

**В.А. Козлов**

### **ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗОЛЫ УГЛЕЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОКСА**

*Рассмотрено влияние химического состава золы коксующегося угля на технологические свойства образующегося кокса.*

*Ключевые слова: уголь, зольность, основные и кислые оксиды, индекс основности золы, показатели CRI и CSR, коэффициент плавления золы*

**В** международной практике производства кокса в последние годы стали дополнительно оценивать качество коксующихся углей по таким показателям, как реакционная способность CRI и послереакционная прочность CSR кокса. Обычно эти показатели вычисляют при формировании исходной шихты для коксования по эмпирическим формулам, учитывающим химический состав золы углей, входящих в шихту.

По нашему мнению наиболее точной и обоснованной формулой является методика, используемая в институте УХИН (г. Харьков, Украина), согласно которой показатель реакционной способности CRI рассчитывается по уравнению:

$$CRI = 13,39 + 9,35 \cdot I_o - 0,45 \cdot I_o^2, \quad (1)$$

где  $I_o$  — индекс основности золы угля (шихты), %.

$$I_o = \frac{100 \cdot A^d \cdot (Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O)}{(100 - V^{daf}) \cdot (SiO_2 + Al_2O_3)}, \quad (2)$$

где  $A^d$  — зольность угля (шихты), %;  $V^{daf}$  — выход летучих веществ из угля (шихты);  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  — содержание оксидов в золе угля (шихты), %.

Показатель послереакционной прочности CSR рассчитывается по уравнению:

$$CSR = 94,23 - 1,275 \cdot CRI. \quad (3)$$

Достоверность приведенных уравнений подтверждена промышленной практикой на Украине.

В Восточном научно-исследовательском углехимическом институте ОАО ВУХИН (г. Екатеринбург) для оценки показателей CRI и CSR используют показатель индекса основности  $I_o$ , рассчитываемый по формуле:

$$I_o = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}. \quad (4)$$

Анализ формул (2) и (4) для вычисления индекса основности показывает, что формула (2) более точно отражает коксохимические свойства угля, так как дополнительно учитывает такие важные показатели, как зольность угля и выход летучих веществ.

Ниже в табл. 1 по данным собранным ВУХИН [1] приведен химический состав золы углей марки «Ж» Кузнецкого, Печорского, Южно-Якутского бассейнов, в составе золы которых преобладают (более 70—80 %) оксиды Si и Al над CaO, MgO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (до 15—20 %). В нижней строке таблицы приведен химический состав угля пласта «Улуг» Элегестского месторождения Улугхемского бассейна (Тува), который значительно отличается от химического состава золы других бассейнов.

Обращает внимание высокое (41,3 %) содержание в золе углей пласта «Улуг» Элегестского месторождения основных (CaO+MgO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и относительно низкое (43,4 %) кислотных (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) оксидов, что приводит к примерно равному их соотношению в составе золы. В золе угля этого пласта также наблюдается высокое содержание SO<sub>3</sub> (11—12 %).

Индекс основности характеризует плавкость золы. В таблице-1 по данным химического анализа золы рассчитан коэффициент плавления золы (K<sub>пл</sub>) по формуле:

$$K_{пл} = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3}, \quad (5)$$

по значению которого производят оценку характера плавления золы: чем больше величина K<sub>пл</sub>, тем более тугоплавкая зола.

По данным института КузНИИУглеобогашения зола углей пласта «Улуг» относится к легко- и среднеплавкой. Температура начала деформации 1140—1320 °С, размягчения 1160—1340 °С и начала жидкоплавкого состояния 1240—1380 °С.

Приводимые в табл. 1 коэффициенты плавления золы (K<sub>пл</sub>=1,05) для пласта «Улуг» и более 2,4—5,9 для сопутствующих пластов также указывают также на легкую и среднюю степень плавления золы угля пласта «Улуг» и трудную – для золы углей других месторождений.

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

Рассчитанный ВУХИН по вышеприведенной формуле (4) индекс основности золы жирных углей пласта «Улуг» имеет высокую среднюю величину ( $I_o = 1,002$ ) и по сравнению с жирными углями других бассейнов, и таким образом имеет «неблагоприятный» химический состав золы. Поэтому при использовании жирных элегестских углей в шихтах для коксования ВУХИН делает вывод, что необходимо учитывать этот «неблагоприятный» фактор при составлении шихты для коксования и ограничивает долю участия элегестских углей в шихте для коксования не более 15 %.

В то же время объективно оценить степень влияния химического состава золы, в том числе «неблагоприятного» по индексу основности на показатели прочности кокса в «горячем состоянии» возможно только при проведении опытных промышленных коксований с участием жирных углей Элегестского месторождения.

Аналогичную проблему пришлось решать при проектировании новой углеобогатительной фабрики для углей Любелского месторождения коксующихся углей Львовско-Волынского угольного бассейна (Украина). И здесь существует вопрос неблагоприятного химического состава золы рядового угля, ухудшающий показатели CRI и CSR. Эту проблему в большинстве случаев успешно решает обогащение угля, в результате которого в концентрате получают благоприятный состав золы.

Полученные нами результаты научно-исследовательской работы по обогащению угля марки «Ж» Любелского месторождения показали, что в концентрате, выделенном при плотности  $1400 \text{ кг/м}^3$  из керновых проб угля, наблюдается благоприятный химический состав золы. Расчетные значения индекса основности и показателей CRI и CSR, вычисленные по формулам (1,2,3) для концентрата, полученного СЕТСО, приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2 для концентрата, полученного по технологии СЕТСО, средние значения CRI  $<30$  и CSR  $>55$ , что соответствуют принятым значениям этих показателей для качественных углей, продаваемых на мировом рынке.

В результате проведенной работы в СЕТСО разработана технология изменения химического состава золы, основанного

**Химический состав золы обогащенных углей марки Ж (средние данные по данным ВУХИН)**

Бассейн, шахта, месторож- дение	Пласт	Состав золы, %											Кoeffи- циент плавления ( $K_{пл}$ )	Индекс основ- ности ( $I_0$ )
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O			
1. Кузнецкий														
ш. Новая-2	3,4,5	55,2	21,9	4,8	2,1	5,9	1,1	0,8	3,3	2,1	2,1	6,02	0,220	
ш. Абашевская	14,15	50,1	24,7	5,0	1,9	7,6	4,0	0,6	3,8	1,8	1,1	5,16	0,233	
ш. Есаульская	26 <sup>A</sup>	46,8	30,3	4,1	1,8	7,5	1,2	0,2	2,1	2,3	1,8	5,75	0,227	
ш. Осинни- ковская	K <sub>1</sub> ,E <sub>5</sub>	51,8	21,5	6,7	2,0	10,2	1,3	0,4	2,0	1,1	1,2	3,88	0,289	
ш. Юбилейная	16	52,5	19,4	6,0	3,2	11,0	1,3	0,5	1,8	1,8	1,7	3,56	0,327	
2. Печорский														
ш. Северная		59,7	25,2	2,3	1,4	5,8	1,8	0,3	1,8	0,8	0,8	8,94	0,131	
ш. Ворку- тинская		61,4	20,3	2,3	2,0	7,6	1,9	0,4	1,8	1,6	0,9	6,86	0,152	
ш. Комсо- мольская		60,6	21,3	2,8	1,0	7,1	1,6	0,6	3,5	0,8	0,8	6,55	0,153	
3. Южно- Якутский														
Эльгинское	У <sub>5</sub>	53,4	20,3	7,7	3,0	6,0	2,0	0,4	4,4	1,8	1,2	4,41	0,267	
-/-	У <sub>4</sub>	57,8	20,6	6,4	2,5	4,7	2,1	0,3	3,4	1,3	0,6	5,76	0,198	
-/-	H <sub>16</sub>	46,2	28,3	7,0	2,8	7,0	1,8	0,4	4,9	1,0	0,9	4,43	0,251	
-/-	H <sub>15</sub>	54,6	24,9	5,3	2,0	5,8	1,7	0,2	2,8	1,4	0,9	6,07	0,194	
Чульмаканское	D <sub>11</sub> -D <sub>19</sub>	47,3	26,4	6,4	2,3	8,5	1,5	0,1	3,9	2,0	0,4	4,28	0,266	
4. Улугхемский														
Элегестское	«Улуг»	23,9	19,5	22,5	3,6	15,2	1,0	0,8	11,2	0,4	1,8	1,05	1,002	

Таблица 2

**Результаты исследования керновых проб угля шахтного поля №3 Любельского месторождения**

Показатели	Пласт n <sub>8</sub> <sup>в</sup>		Пласт n <sub>7</sub> <sup>в</sup>		Пласт n <sub>7</sub>	
	Скв. 6806	Средние по пласту**	Скв. 6964	Средние по пласту*	Скв. 6964	Средние по пласту*
	Концентрат СЕТСО*		Концентрат СЕТСО*		Концентрат СЕТСО*	
Зольность, %	2,13	15,4	2,14	14,7	2,2	14,0
Выход летучих, %	24,0	27,9	24,0	25,7	24,0	26,6
Сера общая, %	1,22	3,6	1,48	3,0	0,7	1,7
SiO <sub>2</sub>	33,49	34,97	36,31	35,65	47,50	38,37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,41	14,42	33,0	12,82	22,79	18,64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,21	26,58	12,67	25,11	13,23	16,44
TiO <sub>2</sub>	1,27	0,62	1,47	0,71	1,18	0,96
CaO	5,69	10,12	7,09	9,63	1,94	12,95
MgO	1,36	1,05	1,28	0,79	0,78	1,93
Индекс ос- новности	1,01	16,12	0,85	14,29	0,65	10,31
CRI	22,35	47,16	20,99	55,10	19,27	61,95
CSR	65,73	34,10	67,47	23,98	69,66	15,24

\* — проба угля, обогащенного по технологии СЕТСО; \*\* — средние данные по пласту из анализов керновых проб угля.

на применении специальных зольных добавок к концентрату. Данные приведены в табл. 3 и 4. Для расчета приняты средние данные по углям шахтных полей № 1 и №2 Любельского месторождения. В колонке 3 приведены показатели низкзолного концентрата, полученного при 1400 кг/м<sup>3</sup>. В колонке-4 приведены значения для концентрата, к которому присоединены специальные зольные добавки до максимально допустимой зольности для концентрата — 10,0 %.

Из данных табл. 3 (колонка 4), следует, что для итогового концентрата зольностью 10 % значения CRI <30 и CSR >55. Эти значения соответствуют значениям для наиболее качественных углей на мировом рынке.

Как следует из табл. 4 (колонка 4) значения CRI ≈30 и CSR >55, что также соответствуют принятым значениям этих показателей для качественных углей, продаваемых на мировом рынке.

Получение низкзолного концентрата зольностью менее 4 % для последующего присоединения специальных зольных добавок предполагает некоторое уменьшение выхода концентрата. Но последующее присоединение зольных добавок к концентрату до общей зольности 10 % компенсирует это уменьшение выхода концентрата.

Таблица 3

**Результаты расчета показателей CRI и CSR для концентрата, получаемого из угля пласта п<sub>7</sub><sup>1</sup> шахтных полей №1 и №2 Любельского месторождения**

Показатели	Значения показателей		
	Средние данные	Концентрат <1400	К-т со спец. добавками
Зольность, %	6,67	4,0	10,0
Выход летучих, %	22,89	22,89	22,89
SiO <sub>2</sub>	37,70	37,70	75,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,10	19,10	7,64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,07	10,07	4,028
CaO	14,48	14,48	5,792
MgO	2,07	2,07	0,828
K <sub>2</sub> O	1,25	1,25	0,50
Na <sub>2</sub> O	0,66	0,66	0,264
Индекс основности по формуле (2)	4,34	2,61	1,79
Реакционная способность CRI	45,52	34,70	28,68
Послереакционная прочность CSR	36,19	49,99	57,67

Таблица 4

**Результаты расчета показателей CRI и CSR для концентрата, получаемого из угля пласта n<sub>7</sub> шахтных полей 1 и 2 Любельского месторождения**

Показатели	Значения показателей		
	Средние данные	Концентрат <1400	Со спец. до-бавками
Зольность, %	6,95	4,0	10,0
Выход летучих, %	24,60	24,60	24,60
SiO <sub>2</sub>	38,20	38,20	75,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,80	16,80	6,72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,20	9,20	3,68
CaO	17,70	17,70	7,08
MgO	2,20	2,20	0,88
K <sub>2</sub> O	1,07	1,07	0,428
Na <sub>2</sub> O	0,61	0,61	0,244
Индекс основности	5,16	2,97	1,99
CRI	49,65	37,18	30,22
CSR	30,93	46,82	55,69

### Заключение

В итоге, мы можем констатировать, что показатели CRI и CSR будут различны для рядовых углей и концентрата и, следовательно, они будут характеризоваться различными коксохимическими свойствами. Разработанные СЕТКО способы по регулированию химического состава золы угля достигают требуемых значений показателей CRI и CSR для концентратов коксующихся углей. Эти способы практически реализуемы в промышленных условиях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование качества углей Элегестского месторождения каменного угля по керновым пробам на площади детальной разведки», ФГУП ВУХИН, 2008. **ИИЛБ**

### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Козлов Вадим Анатольевич — кандидат технических наук, доцент, главный технолог Коралайна Инжиниринг — СЕТКО, vak@setco.ru.

