

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕЛЕКТИВНОЙ ФЛОКУЛЯЦИИ УГЛЕЙ МАСЛАМИ

Сергеев П.В., канд. тех. наук,
Донецкий национальный технический университет

Разработана регрессионная модель процесса селективной флокуляции тонкодисперсных углей маслами.

The regression model of the process of a selective flocculation of fine coal by oils is designed.

Низкая эффективность флотационного обогащения тонкодисперсных высокозольных углей приводит к значительным потерям органической массы углей с отходами. Возникает объективная необходимость в переобогащении флотоотходов с применением нетрадиционных технологий. Одной из них может являться селективная флокуляция углей маслами. Сущность ее заключается в избирательной агрегации тонких угольных частиц маслами-связующими, вводимыми в водоугольную суспензию при ее перемешивании [1]. Концентрат отделяется от минерализованной суспензии в виде углемасляных флокул в осадительных центрифугах или флотомашинах.

Эффективность селективной флокуляции маслами во многом определяется физико-химическими свойствами контактирующих фаз, гидродинамическими условиями перемешивания. Предварительные исследования позволили получить априорную информацию о наиболее значимых технологических параметрах процесса. К ним относятся: расход связующего, зольность исходного материала, интенсивность и время перемешивания, плотность суспензии, расход регулятора среды (едкого натра) [1]. Дальнейшие исследования характера и степени влияния на процесс указанных параметров осуществлялись на основе анализа регрессионной модели процесса, полученной по результатам активного факторного эксперимента.

При разработке статистической модели процесса был реализован симметричный некомпозиционный трехуровневый план Бокса-Бенкена для шести факторов, представляющий собой сочетание двухуровневого (-1,+1) полного факторного эксперимента с неполноблочным сбалансированным планом [2]. Эти планы по ряду статистических характеристик превосходят широко применяемые в настоящее время центрально-композиционные ортогональные и рототабельные планы [3]. План Бокса-Бенкена для шести факторов включает 48 основных и 6 опытов на нулевом уровне.

В качестве исходного сырья использовались флотоотходы углеподготовительного цеха № 1 Авдеевского КХЗ. Опыты проводились на специальном лабораторном турбулизаторе с мешалкой лопастного типа. Отделение концентрата от минерализованной суспензии осуществлялось в камере лабораторной флотомашин. В качестве связующего применялся продукт переработки каменноугольной смолы коксохимического производства – масло для омасливания шихты. Поскольку основной целью процесса являлось максимальное извлечение из флотоотходов органической массы углей, в качестве целевой функции Y_1 был выбран показатель зольности отходов масляной селекции ($A_{отх}^d, \%$).

Факторы и уровни их варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы и уровни их варьирования

Переменные	Код	Един. измерения	Интервал варьирования	Верхний уровень +1	Основн. уровень 0	Нижний уровень -1
Расход связующего	X1	%	1,0	3,0	2,0	1,0
Зольность исходного	X2	%	10	60	50	40
Окружная скорость	X3	м/с	1,6	4,8	3,2	1,6
Время флокуляции	X4	С	30	90	60	30
Плотность суспензии	X5	г/л	30	90	60	30
Расход едкого натрия	X6	%	0,01	0,02	0,01	0

Условия опытов были выбраны на основе априорной информации о процессе, что позволило определить координаты центра эксперимента в многофакторном пространстве в относительной близости от области оптимума.

Разработка и анализ регрессионной модели осуществлялись с использованием статистического модуля “Планирование эксперимента” программы Statgraphics Plus. С учетом значимости коэффициентов уравнение регрессии имеет вид:

$$Y_1 = 83,9367 + 3,73417 \cdot X_1 + 4,00958 \cdot X_2 + 4,115 \cdot X_5 - 1,95264 \cdot X_1^2 - 1,34625 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,47375 \cdot X_1 \cdot X_3 - 2,0425 \cdot X_1 \cdot X_5 - 0,875139 \cdot X_2^2 - 0,80375 \cdot X_2 \cdot X_3 - 2,20125 \cdot X_2 \cdot X_5 - 1,70639 \cdot X_5^2$$

Высокое значение коэффициента детерминации ($R_{sqf} = 0,98115$) свидетельствует об адекватности полученной регрессионной модели изучае-

тому процессу. Адекватность модели также подтверждается тем фактом, что р-значение теста Lack-of-Fit (потери согласия функции) равно 0,1439 превышает критическое ($p_{кр} = 0,05$) [4].

На рисунке 1 представлены наиболее характерные частные трехмерные сечения гиперповерхности целевой функции.

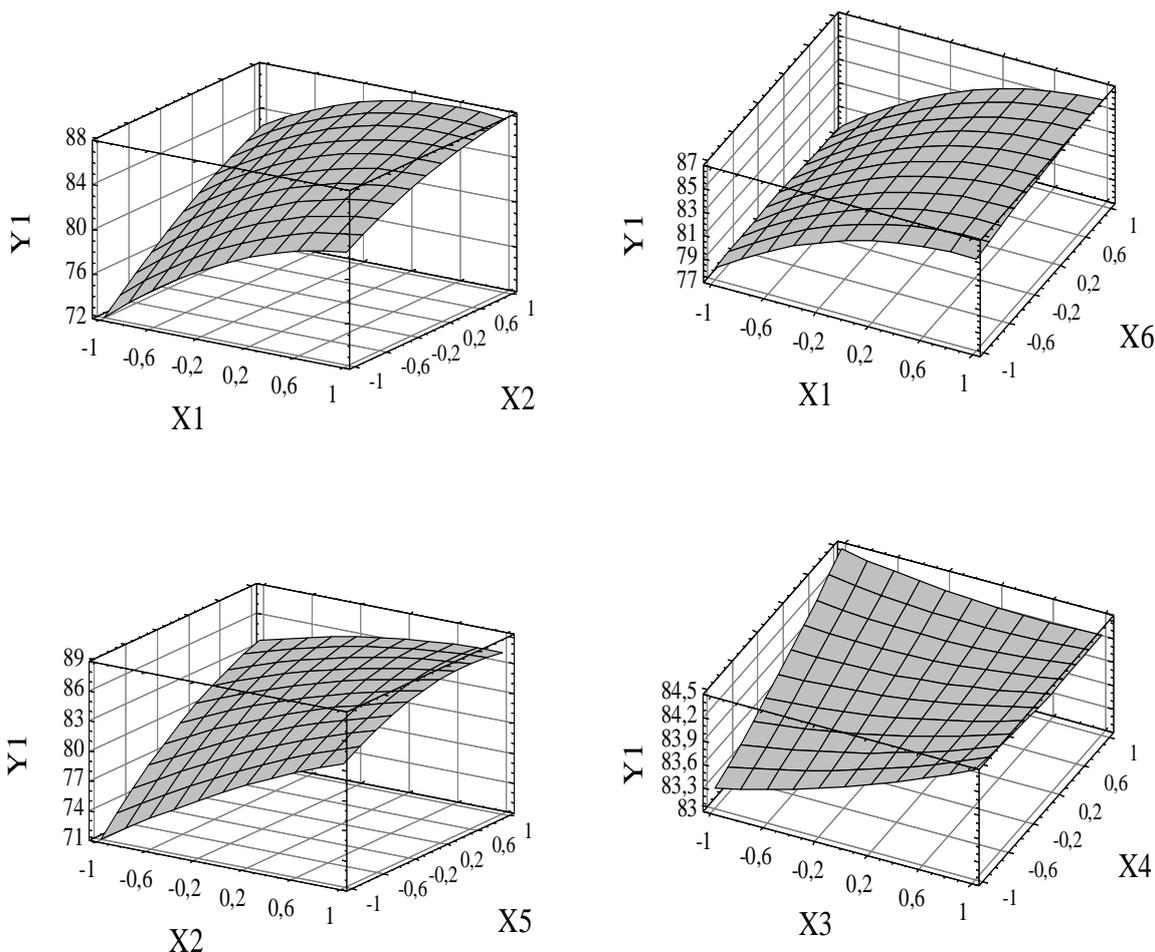


Рисунок 1- Трехмерные поверхности целевой функции регрессионной модели процесса селективной флокуляции углей маслами

Как видно из уравнения регрессии и рис.1 наиболее существенными факторами являются плотность исходной суспензии (X5), зольность флотоотходов (X2) и расход связующего (X1). Увеличение каждого из них приводит к заметному росту зольности отходов масляной флокуляции.

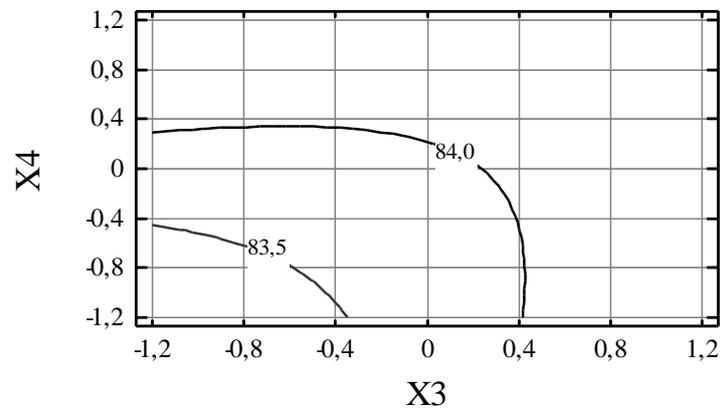
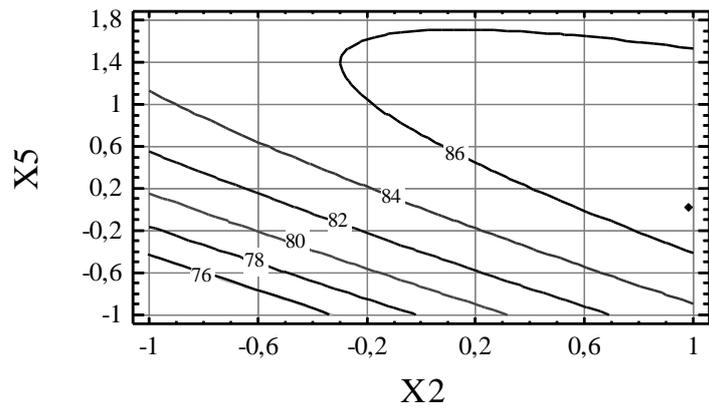
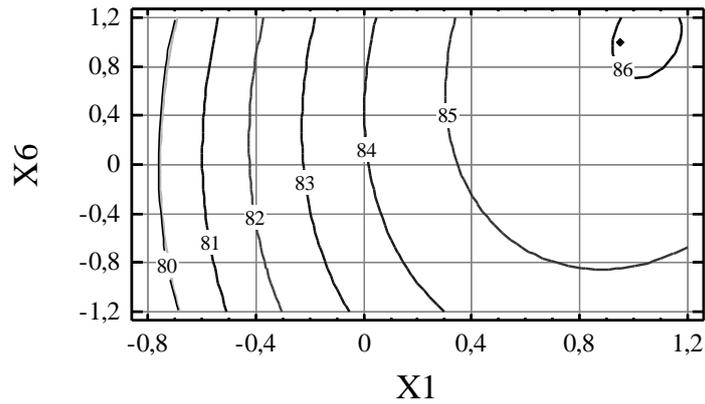
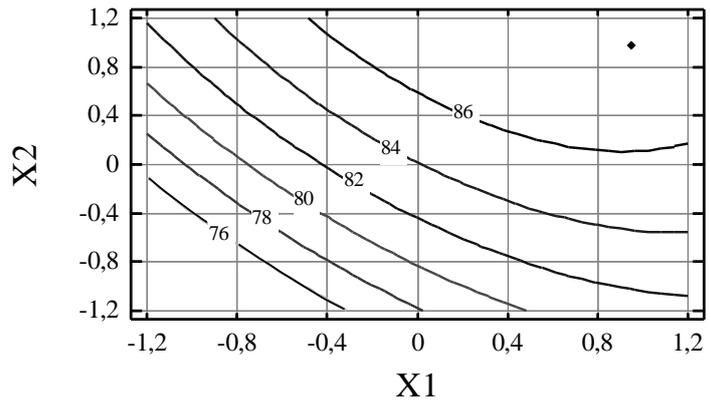


Рисунок 2 – Контурные кривые частных сечений поверхности целевой функции (точками обозначены оптимальные значения факторов).

При этом, как следует из анализа значений коэффициентов, описывающих эффекты парных взаимодействий факторов, одновременно с ростом расхода связующего и зольности исходного материала возможно уменьшение интенсивности перемешивания (фактора X3).

Незначимость коэффициентов модели, связанных с фактором времени флокуляции (X4), свидетельствует о высокой скорости масляной флокуляции. На данном виде сырья время флокуляции может составлять менее 30 с.

Степень влияния на процесс расхода едкого натрия (X6) может быть различной в зависимости от минерального состава исследуемых флотоотходов. В случае масляной флокуляции флотоотходов Авдеевского КХЗ едкий натрий не оказывает заметного влияния на качество продуктов обогащения.

В рамках того же статистического модуля проведены дополнительные исследования с целью определения оптимальных значений исследуемых факторов. Для этого использован стандартный алгоритм оптимизации модуля и построены частные контурные кривые гиперповерхности целевой функции (рис.2).

В пределах заданного в эксперименте факторного пространства экстремум целевой функции Y1 характеризуется следующими оптимальными значениями параметров:

$$\begin{aligned} X1 &= 0,951758; & X2 &= 0,982177; \\ X3 &= -0,933863; & X4 &= -0,999998; \\ X5 &= 0,0283302; & X6 &= 1,00000. \end{aligned}$$

Предсказанное значение целевой функции в точке экстремума составляет Y1 = 89,0163 %. В результате реализации опыта в точке экстремума получены отходы масляной флокуляции зольностью 88,86 %. Близость экспериментальных и расчетных значений целевой функции в точке экстремума является еще одним подтверждением адекватности полученного уравнения регрессии.

Таким образом, полученная регрессионная модель адекватно описывает процесс селективной флокуляции углей маслами и может быть использована при разработке опытно-промышленной установки.

Список источников.

1. Сергеев П.В., Білецький В.С. Селективна флокуляція вугілля.- Донецьк: ДонДТУ, УКЦентр, 1999.-136 с.
2. Бродский Б.З., Бродский Л.И., Голикова Т.И. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей.- М.: Металлургия, 1982.- 752 с.
- 3.Налимов В.В., Голикова Т.И. Логические основания планирования эксперимента.- М.: Металлургия, 1981.- 152 с.
4. Боровиков В. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов.- СПб.: Питер, 2001.- 656 с.