УДК 622.7.017.2; 622.7:504.064.43

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), %

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

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:

$$I_o = \frac{CaO + MgO + Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3}, \quad (4)$$

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.

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_2O_3 (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_2O_3) и относительно низкое (43,4 %) кислых (SiO_2+Al_2O_3) оксидов, что приводит к примерно равному их соотношению в составе золы. В золе угля этого пласта также наблюдается высокое содержание SO_3 (11-12 %).

Индекс основности характкризует плавкость золы. В таблице-1 по данным химического анализа золы рассчитан коэффициент плавления золы ($К_{пл}$) по формуле:

$$К_{пл} = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO + Fe_2O_3}, \qquad (5)$$

по значению которого производят оценку характера плавления золы: чем больше величина $К_{пл}$, тем более тугоплавкая зола.

По данным института КузНИИУглеобогащения 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 ($К_{пл}$=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 ($I_о$= 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 Любельского месторождения коксующихся углей Львовско-Волынского угольного бассейна (Украина). И здесь существует вопрос неблагоприятного химического состава золы рядового угля, ухудшающий

Таблица 1

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

Бассейн, шахта, месторождение	**Пласт**	**Состав золы, %**											
		SiO_2	**Al_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**Fe_2O_3**	**TiO_2**	**P_2O_5**	**SO_3**	**K_2O**	**Na_2O**	**Коэффи-циент плавления ($К_{пл}$)**	**Индекс основ-ности (I_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	$26^А$	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. Осинниковская	$К_1,Е_5$	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. Воркутинская		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. Комсомольская		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	$У_5$	53,4	20,3	7,7	3,0	6,0	2,0	0,4	4,4	1,8	1,2	4,41	0,267
-/-	$У_4$	57,8	20,6	6,4	2,5	4,7	2,1	0,3	3,4	1,3	0,6	5,76	0,198
-/-	$Н_{16}$	46,2	28,3	7,0	2,8	7,0	1,8	0,4	4,9	1,0	0,9	4,43	0,251
-/-	$Н_{15}$	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	$Д_{11}$-$Д_{19}$	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

показатели CRI и CSR. Эту проблему в большинстве случаев успешно решает обогащение угля, в результате которого в концентрате получают благоприятный состав золы.

Таблица 2

Результаты исследования керновых проб угля шахтного поля №3 Любельского месторождения

Показатели	**Пласт $n_8^в$**		**Пласт $n_7^в$**		**Пласт n_7**	
	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_2	33,49	34,97	36,31	35,65	47,50	38,37
Al_2O_3	24,41	14,42	33,0	12,82	22,79	18,64
Fe_2O_3	14,21	26,58	12,67	25,11	13,23	16,44
TiO_2	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 основности	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
Примечания: * — проба угля, обогащенного по технологии СЕТСО; ** — средние данные по пласту из анализов керновых проб угля.						

Таблица 3

Результаты расчета показателей CRI и CSR для концентрата, получаемого из угля пласта n_7^1 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_2	37,70	37,70	75,08
Al_2O_3	19,10	19,10	7,64
Fe_2O_3	10,07	10,07	4,028
CaO	14,48	14,48	5,792
MgO	2,07	2,07	0,828
K_2O	1,25	1,25	0,50
Na_2O	0,66	0,66	0,264
Индекс основности по ф-ле (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_7 шахтных полей 1и 2 Любельского месторождения

Показатели	Значения показателей		
	Средние данные	**Концентрат <1400**	**Со спец. добавками**
Зольность, %	6,95	4,0	10,0
Выход летучих, %	24,60	24,60	24,60
SiO_2	38,20	38,20	75,28
Al_2O_3	16,80	16,80	6,72
Fe_2O_3	9,20	9,20	3,68
CaO	17,70	17,70	7,08
MgO	2,20	2,20	0,88
K_2O	1,07	1,07	0,428
Na_2O	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

Полученные нами результаты научно-исследовательской работы по обогащению угля марки «Ж» Любельского месторождения показали, что в концентрате, выделенном при плотности 1400 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 CETCO, приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2 для концентрата, полученного по технологии CETCO, 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 CETCO разработана технология изменения химического состава золы, основанного 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 низкозольного концентрата, полученного при 1400 кг/м3. 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 низкозольного 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.

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 CETCO 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.. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Козлов Вадим Анатольевич — кандидат технических наук, доцент, главный технолог Угольного департамента ООО «Коралайна Инжиниринг», vak@cetco.ru.

О Т Д Е Л Ь Н Ы Е С Т А Т Ь И ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

СИНЕРГИЯ СЛИЯНИЯ (M&A) ГОРНЫХ КОМПАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ

Ястребинский Михаил Александрович — доктор экономических наук, профессор, Московский государственный горный университет.

Гусева Наталия Михайловна — кандидат экономических наук, горный инженер-экономист, начальник управления Росфиннадзора РФ. Государственный советник второго класса.

Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2012. — № 11. — 28 с.— М.: Издательство «Горная книга».

Рассмотрены особенности дружественного слияния горных компаний. Уделено внимание формированию коэффициента конвертации акций. Приведена методика применения золотого сечения для осуществления более эффективного процесса слияния компаний.

Ключевые слова: коэффициент конвертации, эффект финансового рычага, акция, финансовая синергия.

.

SYNERGY OF CONSOLIDATION (M&A) MINING COMPANIES USING THE TECHNOLOGY OF THE GOLDEN SECTION

Yastrebinskiy M.A., Guseva N.M.

Features of friendly merge of mining companies are considered. The attention is paid to formation of factor of converting of actions. The technique of application of a golden ratio for implementation of more effective process of merge of the companies is given.

Key words: conversion ratio, the effect of financial leverage, share, financial synergies..