

**О МАРОЧНОЙ СТРУКТУРЕ И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ
УГЛЕЙ, ИМПОРТИРУЕМЫХ В УКРАИНУ
ДЛЯ КОКСОВАНИЯ**

© 2011 Гусак В.Г.
(ООО «Метинвест Холдинг»),
Дроздник И.Д., к.т.н. (УХИИ)

Показано, что состояние угольной сырьевой базы коксохимических заводов Украины как в настоящее время, так и в перспективе будет иметь дефицитный характер, в связи с чем объем импорта коксующихся углей может возрасти. Рассмотрены технологические свойства значительного количества углей США различной степени метаморфизма и возможность их использования в сырьевой базе коксования заводов Украины для получения высокопрочного и низкореакционного металлургического кокса

It is shown, that the situation with the coal resource base of coking plants in Ukraine will have a scarce character as in present as in future, and therefore the volume of coking coal imports may rise. A significant technological properties of USA coals of different degrees of metamorphism and the possibility of their use in the resource base of Ukrainian coking plants to obtain high strength and low-reactive metallurgical coke is considered.

Ключевые слова: уголь, кокс, реакционная способность, послереакционная прочность, индекс основности.

Импортная составляющая угольной сырьевой базы коксования заводов Украины превысила отметку 30 % и продолжает расти. Это связано с падением добычи отечественных углей особо ценных для коксования марок – Ж, К, ОС. Очевидно, дефицитность угольной сырьевой базы украинских коксохимических заводов сохранится и в перспективе, по крайней мере, до 2015 г. Так, в готовящихся изменениях к Программе «Украинский уголь» (утверждена постановлением Кабинета Министров Украины № 1205 от 19.09.2001) объем добычи украинских коксующихся углей, их доля от потребности и необходимый объем импорта коксующихся углей определены в следующих количествах, представленных в табл. 1.

Таблица 1

**Прогноз объема добычи, доли от потребности и ожидаемого импорта
коксующихся углей до 2015 г., вариант 1**

Показатели	Год					
	2010*	2011	2012	2013	2014	2015
Объем добычи коксующихся углей, млн.т.	26,6	26,8	27,1	27,5	27,9	28,2
Доля отечественных углей от потребности Украины в коксующихся углях, %	70,2	67,0	63,4	60,4	58,7	56,8
Импорт коксующихся углей, млн.т.	7,5	8,7	10,3	11,9	13,0	14,1

* прогноз в изменениях к Программе «Украинский уголь»



Однако на протяжении последних десятилетий добыча коксующегося угля в Украине постоянно снижается, составив в 2010 г. менее одной трети объема добычи 1980 г. (см. рис.).



Таблица 2
Прогноз объема добычи, доли от потребности и ожидаемого импорта коксующихся углей до 2015 г., вариант 2

Показатели	Год					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	Факт	Прогноз	Прогноз	Прогноз	Прогноз	Прогноз
Объем добычи коксующихся углей, млн.т.	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
Доля отечественных углей от потребности Украины в коксующихся углях, %	63,3	59,9	56,1	52,7	50,4	48,3
Импорт коксующихся углей, млн.т.	9,2	10,6	12,4	14,2	15,5	16,9

Исходя из этого, возможно более реалистичным (вариант 2) является предположение, что добычу коксующихся углей в 2011-2015 гг. удастся лишь удержать на уровне 2010 г. (см. табл. 2).

Из приведенных данных видно, что долевое участие украинских коксующихся углей в сы-

рьевой базе заводов Украины снизится до уровня < 50 %, что потребует увеличения объема импорта в 2015 г. по сравнению с 2010 г. почти вдвое (16,9 млн.т.).

Таким образом, марочная структура и технологические свойства импортной составляющей сырьевой базы коксования украинских

заводов становится весьма влиятельным фактором при получении высокопрочного низко-реакционного металлургического кокса, особенно при использовании пылеугольного топлива в доменном производстве. В этой связи требуется анализ углей, доступных для им-

порта, их марочной структуры, технологических свойств и особенностей.

В табл. 3 представлены данные по поступлению импортных и отечественных углей на коксохимические заводы Украины за 11 месяцев 2009 года и за 11 месяцев 2010 г.

Таблица 3

Поступление углей на коксохимические заводы Украины (11 месяцев)

Период	Всего, тыс.т.	Украина, тыс.т.	Импорт общий, тыс.т.	В том числе, тыс.т.				Доля углей Украины, %	Доля импортных углей, %
				Россия	Казахстан	Абхазия и др. страны			
2009 г.	23327,4	16514,1	6813,3	5348,5	957,0	4,4	503,4	70,8	29,2
2010 г.	24828,5	16442,1	8386,4	6160,7	711,8	47,0	1466,9	66,2	33,8
Изменение в 2010 г. по сравнению с 2009 г.	+1501,1	-72,0	+1573,1	+812,2	-245,2	+42,6	+963,5	-4,6	+4,6
	106,4	99,6	123,1	115,2	74,4	1068,2	291,4	93,5	115,6

Сопоставление данных табл. 3 позволяют судить о росте доли импортных углей в сырьевой базе коксования. Основными поставщиками являются страны СНГ – в определяющей мере Россия, а также Казахстан. Из стран дальнего зарубежья основным поставщиком на ближайшую перспективу очевидно станут США, имеющие весьма значительные экспортные ресурсы коксующихся углей.

Известно, что угли Карагандинского бассейна Казахстана являются собственностью индийской компании «АрселорМиттал», и в Украине используются, в основном, на коксохимическом производстве ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Этой же компании принадлежат российские угли кузнецкого бассейна (марки К, КС, КСН, ОС) шахты «Северная», которые также планируются к использованию в сырьевой базе упомянутого предприятия.

Анализ остальных имеющихся ресурсов коксующихся российских углей показывает,

что угли наиболее ценных марок в ресурсах для экспорта отсутствуют и могут быть представлены, в основном, отощающими компонентами разных стадий метаморфизма – Г, ГЖО, КС, КСН, СС. Из более-менее спекающихся марок возможна поставка небольшого количества кузнецких и печорских углей марки ГЖ (печорские в смеси с маркой Ж), а также некоторое количество углей марок К и ОС Якутии (Нерюнгринский бассейн). Исследования этих углей показали как их хорошую совместимость с донецкими (петрографическая однородность), а также низкие значения содержания серы (0,25-0,35 %) и индекса основности (1,7-2,2), так и высокую зольность товарного концентрата (10,0-12,5 %). Долевое участие в объеме импортных поставок российских углей марок ГЖ, Ж К и ОС суммарно может составить 15-20 %.

Исходя из необходимости получения высокопрочного металлургического кокса, работами института [1-6] показано, что спекающей

основы шихты – углей марок Ж и К – следует иметь до 70 %. В табл. 4 представлен требуемый марочный состав шихты украинских за-

водов и его фактическое обеспечение украинскими углями.

Таблица 4

Требуемый марочный состав и его обеспеченность украинскими углями

Марочный состав	Содержание марки угля, %				Всего
	Г	Ж	К	ОС	
Требуемый	15,0	40,0	30,0	15,0	100,0
Обеспеченный ресурсами	15,0	25,2	20,0	2,3	62,5
Дефицит	-	14,8	10,0	12,7	37,5

Из представленных данных видно, что отечественная потребность обеспечена только углами марки Г. Следует отметить, что наиболее дефицитной в Украине является марка ОС, долевое участие которой в шихте вместо требуемых 15 % составляет 2,3 %. Имеющиеся экспортные ресурсы российских углей могли бы восполнить дефицит отошущих компонентов в шихтах украинских заводов. Однако большинство этих углей марок КС, КСН, ОС, СС разрабатываются разрезами и имеют содержание инертинита до 70 %. Данное обстоятельство существенно влияет на качество получаемого кокса, а для нивелирования отрицательного влияния такого петрографического состава требуется коренное изменение схемы подготовки углей к коксованию, в частности перехода с дробления всей шихты (схема ДШ) на дробление группы компонентов (схема ГДК) или отдельных компонентов (схема ДДК).

Наиболее остро стоит вопрос обеспечения углами особо ценных марок Ж и К, являющихся спекающей основой шихты. Достаточные экспортные ресурсы этих углей имеют Австралия, США, Канада. Анализ рынка коксующихся углей, поставляемых этими странами, показал, что более перспективными для поставки в Украину являются американские угли. В связи с этим большое внимание уделяется изучению их технологических свойств и

особенностей. Так, в УХИНе изучены технологические свойства американских углей, используемых на заводах компаний «Арселор-Миттал Кривой Рог» и «ИСД». Но наиболее масштабно изучением американских углей с последующим привлечением их в сырьевую базу своих заводов занимается компания ООО «Метинвест Холдинг». В табл. 5 и 6 представлены результаты исследований достаточно большого количества углей, предоставленных этой компанией УХИНу в 2008-2010 гг.

Из приведенных данных видно, что в поле зрения ООО «Метинвест Холдинг» находятся не только коксующиеся угли основных марок, но и угли, представляющие интерес с точки зрения технологии производства пылеугольного топлива (ПУТ) – для вдувания в доменные печи и для энергетических целей. При поиске и выборе коксующихся углей преимущество отдается жирным и отощенным спекающимся углем, а для производства ПУТ – газовым, тощим и слабоспекающимся (СС).

Анализ исследованных углей для коксования показывает, что жирные угли имеют диапазон зольности 8,4-10,6 %, содержание серы – 0,32-1,74 %, выход летучих веществ – 32,3-35,8 %, спекаемость – 15-31 мм.

В связи с требованиями металлургов к качеству доменного кокса по реакционной способности и послереакционной прочности особое внимание следует обратить на индекс ос-

новности минеральной части угля, определяемый следующим уравнением:

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

Таблица 5

Технологические свойства углей США

Наименование пробы	Марка по ДСТУ 3472-96	Технический анализ, %				Пластометрические показатели, мм		Средний произвольный показатель отражения витринита, %	Индекс основности
		A ^d	S _t ^d	V ^d	V ^{daf}	x	y		
Marfork	Г	7,3	1,02	33,3	36,0	37	14	0,89	2,07
Advantage/ Elkhorn 3	Г	9,1	1,49	38,5	42,4	43	16	0,77	4,27
Uz 2/ Elkhorn 3	Г	8,5	3,23	38,2	41,8	46	15	0,74	5,13
Paw Paw # 1/ Splashdam seam	Ж	8,4	1,09	32,3	35,3	23	24	0,95	2,88
Locust Thicket/ Hagy seam	Ж	8,7	0,87	30,7	33,6	18	25	0,95	2,24
Conaway #1/ Splashdam seam	Ж	7,7	1,74	33,0	35,8	11	31	0,94	4,93
Tech Leasing/ Hagy seam	Ж	8,7	1,10	29,5	32,3	19	25	0,98	2,82
Shoal Creek Coal	Ж	9,9	0,32	27,6	30,6	5	24	1,01	3,00
Nora	Ж	9,9	0,97	32,8	36,4	28	23	0,85	3,69
Wellmore 8	Ж	8,5	0,91	31,2	34,1	15	26	0,93	1,78
Твин Рокс	Ж	9,6	1,33	25,4	28,1	-6	27	1,19	3,45
Carter Roag	Ж	8,5	0,69	29,1	31,8	26	17	1,00	1,81
Twin rocks. Mid-volatile	Ж	9,6	1,23	24,9	27,5	-3	30	1,18	2,94
STAR BRIDGE/ SEWELL	Ж*	10,6	0,64	28,4	31,8	30	15	1,02	1,94
Moranbach	KO*	9,1	0,57	24,1	26,4	27	14	1,14	2,81
Hail creek	KO*	9,4	0,47	21,8	24,1	31	10	1,18	2,27
Wolverine	KO*	8,4	0,43	22,4	24,4	23	10	1,28	2,26
Wolverine Perry Creek	K	8,2	0,42	22,4	24,4	20	14	1,22	2,19
Wolverine Perry Creek (Upper Seam)	KO*	9,6	0,79	23,5	26,0	28	12	1,14	1,85
EAST GULF/ POCA #2 SEAM	OC	9,8	0,83	16,0	17,7	22	10	1,56	2,03
EAST GULF/ POCA #3 SEAM	OC	8,0	0,80	15,5	16,8	14	9	1,62	1,11



Продолжение таблицы 5

Наименование пробы	Марка по ДСТУ 3472-96	Технический анализ, %				Пластометрические показатели, мм		Средний произвольный показатель отражения витринита, %	Индекс основности
		A ^d	S ^d _t	V ^d	V ^{dar}	x	y		
EAST GULF/POCA#6 SEAM	ОС	4,5	0,63	17,1	17,9	4	11	1,53	1,23
Twin Rock	ОС	8,9	1,04	20,1	22,1	36	10	1,30	2,94
East Gulf	ОС	8,2	0,75	17,1	18,6	15	12	1,47	1,62
Покахонтас	ОС	8,9	0,94	16,4	18,0	40	10	1,54	2,27
Brule Southerh pit (coking coal appears)	Т	4,9	0,60	14,5	15,3	21	менее 6	1,62	0,53
Brule pci. Load-out	Т	4,1	0,54	13,9	14,5	20	менее 6	1,67	0,40
Ksos	CC*	11,2	0,52	19,4	21,9	22	менее 6	1,30	4,98
Qvecreek	CC*	9,2	1,04	18,9	20,8	22	менее 6	1,44	3,16

* По ГОСТ 25543-88

Многочисленными [7-9] исследованиями доказано, что для получения кокса с показателями реакционной способности CRI $\leq 35\%$ и послереакционной («горячей») прочности CSR $\geq 50\%$ значение индекса основности не должно превышать 2,5. Исследованные жирные угли имеют значения этого показателя в интервале 1,78-4,93. Для сравнения, значения индекса основности всех украинских углей этой марки лежат в пределах 5-8 (за исключением шахты им. Скочинского – 2,11-2,20).

Группа углей более высоких стадий метаморфизма марок К, КО, ОС имеет зольность 4,5-9,8 %, содержание серы – 0,42-1,04 %, выход летучих веществ – 16,8-26,0 %, толщину пластического слоя – 9-14 мм. Индекс основности этой группы углей находится в диапазоне 1,11-2,94. Значения И_о украинских углей этих стадий метаморфизма лежат в пределах от 3,5 до 10,5, за исключением шахты Красноармейская Западная №1 (1,7-1,9).

Основными требованиями к углям для производства ПУТ являются невысокая зольность и содержание серы до 1,0 %. Из газовых углей

наиболее пригоден для этих целей уголь «Mafork» (A^d = 7,3 %; S^d_t = 1,02 %).

Угли марок Т и СС характеризуются зольностью 4,1-11,2 % и содержанием серы 0,52-1,04 %.

Все исследованные угли имеют разный петрографический состав и содержание витринита. Так, из 11 исследованных жирных углей высоким содержанием витринита (70-92 %) характеризуются восемь углей, а три угля содержат 29-38 % макералов группы инертинита. Отражательной способностью витринита R_o $\leq 1,0\%$ характеризуется шесть углей, а более зрелым возрастом (R_o = 1,0-1,19 %) – пять углей.

Угли более высоких стадий метаморфизма марок К, КО, ОС являются петрографически неоднородными с содержанием витринита менее 70 %. При этом семь углей содержат 29-38 % макералов группы инертинита.

Анализ марочного состава углей, условно соответствующий стадиям метаморфизма витринита (табл. 5), показывает, что жирные угли на 66-99 % соответствуют данной марке. При

этом пять углей имеют от 17 до 75 % витринита, соответствующего марке Г, а два угля – 26-31 % витринита, соответствующего марке К.

Таблица 6

Петрографическая характеристика углей США

Наименование пробы	Марка по ДСТУ 3472-96	Петрографический состав (без минеральных примесей), %					Средний показатель отражения витринита, %	Стадии метаморфизма витринита, %						
		Vt	Sv	I	L	Σ_{OK}		0,50-0,64	0,65-0,89	0,90-1,19	1,20-1,39	1,40-1,69	1,70-2,59	
								Марки угля, условно соответствующие стадиям метаморфизма витринита						
		Vt	Sv	I	L	Σ_{OK}	Ro	DГ	Г	Ж	К	ОС	Т	A
Marfork	Г	72	1	18	9	19	0,89	-	57	43	-	-	-	-
Advantage/ Elkhorn 3	Г	69	1	19	11	20	0,77	5	92	3	-	-	-	-
Uz 2/ Elkhorn 3	Г	62	1	26	11	27	0,74	17	76	7	-	-	-	-
Paw Paw # 1/ Splashdam seam	Ж	75	-	22	3	22	0,95	-	23	77	-	-	-	-
Locust Thicket/ Hagy seam	Ж	54	2	38	6	40	0,95	-	22	78	-	-	-	-
Conaway #1/ Splashdam seam	Ж	67	0	29	4	29	0,94	-	17	83	-	-	-	-
Tech Leasing/ Hagy seam	Ж	58	1	36	5	37	0,98	-	5	95	-	-	-	-
Shoal Creek Coal	Ж	76	0	21	3	21	1,01	-	1	99	-	-	-	-
Nora	Ж	82	1	14	3	15	0,85	-	75	25	-	-	-	-
Wellmore 8	Ж	70	1	24	5	25	0,93	-	25	74	1	-	-	-
Твин Рокс	Ж	90	-	9	1	9	1,19	-	-	66	26	8	-	-
Carter Roag	Ж	92	-	7	1	7	1,00	-	5	95	-	-	-	-
Twin rocks. Mid-volatile	Ж	89	1	9	1	10	1,18	-	-	69	31	-	-	-
STAR BRIDGE/ SEWELL	Ж*	85	1	11	3	12	1,02	-	9	91	-	-	-	-
Moranbach	KO*	63	1	36	-	37	1,14	-	-	85	15	-	-	-
Hail creek	KO*	62	3	35	-	37	1,18	-	3	51	43	3	-	-
Wolverine	KO*	61	1	38	-	39	1,28	-	1	18	71	9	1	-
Wolverine Perry Creek	K	64	2	34	-	36	1,22	-	-	34	66	-	-	-
Wolverine Perry Creek (Upper Seam)	KO*	73	2	25	-	27	1,14	-	-	84	16	-	-	-
EAST GULF/ POCA #2 SEAM	ОС	67	2	31	-	33	1,56	-	-	-	3	93	4	-
EAST GULF/ POCA #3 SEAM	ОС	66	3	31	-	33	1,62	-	-	-	-	83	17	-

Продолжение таблицы 6

Наименование пробы	Марка по ДСТУ 3472-96	Петрографический состав (без минеральных примесей), %					Средний показатель отражения витринита, %	Стадии метаморфизма витринита, %						
								0,50-0,64	0,65-0,89	0,90-1,19	1,20-1,39	1,40-1,69	1,70-2,59	и более
		Vt	Sv	I	L	Σ OK	Ro	DГ	Г	Ж	К	ОС	Т	A
EAST GULF/ POCA#6 SEAM	OC	76	2	22	-	24	1,53	-	-	-	5	93	2	-
Twin Rock	OC	85	1	12	2	12	1,30	-	12	31	6	44	7	-
East Gulf	OC	79	0	21	0	21	1,47	-	-	1	29	69	1	-
Покахонтас	OC	69	2	29	0	31	1,54	-	2	2	5	81	10	-
Brule Southerh pit (coking coal appears)	T	43	1	56	0	57	1,62	-	-	-	1	75	24	-
Brule pci. Load-out	T	36	1	63	-	64	1,67	-	-	-	-	56	44	-
Ksos	CC*	54	2	25+ 19**	-	46	1,30	-	8	23	28	35	6	-
Qvecreek	CC*	87	1	7+ 5**	-	13	1,44	-	6	9	8	74	3	-

* По ГОСТ 25543-88

** Частицы неизвестного происхождения

Угли марки КО «Hail creek» являются смесью жирных и коксовых углей в соотношении 51 и 53 % соответственно, а «Wolverine» – марок Ж, К и ОС с базовой маркой К (71 %).

Весьма интересными являются угли марки ОС. Содержание витринита составляет 66-85 %, инертинита 12-31 %. Показатель отражения витринита составляет интервал 1,30-1,62%. Стадии метаморфизма этой марки (81-93 %) соответствуют четыре угля, а еще два являются смесью углей на базе этой марки (44-69 %). Учитывая, что Украина практически не имеет ресурсов углей данной марки, а импортные российские карьерные угли марок КС, КСН, СС содержат до 70 % инертинита, данная марка американских углей является наиболее полезным отощающим компонентом для сырьевой базы украинских заводов.

Из анализа состояния и перспективы обеспечения украинского коксохимического производства коксующимся углеми, а также марочной структуры и технологических свойств импортных углей можно сделать следующие основные выводы:

1. Угольная сырьевая база коксохимических заводов Украины как в настоящее время, так и в перспективе будет иметь дефицитный характер. При этом уровень дефицита коксующихся углей увеличится с 35-40 % в 2010 г. до 50-55 % в 2015 г. в консервативном сценарии.

2. В связи с данным дефицитом объем импорта коксующихся углей может возрасти с 9,2 млн.т. в 2010 г. до 16,9 млн.т. в 2015 г., при сохранении добычи на уровне 2010 г.

3. Основным поставщиком в Украину коксующихся углей марок ГЖО, ГЖ, КС, КСН, СС останется Россия. Также сохранятся поставки некоторого количества карагандинских углей для нужд металлургического комбината «АрселорМиттал Кривой Рог».

4. Вопрос обеспечения спекающимися марками углей может быть решен только за счет импорта углей из дальнего зарубежья. При этом следует учесть, что наиболее высоким экспортным потенциалом и мобильностью поставок в Украину в настоящее время обладают США.

5. Учитывая данное обстоятельство, следует отметить, что наибольшее количество углей США в настоящее время исследовано по проблемам и партиям, представленным ООО «Метинвест Холдинг». Результаты исследований углей свидетельствуют об их высокой технологической ценности, а опытно-промышленные коксования позволяют выбрать оптимальный компонентный и марочный состав для получения кокса улучшенного качества и пониженной реакционной способности.

Библиографический список

1. Ковалев Е.Т. Влияние качества угольной шихты на реакционную способность, послереакционную прочность кокса и технико-экономические показатели доменного процесса / Ковалев Е.Т., Шульга И.В., Рыщенко А.И., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В. // Углехимический журнал. – 2008. – № 3-4. – С. 41-48.

2. Кафтан Ю.С. Взаимосвязь органической и минеральной частей угольной шихты с «холодной» и «горячей» прочностью кокса / Кафтан Ю.С., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В. [и др.] // Углехимический журнал. – 2007. – № 3-4. – С. 3-13.

3. Рыженков А.Н. Требования к качеству кокса для доменной плавки с использованием пылеугольного топлива и промышленный

опыт производства такого кокса в Украине / Рыженков А.Н., Гордиенко А.И., Ковалев Е.Т., Шульга И.В. // Труды международной научно – технической конференции «Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна». – Донецк: УНИТЕХ, 2006. – С. 65-76.

4. Рыщенко А.И. Влияние свойств углей на реакционную способность и послереакционную прочность кокса / Рыщенко А.И., Шульга И.В., Мирошниченко Д.В. // Углехимический журнал. – 2009. – № 5-6. – С. 17-22.

5. Кафтан Ю.С. Развитие научных основ составления угольных шихт из углей разных бассейнов / Кафтан Ю.С., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В., Головко М.Б. // Углехимический журнал. – 2010. – № 3-4. – С. 25-31.

6. Ковалев Е.Т. Формирование свойств кокса. Реакционная способность / Шмалько В.М., Шульга И.В. [и др] // Углехимический журнал. – 2006. – № 5 – 6. – С. 13 – 20.

7. Ковалев Е.Т. Возможность получения высококачественного низкореакционного металлургического кокса в условиях существующей угольной сырьевой базы Украины / Ковалев Е.Т., Дроздник И.Д. // Углехимический журнал. – 2010. – № 3-4. – С. 4-11.

8. Дроздник И.Д. Совершенствование схем подготовки углей в условиях межбассейновой сырьевой базы коксования / Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В., Ладыжинский В.М., Бессчастный Ю.В., Топоркова Н.И. // Углехимический журнал. – 2010. – № 3-4. – С. 11-17.

9. Золотухин Ю.А. Сравнительный анализ основных факторов, формирующих высокие показатели качества кокса CSR и CRI из шихт «BHP Steel» и ОАО «НТМК» / Золотухин Ю.А., Андрейчиков Н.С., Гилязетдинов Р.С. // Кокс и химия. – 2006. – № 6. – С. 18-23.

Рукопись поступила в редакцию 09.12.2010