

## Планирование эксперимента по улавливанию летучей золы ТЭС в электроциклоне

**Н.В. Инюшкин, И.П. Щелчков, А.И. Аитова, Е.А. Шевченко, М.Г. Маньков, С.А. Перфилов, Н.А. Токарева**

Для пылеулавливания на промышленных предприятиях используют различные виды оборудования, отличающегося как по конструкции, так и по механизму действия.

Электроциклон – комбинированный пылеуловитель, сочетающий центробежный и электростатический эффект для улавливания аэрозолей.

Степень очистки газов в электроциклоне зависит от многих факторов, таких как рабочее напряжение, скорость газового потока в активной зоне, концентрация аэрозоля на входе в аппарат, длина активной зоны, диаметр частиц, удельное электрическое сопротивление частиц и др[1,2].

Чтобы оценить влияние на степень очистки электроциклона концентрации и скорости аэрозоля на входе в аппарат при минимальном количестве необходимых опытов с сохранением статистической достоверности результатов проведено планирование эксперимента [3,4].

Для получения уравнения регрессии в виде полинома первого порядка, построен центральный композиционный рототабельный план, включающий 2 фактора:  $X_1$  – скорость газового потока во входной трубе,  $X_2$  – концентрация аэрозоля на входе в аппарат. Общий вид [5] уравнения регрессии для двух независимых факторов:

$$\eta = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 \quad (1)$$

где  $\eta$  - степень очистки газов,  $b_0$  – свободный член,  $b_i$  – коэффициенты линейных членов.

Для вычисления коэффициентов уравнения регрессии построим матрицу планирования, взяв за основу центральный композиционный

рототабельный план, включающий «звездные» точки. Общее количество экспериментов вычисляется по формуле:

$$n = 2^x + 2x + n_0 \quad (2)$$

Для двухфакторного эксперимента число опытов в центре плана  $n_0$  равно 5, а величина «звездного» плеча составляет 1,414 [5]. Необходимое число экспериментов для заданных условий равно 13. Значения каждого фактора в плане кодируются значениями: «-1» - минимальное, «0» - среднее, «+1» - максимальное, кроме того, в план вводятся по 2 «звездные» точки на каждый фактор с кодировкой «-1,414» и «+1,414». Матрица эксперимента с кодированными значениями факторов приведена в таблице:

Таблица №1

Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Значение фактора		№ опыта	Значение фактора	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
1	-1	-1	8	0	1,414
2	-1	1	9	0	0
3	1	-1	10	0	0
4	1	1	11	0	0
5	-1,414	0	12	0	0
6	1,414	0	13	0	0
7	0	-1,414			

Установим основной уровень  $Z_{0,i}$  и интервалы варьирования  $\Delta Z_i$  для каждого фактора. Основной уровень  $Z_{0,1}$  для фактора  $X_1$  (скорость газового потока во входной трубе) примем равным 21 м/с,  $\Delta Z_1 = 4,5$ ,  $Z_{0,2}$  для фактора  $X_2$  (концентрация аэрозоля на входе в аппарат) примем равным 16,5 г/м<sup>3</sup>,  $\Delta Z_2 = 10$ . Рандомизация последовательности проведения опытов с помощью ЭВМ дала следующий порядок: 13, 4, 10, 8, 3, 9, 1, 2, 6, 12, 5, 11, 7.

Эксперименты были проведены на стенде, подробно описанном в работах [6, 7]. Показана высокая эффективность электроциклона (до 99,9%) при очистке улавливании перкарбоната натрия, золы ТЭС и других материалов [8,9,10]. Схема электроциклона дана на рис.1. Обозначения: 1 –

царги корпуса, 2 – улитка, 3 – центральный осадительный электрод, 4 – коронирующий электрод, 5 – выхлопная труба, 6 – бункер, 7 – изолятор.

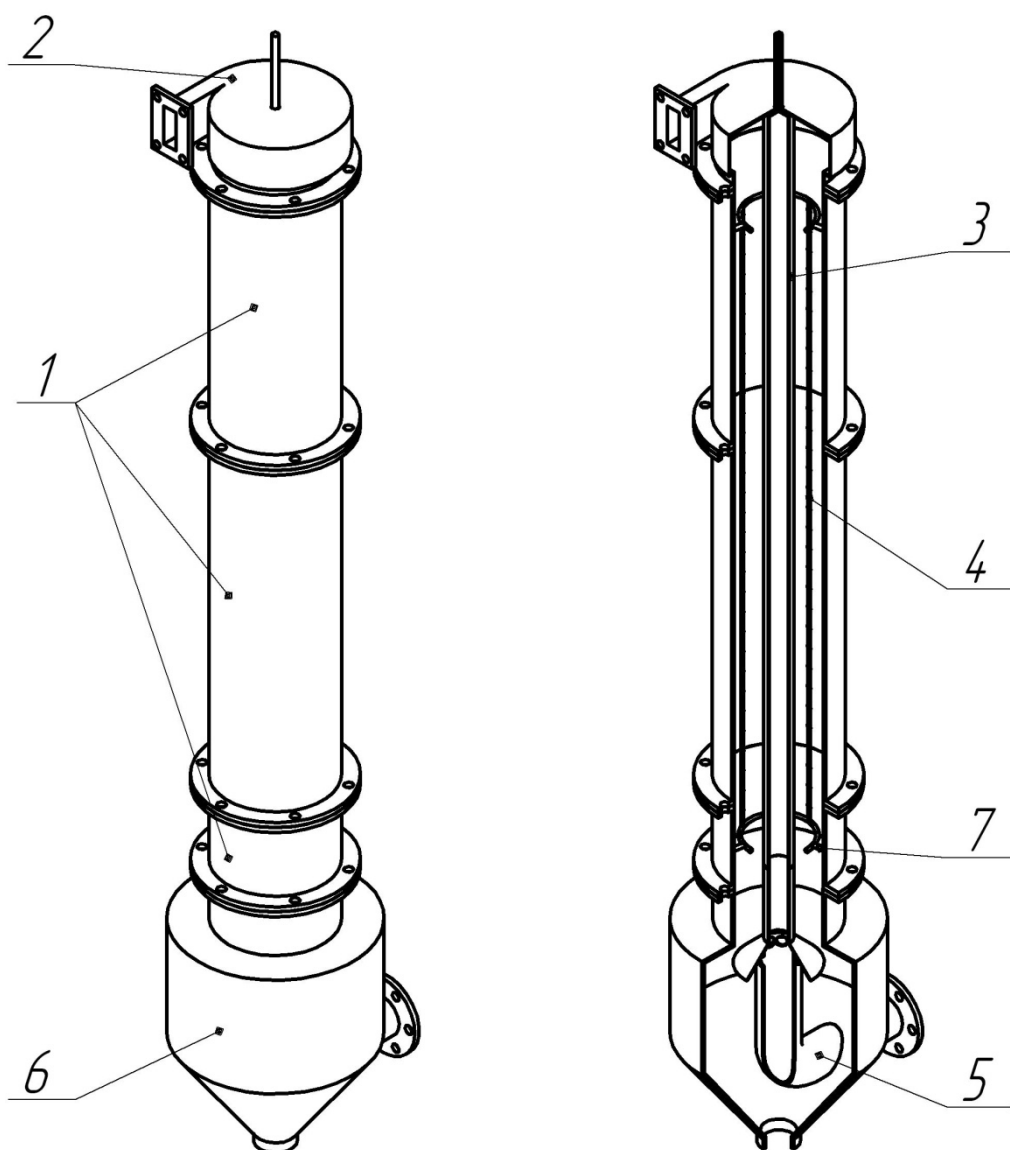


Рис. 1. Электроциклон

По результатам эксперимента с золой Красногорской ТЭЦ ( $d_{50} = 35\text{мкм}$ ) методом наименьших квадратов получено уравнение регрессии:

$$\eta = 88,69 + 9,23x_1 + 5,24x_2 \quad (3)$$

Визуализация данных в виде поверхности отклика функции может наглядно отразить характер зависимости. Рис. 2 показывает зависимость степени очистки от двух факторов – скорости и концентрации на входе. Точки – опытные данные, плоскость – рассчитанные результаты. Из рис. 2 и

в соответствии с уравнением (1) видно, что скорость оказывает гораздо более сильное влияние, чем концентрация аэрозоля на входе.

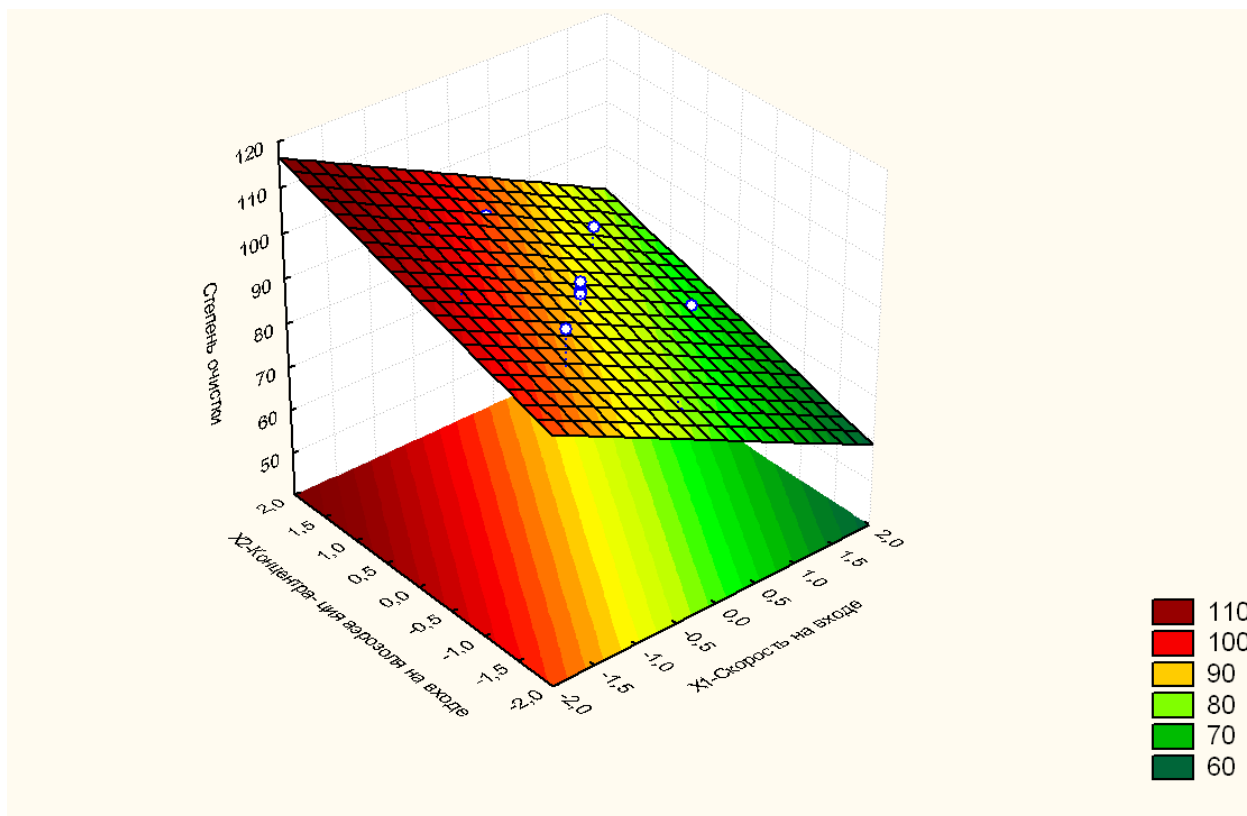


Рис. 2. - Поверхность отклика

### Список литературы:

1. Петров В. А., Инюшкин Н. В., Ермаков С. А. Об осаждении частиц пыли в электроциклоне [Текст] // Вестник ТГТУ, 2010. - № 1, т. 16 - С.44-53.
2. Lim K. S., Kim H. S., Lee K. W. Comparative performances of conventional cyclones and a double cyclone with and without an electric field [Текст] // Journal of Aerosol Sciences, 2004. - № 35. - С.103-116.
3. Красовский Г. И., Филаретов Г. Ф. Планирование эксперимента [Текст]: - Минск: БГУ, 1982. - 302 с.
4. Блохин В. Г., Глудкин О. П., Гуров А. И., Ханин М. А. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов [Текст]: - Москва: Радио и связь, 1997. - 232 с.
5. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии [Текст]: - Москва: Химия, 1985. - 448 с.

6. Инюшкин, Н.В., Ермаков, С.А., Титов, А.Г., Гильванова, З.Р., Новиков, К.Л., Парамонов, Д. А. Исследование процесса улавливания летучей золы в экспериментальной модели электроциклона [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2011, №4. - Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1271> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз.рус.
7. Титов А.Г., Инюшкин Н.В., Коробкова И.В., Парамонов Д.А., Гильванова З.Р., Ермаков С.А., Седунов К.В., Щелчков И.П. Снижение вторичного уноса в электроциклоне [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4. - Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1271> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз.рус.
8. Инюшкин Н.В., Югай Ф.С., Гильванова З.Р., Титов А.Г., Ермаков С.А. Исследование осаждения кристаллов перкарбоната натрия в электроциклоне [Текст] // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология, 2012. - № 10, т. 55. - С.104-107.
9. Инюшкин Н.В., Ермаков С.А., Гильванова З.Р., Титов А.Г., Коробкова И.В., Парамонов Д. А., Седунов К.В., Гильванова З.Р. Новая конструкция осадительных электродов электроциклона для снижения вторичного уноса [Текст]: Сборник докладов VIII-й Международной научной конференции «Актуальные вопросы современной техники и технологии». – Липецк, 2012. – С.44-46.
10. Tsai R., Mills A. F. A model of particle re-entrainment in electrostatic precipitators [Текст] // Journal of Aerosol Science, 1995. - №2. – С.227-239.