

УДК 622.7.75

**В.Б. Кусков, Я.В. Кускова, Н.В. Николаева**

## **ОБЕССЕРИВАНИЕ УГЛЯ НА КОНЦЕНТРАЦИОННОМ СТОЛЕ**

*Сера является вредной примесью в углях. Для удаления серы можно использовать гравитационный, флотационный, магнитный, электрический и другие методы. Показана возможность эффективного удаления серы на концентрационных столах, в частности, на столах новых конструкций – круглых вращающихся.*

*Ключевые слова: обессеривание углей, круглые вращающиеся концентрационные столы.*

---

**О**дной из основных вредных примесей в углях является сера. Увеличение содержания серы в углях существенно ухудшают их качество. При использовании угля как энергоносителя происходит загрязнение окружающей среды окислами серы. При этом следует учитывать огромные объемы сжигаемого угля, а соответственно и выбросов в атмосферу. При коксовании происходит ухудшение качества кокса и увеличение его расхода в доменном процессе. Так, например, увеличение сернистости угля на 0,1 % приводит к снижению производительности доменной печи и росту расхода кокса почти на 2 %. И, как следствие, при увеличении сернистости угля его стоимость снижается.

По содержанию общей серы угли подразделяются на низкосернистые (до 1,5 % серы), среднесернистые (1,5–2,5 %), сернистые (2,5–4 %) и высокосернистые (более 4 %). Ценными для коксования являются угли двух первых групп.

В углях различаются колчеданная (пиритная), органическая, сульфатная и элементарная серы.

Колчеданная сера — основной вид серы в углях, на ее долю обычно приходится более половины общего содержания серы. Формы включений серного колчедана в угольные пласты различны. Значительную часть колчеданной серы может быть удалена механическим путем.

Органическая сера обычно равномерно распределена по всему угольному веществу и ее невозможно выделить.

Сульфатная и элементарная сера содержится в углях в небольших количествах. Таким образом, в балансе сернистости углей существенную роль играют колчеданная и органическая серы и незначительную — сульфатная и элементарная.

В углях невысокой сернистости преобладает органическая сера (более половины общего содержания), в высокосернистых — колчеданная. Выраженной закономерности в соотношении между колчеданной и орга-

нической серами, как по мощности угольного пласта, так и по его простиранию не наблюдается.

Для обессеривания углей в принципе можно применять гравитационный, магнитный, электрический, флотационный методы, а также химическую обработку, бактериальное выщелачивание и т.д. Также можно использовать сочетание этих методов. Эффективность использования того или иного метода будет зависеть прежде всего от вида содержащейся серы и крупности серосодержащих минералов.

Очевидно, что если сера в угле содержится в виде крупных частиц пирита, то ее будет легко удалить гравитационным методом (в тяжелосредних сепараторах и циклонах, отсадочных машинах, циклонах *water-only*, и т.д.) При этом достигается существенное до 60 % и более снижение содержания серы в удельно-легком продукте.

Если частицы пирита имеют мелкие размеры, то большинство гравитационных методов малоэффективно. Сравнительно неплохие результаты можно достичь при сепарации в центробежном поле в тяжелых средах, конкретно в тяжелых жидкостях. Но такие методы достаточно дороги.

Пиритные включения имеют низкую магнитную восприимчивость, которая может резко увеличиваться при температурной обработке и окислении в результате структурных изменений и образований новых соединений. Для выделения из углей тонких включений пирита применяют высокоградиентную магнитную сепарацию, иногда с предварительным обжигом (скоростная паровоздушная термообработка, нагрев в ВЧ и СВЧ-полях, обработка газообразным пентакарбонилем железа и др.). Недос-

татком таких методов является их высокая стоимость.

Химические методы, основанные на действии окислительных и реже восстановительных агентов, приводят к переводу серы в газообразные или растворимые в водных средах продукты. Например, паровоздушная обработка при 200—350 °С углей Донбасса переводит 55 % исходного количества серы в  $SO_2$  с примесью  $SO_3$ . Под действием водных растворов окислителей (например, азотной кислоты) из угля извлекается практически все неорганические и свыше 70 % органических соединений серы. Перспективно также использование раствора сульфата железа. Также возможно и применение бактериального выщелачивания серы. Следует отметить, что все эти методы дороги.

Для обогащения, в частности обессеривания, угля испытывались концентрационные столы. Концентрационные в основном применяют для обогащения мелких классов (–3 мм) руд олова, вольфрама, благородных, редких металлов и других полезных ископаемых. Также известно применение столов для обессеривания. Известны неподвижные и подвижные столы. Подвижные столы бывают ленточные, круглые и качающиеся (сотрясательные). В настоящее время наибольшее распространение получили качающиеся (сотрясательные) столы. На этих столах происходит разделение по плотности (с учетом крупности и формы частиц) в тонком слое воды, текущей по слабонаклонной плоскости (деке), совершающей асимметричные возвратно-поступательные движения в горизонтальной плоскости перпендикулярно к направлению движения воды. Основное преимущество концентрационных

столов — высокое извлечение тяжелых минералов, недостаток — низкая удельная производительность [1].

Испытаниям подвергались угли Печорского угольного бассейна (Вор-

гашорское и Интинское месторождения) крупностью –6 и –3 мм. Результаты испытаний на качающемся концентрационном столе приведены в табл. 1—4.

Таблица 1

**Воргашорское месторождение, – 6 мм**

Наименование продукта	Выход продукта, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Зола	Сера общая	Зола	Сера общая
Отходы	33,4	81,80	3,930	69,02	76,46
Промпродукт	18,7	41,50	1,910	19,60	20,81
Концентрат	47,9	9,40	0,098	11,37	2,73
Итого:	100,0	39,58	1,717	100,00	100,00

Таблица 2

**Воргашорское месторождение, – 3 мм**

Наименование продукта	Выход продукта, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Зола	Сера общая	Зола	Сера общая
Отходы	35,6	81,80	4,140	74,19	84,51
Промпродукт	12,7	41,50	1,810	13,43	13,18
Концентрат	51,7	9,40	0,078	12,38	2,31
Итого:	100,0	39,25	1,744	100,00	100,00

Таблица 3

**Интинское месторождение, – 6 мм**

Наименование продукта	Выход продукта, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Зола	Сера общая	Зола	Сера общая
Отходы	46,7	84,60	4,850	76,95	84,37
Промпродукт	18,7	43,30	1,910	15,77	13,31
Концентрат	34,6	10,80	0,180	7,28	2,32
Итого:	100,0	51,34	2,684	100,00	100,00

Таблица 4

**Интинское месторождение, – 3 мм**

Наименование продукта	Выход продукта, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Зола	Сера общая	Зола	Сера общая
Отходы	48,2	85,80	4,970	81,45	88,96
Промпродукт	15,2	41,50	1,720	12,42	9,71
Концентрат	36,6	8,50	0,098	6,13	1,33
Итого:	100,0	50,77	2,693	100,00	100,00

Таблица 5

**Воргашорское месторождение, – 6 мм**

Наименование продукта	Выход продукта, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Зола	Сера общая	Зола	Сера общая
Отходы	37,4	83,50	4,060	76,23	87,37
Промпродукт	14,9	37,50	1,220	13,64	10,46
Концентрат	47,7	8,70	0,079	10,13	2,17
Итого:	100,0	40,97	1,738	100,00	100,00

Кроме того, была проведена серия опытов на новой модификации круглого вращающегося концентрационного стола [2]. Стол имеет подвижную дисковидную деку, вращающуюся вокруг вертикальной оси, дека разделена на сектора и имеет концентрические рифли. Стол оснащен высокочастотным шаговым двигателем, обеспечивающим непрерывное вращение стола, вокруг вертикальной оси. При этом происходит набор частицами обогащаемого материала кинетической энергии и создается центробежная сила для принудительного движения пульпы от центра к периферии (движению пульпы также способствует подача смывной воды). С заданной частотой и скважностью на привод подаются противоимпульсы для инерционного сдвига частиц в направлении вращения. Т.е., в принципе воспроизводится работа обычного качающегося стола, но при существенно большей крутизне фронтов противоимпульсов, что достигается

использованием шагового электродвигателя.

Также в круглом столе происходит удлинение траектории движения частиц, что повышает эффективность их разделения. Кроме того, на частицы находящиеся на поверхности стола дополнительно действует центробежная сила, что повышает удельную производительность и эффективность разделения.

Схема стола показана на рис. 1.

Дека стола разделена на два сектора, которые работают как независимые столы. На столе выделялись три продукта: плотный (при обогащения угля это отходы), промежуточный, легкий (концентрат).

Результаты опытов обогащения углей на круглом вращающемся концентрационном столе приведены в табл. 5—8.

Производительность на классе — 6 мм повышалась с 2,3—2,5 т·ч/м<sup>2</sup> до 2,7—3,0 т·ч/м<sup>2</sup>, на классе — 3 мм с 1,3—1,4 т·ч/м<sup>2</sup> до 1,9—2,1 т·ч/м<sup>2</sup>.

Таблица 6

**Воргашорское месторождение, – 3 мм**

Наименование продукта	Выход продукта, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Зола	Сера общая	Зола	Сера общая
Отходы	38,3	84,70	4,370	80,21	92,04
Промпродукт	11,7	36,80	1,010	10,65	6,50
Концентрат	50,0	7,40	0,053	9,15	1,46
Итого:	100,0	40,45	1,818	100,00	100,00

Таблица 7

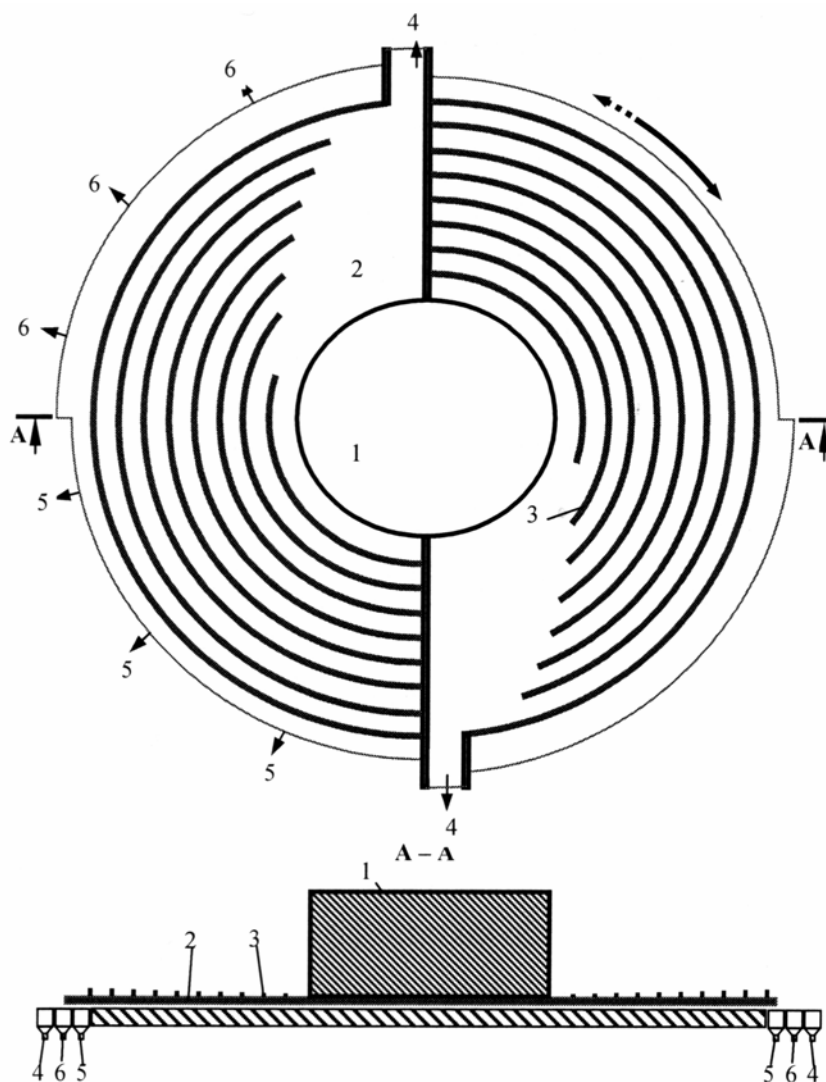
**Интинское месторождение, – 6 мм**

Наименование продукта	Выход продукта, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Зола	Сера общая	Зола	Сера общая
Отходы	48,6	85,70	4,950	83,23	88,50
Промпродукт	13,8	41,20	1,910	11,36	9,70
Концентрат	37,6	7,20	0,130	5,41	1,80
Итого:	100,0	50,04	2,718	100,00	100,00

Таблица 8

**Интинское месторождение, - 6 мм**

Наименование продукта	Выход продукта, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Зола	Сера общая	Зола	Сера общая
Отходы	48,2	86,20	5,270	83,27	91,29
Промпродукт	15,2	39,50	1,430	12,03	7,81
Концентрат	36,6	6,40	0,068	4,69	0,89
Итого:	100,0	49,89	2,782	100,00	100,00



**Рис. 1. Схема круглого вращающегося стола:**

1 — питающий бункер; 2 — дека; 3 — рифли; 4 — разгрузка плотного продукта; 5 — разгрузка легкого продукта; 6 — разгрузка промежуточного продукта

## **Выводы**

Концентрационные столы позволяют достаточно эффективно обогащать уголь, в частности удалять серу.

Использование круглого вращающегося концентрационного стола позволяет повысить эффективность обогащения и его удельную производительность за счет: увеличения длины рифлей, приходящейся на едини-

цу занимаемой площади и соответствующего удлинения траектории движения частиц; использования более жестких режимы противоимпульсов; наличия центробежной составляющей.

Кроме того, повышается надежность работы аппарата за счет применения современного электропривода (шаговый двигатель) и легкость оперативного регулирования стола.

---

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Верхотуров М.В.* Гравитационные методы обогащения: учеб. для вузов — М.: МАКС Пресс, 2006. — 352 с.
2. *Андреев Е.Е., Кусков В.Б., Кускова Я.В., Цай А.Г.* Патент № 2372994, Концентрационный стол, опубл. 20.11.2009, бюл. № 32. **ФИАС**

---

## **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

*Кусков В.Б.* — кандидат технических наук, доцент, e-mail: opikvb@mail.ru,

*Кускова Я.В.* — аспирант, e-mail: ledizet@rambler.ru,

*Николаева Н.В.* — кандидат технических наук, ассистент, e-mail: nadegdaspb@mail.ru,

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».



---

## **ГОРНАЯ КНИГА**



### **Дисперсное золото: геологический и технологический аспекты**

А.Г. Секисов, Н.В. Зыков, В.С. Королёв

Год: 2012

Страниц: 224

ISBN: 978-5-98672-314-3

UDK: 622.34+550.4

Приведены результаты исследований плазмохимических, фотохимических и электрохимических процессов воздействия на минеральные матрицы при извлечении дисперсного золота во взаимосвязи с минералогическими и геолого-технологическими особенностями руд. Представлен анализ перспективных отечественных и зарубежных технических решений в области аналитических методов определения содержания дисперсного золота в пробах, изложены технологические особенности БВР и управление качеством золотосодержащих руд и технологий их переработки.