

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЗОЛУНОСА ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Наталья Звягинцева¹, Константин Гуменюк²

¹ Кафедра обогащения полезных ископаемых, Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, *n_a_zvyagintseva@mail.ru*

² Директор ООО «Ресурс Инжиниринг», г. Донецк

РЕЗЮМЕ. В статье исследованы возможности извлечения недожога из золы уноса Старобешевской ГРЭС методом флотации. Рассмотрено влияние различных факторов на качество пенного продукта. Рекомендованы оптимальные технологические режимы флотации летучей золы с целью получения продуктов, пригодных для дальнейшего использования. Получена математическая модель, характеризующая влияние основных параметров процесса.

Ключевые слова: зола уноса, флотация, недожог угля, математическое моделирование

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ НА ПРОЦЕССА НА ФЛОТАЦИИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКА НА ЛЕТЛИВИЯ ПРАХ (ПЕПЕЛИНАТА) В ТПОЛОЕЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Наталья Звягинцева¹, Константин Гуменюк²

¹ Кафедра "Обогатяване полезните ископаеми", Донецки Национален Технически университет", гр. Донецк, *n_a_zvyagintseva@mail.ru*

² Директор ООД «Ресурс Инжиниринг», гр. Донецк

РЕЗЮМЕ. В статиста са изследвани възможностите за извличане на летливи прах в Старобешевската ГРЭС через метода флотация. Препоръчаваните оптимални режими на флотация налетливи прах, целят получаването на продукти, които могат да се използват и след това. Полученият математически модел характеризира основните параметри на процеса.

Ключови думи: летлив прах, флотация, пепелина, математическо моделиране

Введение

Электростанции, работающие на угле, производят миллионы тонн золы и шлака. При сжигании твердого топлива в топках электростанций за счет недожога образуются золные уносы, потери топлива в которых составляют 3 – 5 % от количества сжигаемого угля. В связи с применением малокалорийного и высокозолного топлива объем золных уносов ежегодно возрастает, что увеличивает расходы на их складирование в золошлаковых отвалах, поверхность которых является одним из источников негативного влияния на окружающую среду (пыление в атмосферу и загрязнение водоемов). Превращение отходов в источник вторичного сырья окажет положительное влияние на экономику электростанций. Отпадет необходимость в сооружении золо- и шлакоотвалов, это обеспечит экономию земельных угодий и создаст возможность использования недожога в качестве добавки к основному топливу. Шлаковые материалы после удаления горючей массы могут использоваться в качестве нерудного сырья в производстве строительных материалов. Пригодность золы и шлака для дальнейшего использования определяется содержанием в золошлаках вредных компонентов. К числу нежелательных составляющих в золе уноса относятся соединения серы, несгоревшие

частицы твердого топлива, свободная окись кальция, магнезия и др. Золо от сжигания каменных углей различных месторождений отличаются друг от друга содержанием стекловидной массы, аморфизованного глинистого вещества, формой и строением зерен. Содержание несгоревших или не полностью сгоревших частиц топлива в золе зависит от вида топлива, тонкости его помола, устройства топок и режима сжигания топлива и колеблется в пределах от 0,5 до 20% и более.

Актуальность этого вопроса предопределяет необходимость комплексного исследования состава летучей золы и свойств золошлаковых смесей, отличающихся своим непостоянством.

Исследование обогатимости летучей золы Старобешевской ТЭС методом флотации

Старобешевская ТЭС сжигает антрацит марок АШ и АРШ со средней зольностью 30 %. Проба летучей золы после сжигания топлива была исследована в лабораторных условиях, изучен гранулометрический и фракционный состав золы (табл. 1).

Таблица 1. Гранулометрический и фракционный состав летучей золы

Крупность классов, мм	Выход, %	Зольность, %	Плотность фракций, кг/м ³	Выход, %	Зольность, %
+ 0,2	10,5	82,6	1800	15,9	48,9
0,1 – 0,2	29,5	75,0	1800-2000	18,9	56,6
0 – 0,1	60,0	80,3	2000	65,2	93,1
Итого	100,00	79,0	Итого	100,0	79,2

Из данных таблицы 1 видно, что во всех классах крупности есть недожог. Углеродсодержащие компоненты сосредоточены во фракциях плотностью менее 2000 кг/м³. Фракция плотностью более 2000 кг/м³ представлена в основном минеральной частью, содержащей незначительное количество окисленного угля. Зерна угля в большинстве неправильной формы, пористые, очень легкие, с

характерным антрацитовым блеском (рис. 1,а). Зола уноса в значительной степени содержит стекловидную фазу (рис. 1,б), основную часть которой составляют очень легкие сферические частицы диаметром от 5 до 130 мкм, в среднем около 100 мкм (рис. 1,в). Микросферы часто полые и образуют пену на поверхности отвалов золы и отстойников.

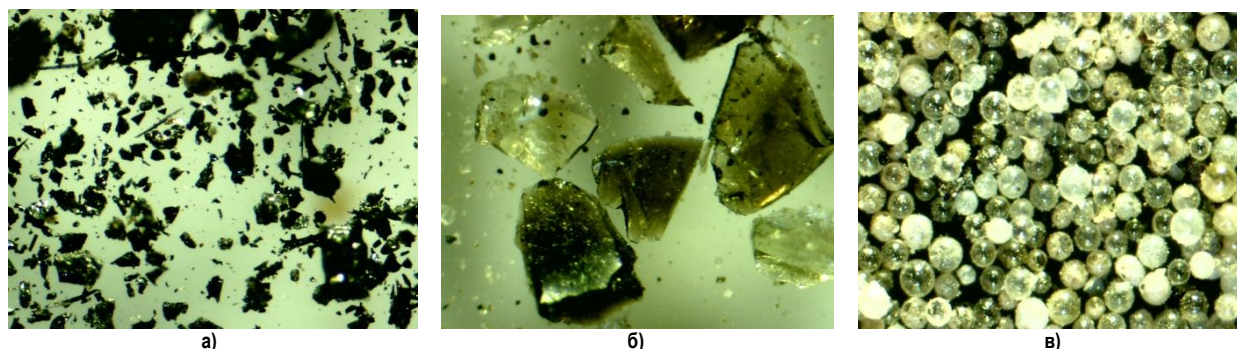


Рис. 1. Состав золы уноса: а) окисленные угольные частицы; б) стекловидные частицы; в) алюмосиликатные микросферы

Несмотря на термическое воздействие в топке котла, угольная фракция золоуноса сохранила гидрофобность по сравнению с минеральной частью угля, поэтому разделение ее возможно при помощи флотации. Исследована возможность использования для тонкодисперсной золы уноса флотационного метода обогащения с целью разработки технологии доизвлечения углеродсодержащих фракций, а также получения продукта с малым их содержанием, пригодного для производства различных строительных материалов.

При исследовании процесса флотации определялись наиболее влияющие на процесс факторы: расход реагентов, время флотации, интенсивность перемешивания. В лабораторных условиях использовалось наиболее распространенное в углеобогащении сочетание реагентов: в качестве собирателя - керосин, в качестве пенообразователя – Т-66. Результаты флотации приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты флотации золы уноса

Расход керосина, г/т	Расход Т-66, г/т	Пенный продукт		Камерный продукт		Питание флотации	
		Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %
1750	100	10,7	32,8	89,3	83,4	100,0	78,0
2000	100	11,6	32,9	88,4	84,0	100,0	78,1
3000	100	13,1	33,6	86,9	85,7	100,0	78,9
1000	200	13,6	25,6	86,4	86,6	100,0	78,3
1500	200	14,9	25,8	85,1	86,9	100,0	77,8
1750	200	18,9	38,2	81,1	87,5	100,0	78,2
2000	200	19,8	38,3	80,2	87,9	100,0	78,1
3000	200	21,7	38,6	78,3	88,8	100,0	77,9
1750	300	21,3	40,0	78,7	88,3	100,0	78,0
2000	300	21,6	40,2	78,4	88,7	100,0	78,2
3000	300	23,8	40,8	76,2	89,8	100,0	78,1

Полученные данные показали, что для более полного извлечения частиц недожога из золоуноса расход реагента-собирателя должен составлять 1750 – 3000 г/т, расход реагента-пенообразователя 200 – 300 г/т. При таких расходах зольность камерного продукта достигает

87,5 – 89,0 %, зольность пенного продукта колеблется в пределах 38,2 – 40,8 %. Пенный продукт при такой зольности может вторично использоваться в качестве добавки к основному топливу в топках котлов.

Для изучения влияния времени флотации и интенсивности перемешивания пульпы на эффективность разделения были проведены опыты по дробной флотации летучей золы. Съем пенных продуктов производился через каждые 5 с, общее время флотации составляло 60 с. Скорость вращения импеллера изменялась в

пределах $11 \div 15 \text{ с}^{-1}$. Как показали результаты опытов, в первые 10-15 с процесса в пенный продукт попадают микросферы, значительно увеличивающие его зольность (рис. 2). Поэтому необходимо ускорить время всплывания микросфер и удаления их из флотомшины.

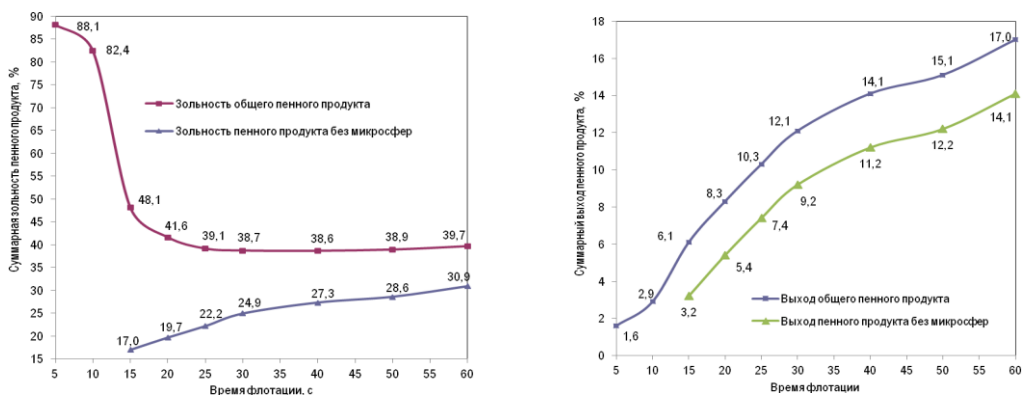


Рис. 2. Суммарные характеристики пенного продукта дробной флотации

Математическое моделирование процесса флотации

При исследовании процесса флотации золоуноса было использовано математическое моделирование эксперимента [1-3].

Для получения регрессионной модели исследуемого процесса применялся центрально-композиционный ротatableльный план второго порядка для четырех факторов, выбранных на основе предыдущих

исследований. Факторы и принятые границы их варьирования приведены в таблице 3. Целевая функция – зольность A^d пенного продукта. План-матрица эксперимента приведена в таблице 4. Для обработки экспериментальных данных применялась стандартная компьютерная программа Statgraphics [4].

Таблица 3. Факторы, влияющие на зольность пенного продукта флотации, и границы их варьирования

Фактор	Код фактора	Единица измерения	Уровни факторов		
			-1	0	1
Скорость вращения импеллера, ω	X_1	с^{-1}	11	13	15
Расход собирателя (керосин), q_c	X_2	г/т	1750	2000	3000
Расход пенообразователя (Т-66), q_n	X_3	г/т	100	200	300
Время флотации, t_f	X_4	с	15	30	60

Полученный полином имеет вид:

$$A^d = 40,45 - 1,41597 \cdot X_1 - 1,39167 \cdot X_2 - 1,76146 \cdot X_3 - 5,3 \cdot X_4 + 1,12986 \cdot X_1^2 - 1,675 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,31563 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,65 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,266319 \cdot X_2^2 + 1,325 \cdot X_2 \cdot X_3 + 2,075 \cdot X_2 \cdot X_4 + 1,16736 \cdot X_3^2 - 0,225 \cdot X_3 \cdot X_4 + 3,77882 \cdot X_4^2 \quad (1)$$

где A^d – зольность пенного продукта, %; X_1, X_2, X_3, X_4 – коды факторов, приведенных в таблице 3.

Коэффициенты модели приведены в нормированном виде. Высокое значение коэффициента детерминации ($R^2 = 98,5\%$) и малое значение стандартной ошибки оценки ($SE = 0,2533$) свидетельствуют об адекватности полученной модели исследуемому процессу.

Таблица 4. Матрица планирования и результаты исследований флотации золуноса

№	Значения факторов в безразмерном масштабе				Значения факторов в натуральном масштабе				Зольность A^d , %
	X_1	X_2	X_3	X_4	ω , c^{-1}	q_c , г/т	q_n , г/т	$t_{ф}$, с	
1	0	-1	-1	0	13	1750	100	30	47,1
2	0	1	-1	0	13	3000	100	30	41,1
3	0	0	-1	-1	13	2000	100	15	52,1
4	0	-1	0	-1	13	1750	200	15	53,5
5	-1	0	0	1	11	2000	200	60	40,3
6	-1	0	0	-1	11	2000	200	15	52,0
7	0	1	0	-1	13	3000	200	15	47,0
8	1	1	0	0	15	3000	200	30	37,6
9	1	-1	0	0	15	1750	200	30	43,6
10	0	0	0	0	13	2000	200	30	40,5
11	-1	0	-1	0	11	2000	100	30	47,6
12	1	0	-1	0	15	2000	100	30	41,6
13	0	0	-1	1	13	2000	100	60	42,3
14	1	0	-1	0	15	2000	100	30	40,6
15	1	0	0	-1	15	2000	200	15	49,0
16	0	0	1	-1	13	2000	300	15	48,7
17	0	0	0	0	13	2000	200	30	40,3
18	0	0	1	1	13	2000	300	60	38,0
19	-1	-1	0	0	11	1750	200	30	42,5
20	0	1	1	0	13	3000	300	30	39,2
21	-1	1	0	0	11	3000	200	30	43,2
22	-1	0	1	0	11	2000	300	30	42,8
23	0	-1	1	0	13	1750	300	30	39,9
24	0	0	0	0	13	2000	200	30	40,6
25	0	0	0	0	13	2000	200	30	40,4
26	0	-1	0	1	13	1750	200	60	38,2
27	1	0	0	1	15	2000	200	60	39,9
28	0	1	0	1	13	3000	200	60	40,0

На рис. 3 показан стандартизованный парето-график, согласно которого можно выбрать коэффициенты D, DD, C, B, A, BD, AB, CC, AA, BC и AC, которые являются статистически значимыми.

На парето-графике показан характер влияния факторов и эффектов их взаимодействия на зольность A^d . При этом выделены

факторы и эффекты – составляющие регрессии, увеличивающие зольность пенного продукта (гистограммы со знаком «-») и снижающие её (гистограммы со знаком «+»). Вертикаль отвечает 95 % значимости. На рис. 4 показаны трехмерные сечения гиперповерхности целевой функции A^d .

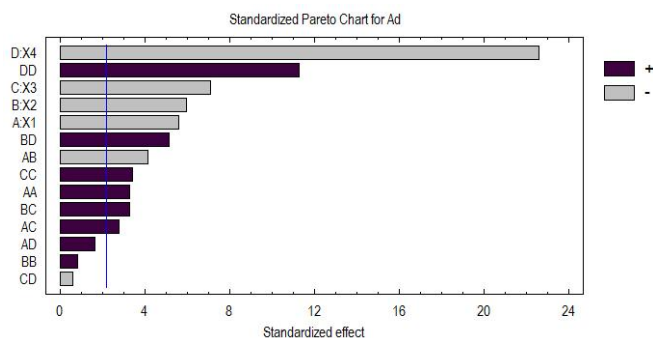


Рис. 3. Значимость коэффициентов модели (парето-график)

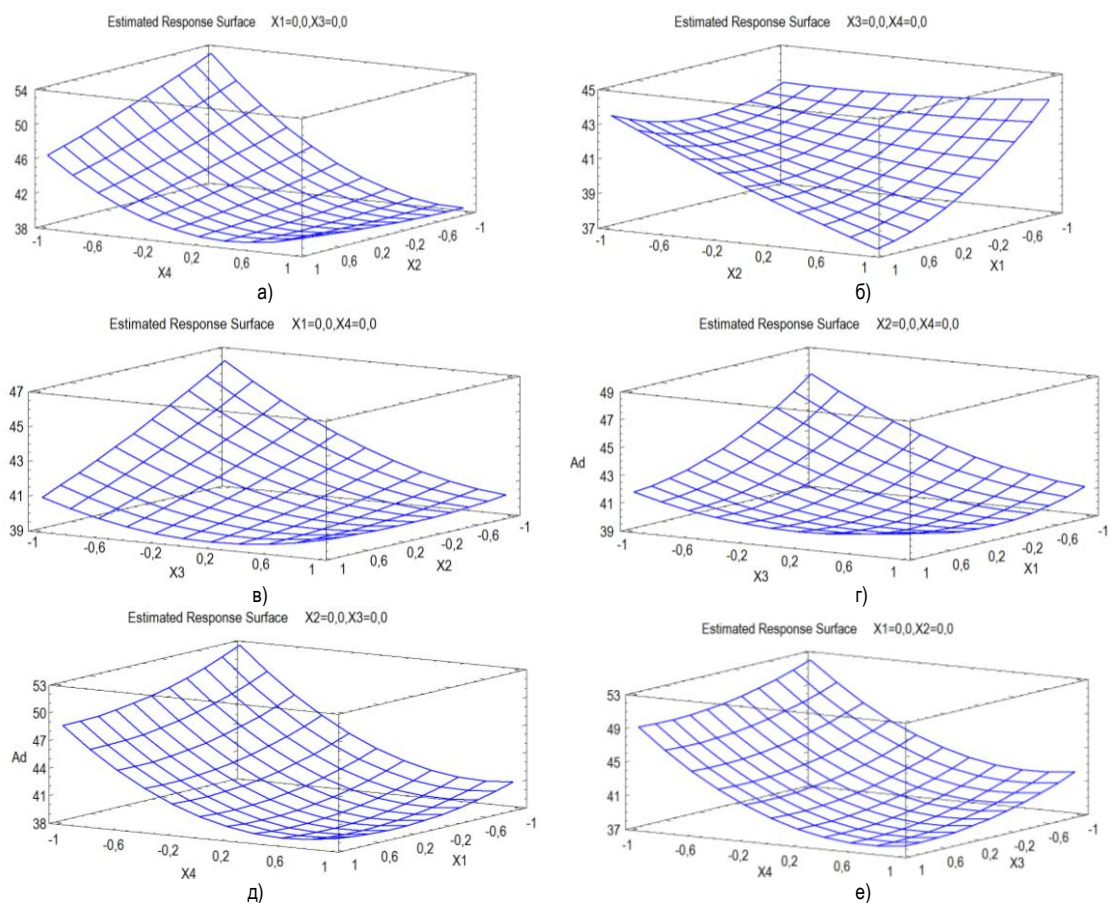


Рис. 4. Трехмерные сечения гиперповерхности целевой функции: а) $A^d(q_c, t_f)$; б) $A^d(\omega, q_c)$; в) $A^d(q_c, q_n)$; г) $A^d(\omega, q_n)$; д) $A^d(\omega, t_f)$; е) $A^d(q_n, t_f)$

Наиболее на зольность пенного продукта влияет время флотации, что связано с извлечением в пенный слой вместе с углеродсодержащими частицами алюмосиликатных микросфер. Поэтому необходимо сократить время всплывания микросфер и удаления их из флотомашин. Одним из путей решения этой проблемы является увеличение интенсивности перемешивания пульпы. Дальнейшие исследования направлены на определение оптимальной скорости вращения импеллера, при которой могут быть достигнуты требуемые показатели продуктов разделения.

Полученная модель может быть использована для углубленного исследования влияния на процесс флотации золуноса выбранных вариативных факторов, а также для прогнозирования значений зольности продуктов флотации.

Ссылки

1. В. С. Зарубин Математическое моделирование в технике.— Изд. 3-е.— Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. — 496 с.
2. Козлов В. Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений.— Москва: Проспект, 2010. — 173 с.
3. Плохотников К. Э. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент. Методология и практика.— Изд. 2-е.— Москва: УРСС, 2011. — 280 с.
4. STATGRAPHICS Centurion 16.1 / <http://statgraphics-centurion.software.informer.com>.

Статья е препоръчана за публикуване от Редационен съвет.