

УДК 622.755

## ВЛИЯНИЕ ИЗБЫТКА МАГНЕТИТОВОЙ СУСПЕНЗИИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОГАЩЕННЫХ УГОЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Михайлова А.А., инженер 1 категории ЦЗЛ ПАО «Кокс»  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Ископаемый уголь представляет собой вещество органического происхождения, которое содержит минеральные примеси различного состава и природы. Для более эффективного использования рядового угля необходимо повысить его качество за счет удаления балластной минеральной части путем мокрого обогащения. Обогащение угля снижает содержание минеральной примеси в добываемом рядовом угле и определяет ценность угля для дальнейшего его применения в коксохимическом производстве. [1]

После добычи рядовой уголь производства ООО «Участок Коксовый» поступает на переработку на АО «ЦОФ «Березовская», где рядовой уголь подвергается обогащению. После удаления породной части рядового угля полученные угольные концентраты транспортируются в адрес ПАО «Кокс».

В схему лабораторного контроля центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) «ПАО «Кокс» входит определение качества рядовых углей производства ООО «Участок Коксовый» и полученных из них концентратов по показателю прочности кокса после реакции с CO<sub>2</sub> «CSR». В июле 2020г возникла проблема расхождения данного показателя для расчетных партий рядового угля с результатами концентратов, получаемых из этих углей.

В таблице №1 представлены результаты расхождения данного показателя качества для рядовых углей и получаемых из них концентратов. Согласно табличным данным расхождение находится в пределах от 2,1 до 9,8 масс. %.

Таблица 1. Расхождение качества рядового угля и полученных концентратов

Дата	Рядовой уголь				Концентрат				Расхождение
	Номер партии	CSR	Ad обог.	Номер партии	CSR	Ad конц.			
		%	%		%	%			
11.07.20	110 (6) CSR>60%	62,4	7,2	31,32/358 CSR>60,0%	53,5	7,1		8,9	
11.07.20	111 (23) CSR<54%	56,6	7,0	32,35,37/360 CSR<54%	51,2	8,3		5,4	
20.07.20	101 (45) CSR>60%	60,7	7,2	37,40/361 CSR>60%	54,9	7,6		5,8	

22.07.20	109(115) CSR>60%	60,8	7,2	65/370 CSR >60%	57,3	6,9	3,5
17.07.20	110 (106) CSR>60%	62,0	7,1	54,55/371 CSR >60%	58,0	7,6	4,0
20.07.20	111 (123) CSR60%	61,6	7,5	54,55/372 CSR >60%	59,5	8,2	2,1
17.07.20	112 (132) CSR<54%	45,1	8,0	61,62/375 CSR<54%	54,9	7,8	9,8
18.07.20	113 (141) CSR<54%	53,7	6,5	62,71/377 CSR<54%	47,5	7,2	6,2
22.07.20	114 (170) CSR >54%	59,3	7,8	71,77 /380 CSR >54%	63,7	7,8	4,4

С целью определения причин расхождения качества рядового угля и обогащенных партийных концентратов была произведена совместная работа специалистов ПАО «Кокс» со специалистами ООО «Участок Коксовый» и АО «ЦОФ «Березовская». Работа проводилась по следующей схеме:

1. Отбор с механического пробоотборника (МПЛ) проб рядового угля 1 маршрута с каждого 10 ж/д полувагонов на АО «ЦОФ «Березовская».

2. Контроль промышленного обогащения анализируемого маршрута. Отбор проб концентратов с обогатительных аппаратов по двум секциям в начале процесса обогащения, при обогащении 20 вагонов и при обогащении 40 вагонов.

3. Отбор проб готового угольного концентрата анализируемого маршрута с механического пробоотборника при погрузке в ж/д полувагоны в адрес ПАО «Кокс».

4. Подбор оптимальных режимов обогатительных аппаратов для последующих промышленных обогащений рядового угля производства ООО «Участок Коксовый».

Первым этапом работы была выгрузка анализируемого маршрута рядового угля, при этом производился отбор 3-х проб угля с МПЛ от каждого 10 полувагонов. Перед лабораторными испытаниями пробы рядового угля были обогащены согласно Приложения А ГОСТ 1186-2014 «Угли каменные. Метод определения пластометрических показателей». Результаты проведенных испытаний приведены в таблицах №2,3. [2]

После промышленного обогащения анализируемый маршрут угольного концентрата поступил в ПАО «Кокс», где при выгрузке этого маршрута был произведен отбор проб концентрата. Пробы угольного концентрата также были проанализированы на качественные характеристики. В таблицах №2 и №3 представлена сравнительная характеристика проб рядового угля и полученного из него промышленным обогащением угольного концентрата. Из сравнительной характеристики проб видно, что качество рядового угля, обогащенного в лаборатории, значительно выше качества промышленного концентрата по показателю горячей прочности кокса «CSR» (59,8-62,0 против

50,3-56,2 масс.%). Расхождение по показателям можно объяснить повышенным показателем индекса основности золы у проб угольных концентратов промышленного обогащения (табл.3), за счет высокого содержания в химическом составе золы оксида железа (12,25-14,06% против 3,78-5,62 масс.%).

Индекс основности золы представляет собой отношение массы основных оксидов (оксид железа 3, оксид кальция, оксид магния, оксид натрия и оксид калия) к массе кислых оксидов (оксид кремния, оксид алюминия) золы. [3]

Чем меньше индекс основности шихты углей, тем больше прочности кокса (CSR) и меньшей по реакционной способности (CRI) можно ожидать при коксовании шихт. [4]

Таблица 2. Сравнительная характеристика качества рядового угля и концентрата

Наименование проб		Тех. анализ		И <sub>вс</sub> по ИГИ - ДМети	Пластометрия		S	Петрография		CRI	CSR	Ио <sub>з</sub>	
		A <sup>d</sup> / A <sub>о</sub> б	V <sup>d</sup> / V <sup>daf</sup>		x	y		R <sub>0</sub>	Vt				
		%	%		мм	мм		%	%				
Рядовой уголь	1 подтяжка	15,6 / 6,5	21,4 / 22,9	39	27	13	0,4 <sub>9</sub>	1,403	57	28,5	60,4	0,8 <sub>4</sub>	
	2 подтяжка	13,2 / 7,2	21,7 / 23,4		46	24	14	0,5 <sub>0</sub>	1,372	51	27,8	62,0	0,9 <sub>0</sub>
	3 подтяжка	12,8 / 8,2	20,6 / 22,4		42	34	13	0,4 <sub>3</sub>	1,421	57	32,3	59,8	1,3 <sub>7</sub>
Концентрат	1 подтяжка	8,7	18,4/ 20,2	37	34	13	0,7 <sub>0</sub>	1,384	53	37,8	51,1	3,8 <sub>7</sub>	
	2 подтяжка	8,2	17,9/ 19,5		32	30	13	0,7 <sub>6</sub>	1,389	50	32,5	56,2	2,2 <sub>2</sub>
	3 подтяжка	8,7	19,8/ 21,7		35	36	13	0,6 <sub>9</sub>	1,371	51	38,0	50,3	2,7 <sub>1</sub>

Таблица 3. Сравнительная характеристика химического состава золы проб

	Химический состав золы, %	
--	---------------------------	--

Наименование пробы		S <sub>i</sub> O <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	M <sub>g</sub> O	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Иоз
Рядовой уголь	1 подтяжка	55,12	3,78	31,48	1,32	0,71	1,6	1,26	0,58	1,44	1,44	0,04	0,84
	2 подтяжка	56,04	3,80	31,37	1,09	0,60	1,65	1,19	0,43	1,26	1,34	0,05	0,90
	3 подтяжка	53,63	5,62	30,18	1,50	0,71	1,61	1,43	0,62	1,96	1,31	0,07	1,37
Концентрат	1 подтяжка	44,61	12,85	26,36	1,43	8,21	1,04	1,64	0,89	1,09	0,93	0,03	3,87
	2 подтяжка	48,88	12,28	30,12	1,19	0,73	1,13	1,87	0,45	1,24	1,07	0,04	2,22
	3 подтяжка	48,32	14,06	28,66	1,34	0,69	1,16	1,53	0,64	1,33	1,08	0,05	2,71

Для выяснения причин повышенного содержания оксида железа (III) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в пробах промышленного концентрата был произведен отбор проб в процессе обогащения маршрута со всех обогатительных аппаратов. Обогатительные аппараты, применяемые на АО «ЦОФ «Березовская» это:

1. Тяжелосредные сепараторы по двум секциям, где обогащается самый крупный класс угля 13-150мм. Плотность разделяющей среды задается магнетитовой суспензией, которая представляет собой механическую смесь воды и магнетитового концентрата, являющимся соотношением оксидов двухвалентного и трёхвалентного железа (FeO\*Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

2. Отсадочные машины, где обогащается уголь класса 0,5-13,0мм по первой секции. Обогащение в них происходит в потоке жидкости за счет разности плотностей продуктов обогащения, подачи воздуха под давлением и пульсаций, где образуется разрыхленный слой материала (постель), в верхних слоях которого концентрируется более легкий продукт (концентрат).

По второй секции уголь класса 0,5-13,0мм обогащался в ТГЦ (тяжелосредний гидроциклон), в котором процесс обогащения угля проходит в магнетитовой суспензии под воздействием центробежных сил.

3. Механические флотационные машины, где обогащается самый мелкий класс угля 0-0,5мм. Обогащение происходит в жидкой воде, которая аэрируется воздухом. В зависимости от обогатимости рядового угля подбирается дозировка флотореагентов (удельный расход собираителя 1400 г/т, вспенивателя 300 г/т), которые и способствуют избирательному прилипанию частиц концентрата к образующейся пене.

Отбор проб концентратов с обогатительных аппаратов производился по двум секциям в начале процесса обогащения, при обогащении 20 вагонов, при обогащении 40 вагонов.

В таблице №4 представлены качественные характеристики этих проб. Согласно полученным результатам было сделано заключение, что по секции №2 при обогащении угля класса крупности 0,5-13мм на тяжелосреднем гидроциклоне наблюдается повышенный показатель индекса основности золы, достигающий 6,33 масс. %. В таблице №5 представлен химический состав золы проб класса крупности 0,5-13,0 мм, отобранных по разным секциям. Данный класс (0,5-13,0мм) обогащался разными способами: методом отсадки по первой секции и тяжелосредним в гидроциклоне по второй секции. Повышенный показатель «Иоз» объясняется высоким содержанием в химическом составе золы оксида железа (III) от 8,05 до 31,80 масс. % (таблица 5).

В связи с тем, что плотность в тяжелосреднем гидроциклоне задается смесью воды и оксидов железа, концентрат, полученный тяжелосредным способом в гидроциклоне содержит значительное количество магнетита, и промывка концентрата на грохотах является недостаточно эффективной. Концентрат класса 0,5-13мм с ТГЦ дает в концентратах промышленного обогащения снижение качества по показателю горячей прочности кокса за счет повышенного содержания оксида железа (трехвалентного) в его химическом составе золы.

Таблица 4. Качество концентратов с обогатительных аппаратов

Кол- во вагон ов	Клас с круп - ност и	Обогатительные аппараты	Маршрут УДК 183							
			Секция 1				Секция 2			
			W <sup>r</sup>	A <sup>d</sup>	V <sup>da</sup> f	Ио з	W <sup>r</sup>	A <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>	Иоз
1 вагон	13- 150	Конц-т сепаратор	3,5	8,6	18, 3	1,1 5	2,7	6,3	19, 7	1,4 1
	0,5- 13	Конц-т с отсадки по 1 секции Конц-т с ТГЦ по 2 секции	8,7	7,9	20, 5	1,1 0	16, 2	8,3	19, 6	6,3 3
	0-0,5	Конц-т флотация (kek)	26, 5	9,3	24, 0	2,6 9	22, 5	10,0	24, 1	2,8 7
20 вагон ов	13- 150	Конц-т сепаратор	3,4	6,9	19, 8	1,3 4	2,7	6,9	18, 1	0,5 5
	0,5- 13	Конц-т с отсадки по 1 секции Конц-т с ТГЦ по 2 секции	8,9	9,1	20, 9	1,1 9	16, 5	8,9	19, 4	6,0 3

	0-0,5	Конц-т флотация (кек)	26,5	7,9	21,9	1,50	19,5	9,3	21,4	2,67
40 вагонов	13-150	Конц-т сепаратор,	3,4	5,9	19,2	0,45	4,2	8,1	18,2	1,05
	0,5-13	Конц-т с отсадки по 1 секции Конц-т с ТГЦ по 2 секции	9,0	7,2	21,0	0,91	5,4	5,6	18,6	1,03
	0-0,5	Конц-т флотация (кек)	26,2	8,7	20,7	1,55	21,3	8,2	20,1	1,47

Таблица 5. Химический состав золы концентратов с обогатительных аппаратов

Фракция, мм	№ Секции	Наименование пробы	Химический состав золы, масс.%										Иоз	
			SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>		
0,5-13,0	1	Конц-т отсадка 1вагон	55,92	4,49	30,98	1,16	0,66	1,67	1,31	0,55	1,05	1,22	0,04	1,10
		Конц-т отсадка 20 вагонов	56,87	4,24	30,57	0,98	0,67	1,83	1,32	0,44	1,00	1,19	0,05	1,19
		Конц-т отсадка 40 вагонов	55,86	4,47	31,94	0,82	0,52	1,49	1,45	0,38	0,84	1,31	0,03	0,91
	2	Конц-т ТГЦ 1 вагон	35,14	31,80	24,36	0,74	0,63	0,64	2,70	0,27	1,68	0,80	0,04	6,33
		Конц-т ТГЦ 20 вагонов	35,21	29,62	27,08	0,59	0,42	0,55	2,82	0,76	1,25	0,73	0,05	6,03
		Конц-т ТГЦ 40 вагонов	46,55	8,05	34,14	1,40	0,49	0,68	1,41	0,30	2,72	1,23	0,15	1,03

### **Заключение**

Недостаточная эффективность промывки угольного концентрата промышленного обогащения от магнетитовой суспензии на процессах тяжелосреднего обогащения приводит к увеличению содержания оксида железа трехвалентного в его химическом составе золы. Данное увеличение

приводит к повышению показателя индекса основности золы, что негативно сказывается на качестве кокса при дальнейшем его коксования по показателю прочности кокса после реакции с CO<sub>2</sub>.

При применении в технологии тяжелосреднего обогащения в качестве разделительной среды магнетитовой суспензии необходимо контролировать эффективность промывки угольного концентрата от оксидов железа.

**Список литературы:**

1. *Васючков Ю.Ф.* Горное дело: учебник для техникумов. //М.: Недра. 1990. С. 102.
2. ГОСТ 1186-2014 «Угли каменные. Метод определения пластометрических показателей». // Стандартинформ.2015. Приложение А.1.
3. ГОСТ 17070-2014 «Угли. Термины и определения»//Стандартинформ.2015. С. 9.
4. *Козлов В.А.* Влияние химического состава золы углей на технологические свойства кокса// УДК 622.7.017.2. 622.7:504.064.43. 2012