q – число компонентов смеси. При $n = 4$ и $q = 3$ $N = 15$.

Полином четвертого порядка для трехкомпонентной смеси имеет вид:

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \gamma_{12} x_1 x_2 (x_1 + x_2) + \gamma_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3) + \gamma_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3) + \delta_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2)^2 + \delta_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3)^2 + \delta_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3)^2 + \beta_{1123} x_1^2 x_2 x_3 + \beta_{1223} x_1 x_2^2 x_3 + \beta_{1233} x_1 x_2 x_3^2$$

На данном этапе эксперимента проводился поиск области с оптимальным составом шихты. С этой целью изучалась спекаемость шихты. Для их составления использовались кузнецкие угли: газовые ОФ им. Кирова (x_1), жирные Абашевской ОФ (x_2) и коксовые Анжерского шахтоуправления (x_3). Спекаемость (индекс вспучивания, Ив) определялась по методу ИГИ-ДМетИ [3].

Матрица планирования и результаты эксперимента представлены в таблице.

Далее проводился расчет коэффициентов уравнения регрессии на основе данных таблицы в соответствии с формулами VI.46 [1]. При этом получена математическая зависимость между спекаемостью (y) и составом угольной шихты (x_i):

$$y = 72,0 x_1 + 145,0 x_2 + 5,5 x_3 + 38,0 x_1 x_2 + 2,0 x_2 x_3 - 72,0 x_1 x_3 - 66,6 x_1 x_2 (x_1 - x_2) + 200,0 x_2 x_3 (x_2 - x_3) - 21,3 x_1 x_3 (x_1 - x_3) - 216,0 x_1 x_2 (x_1 - x_2)^2 - 72,0 x_2 x_3 (x_2 - x_3)^2 - 64,0 x_1 x_3 (x_1 - x_3)^2 - 584,0 x_1^2 x_2 x_3 - 581,3 x_1 x_2^2 x_3 - 909,3 x_1 x_2 x_3^2$$

Воспроизводимость эксперимента была проверена по критерию Кохрена.

Для проверки полученного уравнения регрес-

сии на адекватность дополнительно были проведены два опыта с вариантами шихт 16, 17 (см. табл.).

Для данных точек с использованием уравнения регрессии определены также расчетные значения спекаемости:

$$\begin{aligned} y_{16} &= 72,0 * 0,37 + 145,0 * 0,20 + 5,5 * 0,43 + \\ &\quad 38,0 * 0,37 * 0,20 + 2,0 * 0,20 * 0,43 - \\ &\quad 72,0 * 0,37 * 0,43 - 66,6 * 0,37 * 0,20 * (0,37 - \\ &\quad 0,20) + 200,0 * 0,20 * 0,43 * (0,20 - 0,43) - \\ &\quad 21,3 * 0,37 * 0,43 * (0,37 - 0,43) - \\ &\quad 216,0 * 0,37 * 0,20 * (0,37 - 0,20)^2 - \\ &\quad 72,0 * 0,20 * 0,43 * (0,20 - 0,43)^2 - \\ &\quad 64,0 * 0,37 * 0,43 * (0,37 - 0,43)^2 - \\ &\quad 584 * 0,37^2 * 0,20 * 0,43 + 581,3 * 0,37 * 0,20^2 * 0,43 - \\ &\quad 909,3 * 0,37 * 0,20 * 0,43^2 = 28,7 \text{ (мм)}; \\ \text{аналогично рассчитано } y_{17} &= 47,1 \text{ (мм).} \end{aligned}$$

Адекватность уравнения регрессии, описывающего зависимость между составом шихты и ее спекаемостью, на основе анализа экспериментальных и расчетных результатов опытов №16 и 17 была подтверждена с помощью критерия Стьюдента.

Далее производился анализ геометрической поверхности симплекса. С этой целью была произведен компьютерный анализ уравнения регрессии, в результате которого была построена диаграмма «состав-свойство» (см. рис.).

Контурные изолинии на диаграмме соответствуют составам шихт, характеризующихся равной спекаемостью.

Поиск области с оптимальным составом угольной шихты можно осуществить на основе полученной диаграммы с учетом сырьевой базы коксования и технико-экономических показателей работы предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахназарова, С. Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров – М.: Вышш. шк., 1978. – 319 с.
2. Бондарь, А. Г. Планирование эксперимента в химической технологии / А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха – Киев: Вища школа, 1976. – 184 с.
3. Попов, А. М. Информатика и математика: учеб. Пособие для студентов вузов / А. М. Попов, В. Н. Сотников, Е. И. Нагаева – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008. – 303 с.
4. Обуховский, Я. М. Дилатометрия углей, применяемых для коксования / Я. М. Обуховский, А. М. Шейхет – М.: Металлургия, 1967. – 180 с.

□ Авторы статьи:

Прилепская

Людмила Львовна

– канд техн. наук, доц. каф.
химии и технологии неорганиче-
ских веществ КузГТУ,
Тел. 8-3842-39-63-17,

Швед

Виктор Семенович

– канд техн. наук, начальник
ЦЗЛ ОАО «Кокс»,
тел. 89617068864.