

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЛЕКТИВНОЙ ФЛОКУЛЯЦИИ АНТРАЦИТОВ СИНТЕТИЧЕСКИМИ ЛАТЕКСАМИ**

Сергеев П.В., канд. техн. наук., доц.,

Залевский В.И., канд. техн. наук, асс.,

Донецкий национальный технический университет

*Разработана и проанализирована регрессионная модель процесса селективной флокуляции антрацитовых шламов бутадиен-стирольным латексом БС-30Ф.*

*It is developed and analyzed regression model of process of selective flocculation of anthracitic slimes by styrene-butadiene latex BS-30F.*

Серьезным недостатком традиционной технологии обогащения угольных шламов – пенной флотации, является низкая селективность разделения частиц крупностью менее 50-60 мкм. Их повышенная концентрация в исходном питании приводит к ухудшению флотации как более крупных, так и тонких частиц и как следствие - к значительным потерям органической массы углей с флотоотходами.

Одним из наиболее эффективных путей повышения селективности разделения угольных шламов является внедрение технологии флокуляционно-флотационного обогащения с применением в качестве селективного флокулянта синтетических латексов [1,2]. Технология прошла широкую лабораторную, а также опытно-промышленную апробацию на ряде углеобогатительных фабрик Донбасса [3,4]. Однако, эти исследования проводились в основном на различных марках каменных коксующихся углей – Г,Ж, К и ОС. В тоже время проблема глубокого обогащения тонких классов энергетических углей и антрацитов стоит не менее остро, чем коксующихся. Внедрение технологии флокуляционно-флотационного обогащения на антрацитовых шламах позволит существенно снизить зольность топлива, а также расширить сырьевую базу современной теплоэнергетики.

Целью данной работы является изучение закономерностей процесса селективной флокуляции антрацитовых шламов синтетическими латексами.

Флокуляционно-флотационный способ обогащения углей и антрацитов – сложный, многоступенчатый процесс, эффективность которого зависит от целого ряда технологических факторов. Исследова-

ния показывают, что наиболее существенными из них являются расход флокулянта ( $q_{fl}$ ), время ( $\tau_{fl}$ ) и интенсивность турбулентного перемешивания ( $Re$  или  $n_{fl}$ ) на стадии флокуляции. Для оценки характера и степени влияния на процесс указанных параметров было принято решение о разработке статистической модели в виде уравнения регрессии, полученной по результатам активного многофакторного эксперимента.

При разработке регрессионной модели процесса был реализован центральный композиционный рототабельный план (ЦКРП) для трех факторов. Подобные планы обладают высокими статистическими характеристиками оптимальности и обеспечивают одинаковую точность модели во всех направлениях гиперпространства при минимальном количестве опытов [5]. Априорная информация показала, что линейные модели неадекватны процессу флокуляции, поэтому была поставлена задача разработки модели второго порядка в виде полного квадратичного полинома:

$$Y = A_0 + \sum_{i=1}^k A_i X_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k A_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k A_{ii} X_i^2$$

где  $Y$  - целевая функция;  $A_i$ ,  $A_{ij}$ ,  $A_{ii}$  - расчетные коэффициенты модели;  $k$  - число факторов.

Объектом флокуляции являлись антрацитовые шламовые воды ЦОФ "Комендантская" с содержанием твердого  $150 \text{ кг/м}^3$  и зольностью твердой фазы 32 %. В качестве флокулянта применялся латекс БС-30Ф производства Воронежского завода синтетических каучуков. Для повышения точности дозировки латекс разбавлялся водой в соотношении 1:100. После разведения водой рабочая концентрация флокулянта составляла 0,5% основного вещества, латекс обладал достаточной агрегативной устойчивостью, о чем свидетельствовало полное отсутствие коагулюма.

Селективная флокуляция шлама осуществлялась в смесителе емкостью  $750 \text{ см}^3$ , оборудованном импеллерной мешалкой с регулируемым приводом. Режим флокуляции ( $q_{fl}$ ,  $\tau_{fl}$ , и  $n_{fl}$ ) задавался в соответствии с планом эксперимента. Отделение сфлокулированного продукта от минерализованной суспензии проводилось в камере лабораторной флотомашины типа ФЛ-1 с объемом камеры  $750 \text{ см}^3$ . Ре-

жим флотационного разделения во всех экспериментах был постоянным:

- расход реагента-собираателя (керосина) – 2000 г/т шлама;
- расход реагента-вспенивателя ("Оксаль") – 150 г/т шлама;
- время кондиционирования пульпы с реагентами – 30 с;
- частота вращения импеллера – 1750 мин<sup>-1</sup>;
- удельный расход воздуха – 2 м<sup>3</sup>/ч·м<sup>2</sup>;
- время флотации – 2 минуты.

Продукты разделения – концентрат и отходы – обезвоживали, высушивали, взвешивали и определяли их зольность по стандартной методике. По полученным данным рассчитывали величину извлечения концентратных фракций в концентрат  $E$  по формуле:

$$E = \frac{\gamma_k (100 - A_k^d)}{100 - A_u^d}, \%$$

где  $\gamma_k$  – выход концентрата;  $A_k^d$  и  $A_u^d$  – зольность концентрата и исходного шлама соответственно. Величина  $E$  использовалась в данных исследованиях как целевая функция.

Разработка и анализ плана осуществлялись с помощью модуля "Планирование эксперимента" программы Statgraphics 3.0 Plus. Трехфакторный ЦКРП состоял из восьми опытов в ядре матрицы, шести звездных точек и шести опытов в центре плана. Величина звездного плеча  $\alpha=1,682$ . Факторы и уровни их варьирования приведены в табл. 1.

Таблица 1-Факторы и уровни их варьирования

Переменные	Код переменной	Един. измерения	Интервал варьирования	Верхн. уровень (+)	Основн. уровень (0)	Нижн. уровень (-)
Расход латекса	$X_1$	г/т	100	300	200	100
Интенсивность перемешивания	$X_2$	Re	$0,6 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^5$	$2,8 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^5$
Время флокуляции	$X_3$	с	45	135	90	45

Матрица планирования, экспериментальные и расчетные значения извлечения  $E$  в точках плана приведены в табл.2.

Таблица 2- Матрица планирования и результаты экспериментов

№ п/п	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$E_{\text{эксп, \%}}$	$E_{\text{расч, \%}}$
1	-1	-1	-1	87,19	87,62
2	1	-1	-1	89,81	89,83
3	-1	1	-1	86,95	86,58
4	1	1	-1	90,57	90,23
5	-1	-1	1	87,60	87,87
6	1	-1	1	89,10	89,39
7	-1	1	1	86,27	86,18
8	1	1	1	89,64	89,14
9	-1,682	0	0	86,25	86,07
10	1,682	0	0	90,13	90,41
11	0	-1,682	0	89,90	89,26
12	0	1,682	0	87,42	88,16
13	0	0	-1,682	88,72	88,84
14	0	0	1,682	88,15	88,13
15	0	0	0	90,72	90,47
16	0	0	0	90,35	90,47
17	0	0	0	90,97	90,47
18	0	0	0	90,34	90,47
19	0	0	0	90,22	90,47
20	0	0	0	90,25	90,47

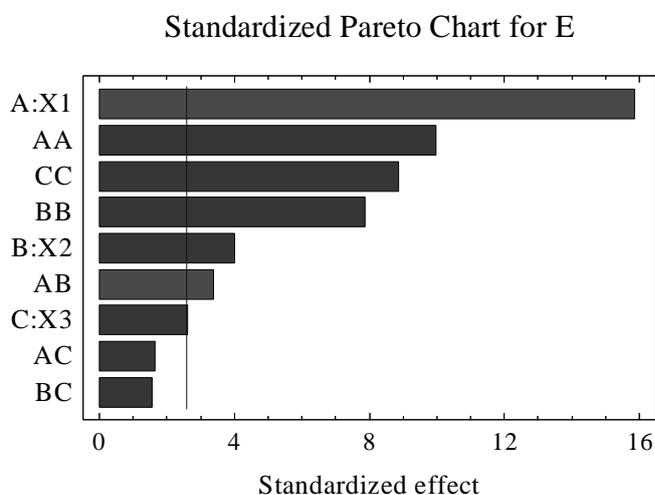


Рисунок 1 – Парето-карта коэффициентов модели

Проверка значимости коэффициентов модели осуществлялась с использованием Парето-карты (см.рис.1). Вертикальная линия на графике отвечает 95% доверительному интервалу. Как видно, статистически значимыми являются все коэффициенты модели, за исключением  $A_{13}$  и  $A_{23}$ , столбчатые диаграммы которых не дос-

тигают отмеченной вертикальной линией.

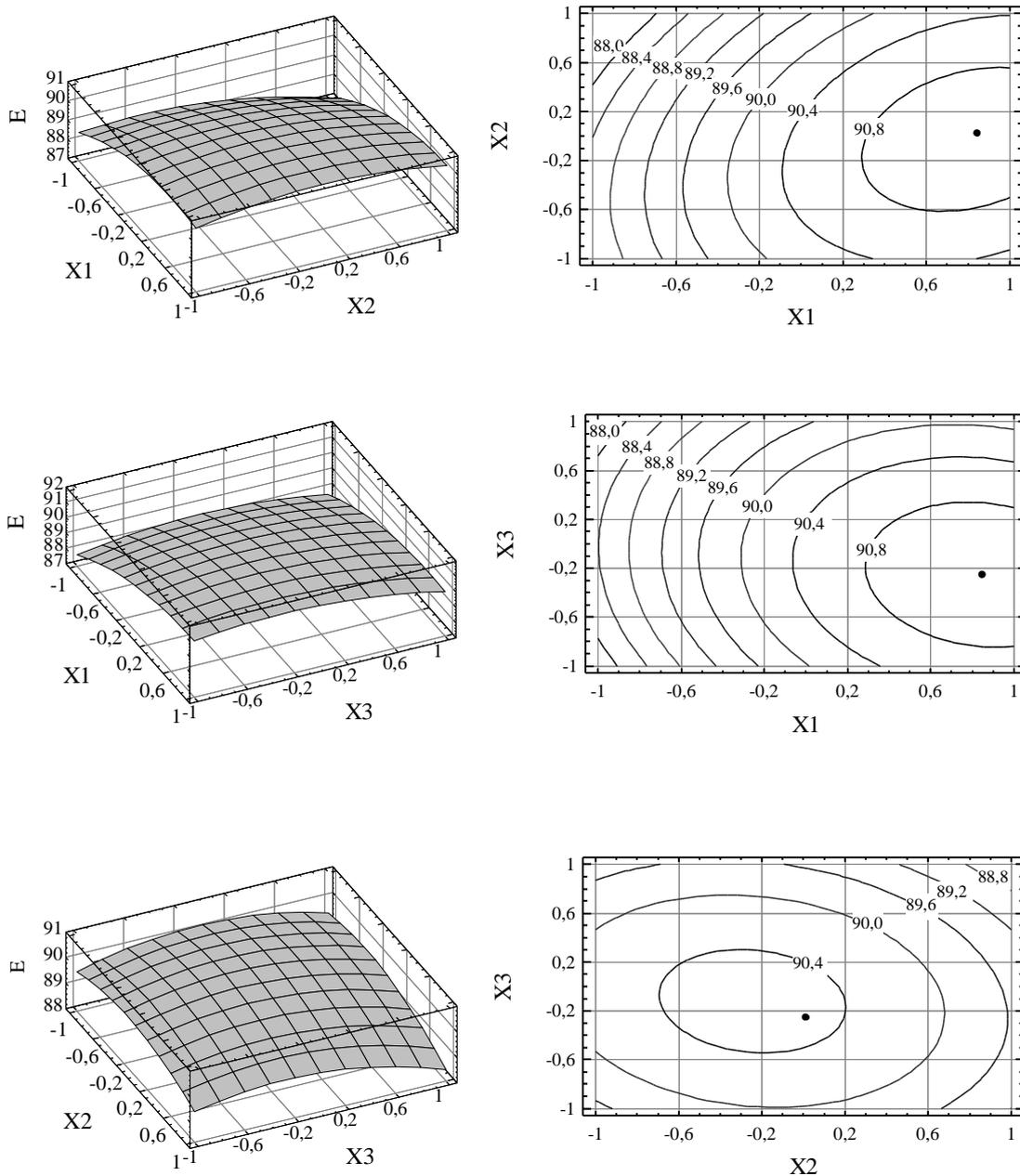


Рисунок 2 – Частные трехмерные сечения поверхности отклика и их контурные кривые

Высокое значение коэффициента детерминации ( $R^2 = 94,85\%$ ) свидетельствует об адекватности полученной регрессионной модели изучаемому процессу. Адекватность модели также подтверждается тем фактом, что р-уровень теста Lack-of-fit (потери согласия модели), равный 0,0674, превышает критическое значение ( $p_{кр} = 0,05$ ) [6].

С учетом статистической незначимости коэффициентов  $A_{13}$  и  $A_{23}$ , уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$E = 90,47 + 1,291X_1 - 0,325X_2 - 0,219X_3 + 0,359X_1X_2 - 0,789X_1^2 - 0,623X_2^2 - 0,703X_3^2$$

На рис.2 представлены частные трехмерные сечения поверхности отклика, а также их контурные кривые.

Анализ полученных графиков показывает, что зависимость извлечения  $E$  от расхода флокулянта ( $X_1$ ) носит экспоненциальный характер, а характер зависимостей извлечения  $E$  от интенсивности ( $X_2$ ) и времени ( $X_3$ ) перемешивания суспензии – экстремальный.

Оптимизация полученного уравнения регрессии средствами того же программного модуля позволила определить координаты экстремума-максимума целевой функции в  $n$ -мерном пространстве:

- в кодированных значениях  $X_1 = 0,84$ ;  $X_2 = 0,016$ ;  $X_3 = -0,26$  ;
- в натуральном выражении  $q_{fl} = 285$  г/т;  $Re = 2,81 \cdot 10^5$ ;  $\tau_{фл} = 78$  с.

Точки на графиках контурных кривых (см. рис.2) соответствуют оптимальным значениям исследуемых параметров.

Предсказанное значение целевой функции в точке экстремума составляет  $E = 91,04\%$ . В результате реализации опыта в точке экстремума получен концентрат с извлечением концентратных фракций в концентрат  $E = 91,15\%$ . Близость экспериментальных и расчетных значений целевой функции в точке экстремума является еще одним подтверждением адекватности полученного уравнения регрессии.

## ВЫВОДЫ

1. Полученное уравнение регрессии адекватно описывает процесс селективной флокуляции антрацитовых шламов синтетическим латексом.
2. В целом следует отметить, что антрациты требуют более высоких расходов флокулянта и более интенсивного турбулентного перемешивания на стадии флокуляции, чем каменные угли.

Проведенные исследования по определению характера и степени влияния на процесс флокуляции антрацитовых шламов основных технологических факторов позволили оценить области рациональных значений режимных параметров процесса, что, в свою очередь, дало возможность приступить к этапу опытно-промышленной апробации технологии на обогатительных фабриках Донбасса.

Список источников.

1. Небера В.П., Алябин И.М. Селективная флокуляция. Основы теории и практики // Итоги науки и техники. Серия “Обогащение полезных ископаемых”.-М.: ВИНТИ, 1989.-23.-С.3-81.
2. Никитин И.Н. Разработка флокуляционно-флотационного способа обогащения угольных шламов с применением латексного флокулянта. – Автореф. диссерт. на соиск.уч. степ.канд.техн.наук.-Люберцы: ИОТТ,1986.- 16 с.
3. Сергеев П.В., Білецький В.С. Селективна флокуляція вугілля.-Донецьк:ДонДТУ, УКЦентр, 1999.- 136 с.
4. Нікітін І.М., Сергеев П.В., Білецький В.С. Селективна флокуляція вугільних шламів латексами.- Донецьк: ДонДТУ, “Східний видавничий дім”,2001.- 152 с.
5. Налимов В.Г., Голикова Т.И. Логические основания планирования экспериментов М.: Металлургия, 1981.- 152 с.
6. Дюк В. Обработка данных на ПК в примерах.- Спб: Питер, 1997.- 240 с.