

**ФОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ
ПРОЧНОСТИ И СИТОВОГО СОСТАВА
ДОМЕННОГО КОКСА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ
ШИХТ С РАЗЛИЧНЫМ УЧАСТИЕМ УГЛЯ
ОАО «УК «ШАХТА «КРАСНОАРМЕЙСКАЯ
ЗАПАДНАЯ №1»**

© 2010 Золотарев И.В. (ЗАО «Макеевкокс»),
Дроздник И.Д., к.т.н.,
Мирошниченко Д.В., к.т.н.,
Кафтан Ю.С., к.т.н., Шульга И.В., к.т.н.,
Торяник Э.И., к.т.н., Бидоленко Н.Б.,
Бесчастный Ю.В.,
Головко М.Б., Сытник А.В. (УХИН),
Давидзон А.Р., к.т.н. (ЗАО «Донецксталь – МВ»)

В результате проведенных исследований установлено, что увеличение содержания угля ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» в шихте ЗАО «Макеевкокс» приводит к увеличению выхода валового и металлургического кокса, повышению его крупности и улучшению прочностных свойств.

Кроме того, на основании экспериментальных данных определено, что шихты с содержанием 50 % и более угля ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» развивают опасные величины давления расприраия (более 7,5 кПа), что может привести к накопительной усталости кладки камер коксования и сокращению срока службы батарей.

It is set as a result of the provided researches, that increase of coal content of JSC «CC «Krasnoarmejskaja Zapadnaja №1» in a coal charge of Closed JSC «Makeevkoks» results in the increase of output of yield and metallurgical coke, it's size and improvement of properties for hardness.

In addition, it is on the basis of experimental, that charge with content ≥ 50 % coal of JSC «CC «Krasnoarmejskaja Zapadnaja №1» develop the dangerous of holding-pressure (more than 7,5 kPa), that can result in the reduction of service term of coking ovens batteries.

Ключевые слова: ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1», угольный концентрат, шихта, выход химических продуктов коксования, давление расприраия, технология коксования, качество кокса.

В работе [1] показано, что наряду с показателями механической прочности [2] имеет место также влияние реакционной способности и послереакционной («горячей») прочности доменного кокса на его расход в доменной печи.

Вследствие этого, необходимо добиваться получения доменного кокса, характеризующегося высокими



значениями как механической, так и «горячей» прочности. Учитывая тот факт, что существующая на сегодняшний день отечественная угольная сырьевая база не в состоянии удовлетворить данное требование [3], актуальной становится задача квалифицированного использования имеющегося в наличии высококачественного сырья. В первую очередь, это относится к низкосернистым и низкоосновным угольным концентратам марок «Ж» и «К».

Согласно [4], для получения кокса улучшенного качества ($M_{25} > 88,3\%$, $M_{10} < 6,8\%$; $CRI = 27,5-31,5\%$, $CSR = 52,5-61,0\%$), который соответствовал бы ТУ У 23.1-00190443-086:2006 [5] на ЗАО «Макеевкок», была использована угольная шихта следующего состава, %:

- концентрат угля ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1», марка «К» – 73;
- концентрат угля ОП «Шахта имени А.А.Скочинского», марка «Ж» – 7;
- концентрат угля АП «Шахта имени А.Ф.Засядько», марка «Ж» – 20.

В этой же работе указано, что введение в состав шихты концентрата угля АП «Шахта имени А.Ф.Засядько» являлось вынужденной мерой, вследствие ограниченного на тот момент ресурса малосернистого и низкоосновного концентрата ОП «Шахта имени А.А.Скочинского».

В табл. 1 и 2 приведены технологические свойства и петрографические характеристики основных угольных концентратов, входящих в сырьевую базу ЗАО «Макеевкок», а именно: ОП «Шахта имени А.А.Скочинского», ЦОФ «Киевская», ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» и разрез «Черниговец».

В табл. 2 приведены также значения двух показателей, разработанных на базе петрографических характеристик (C_m – спекаемость шихты и K_m – коксумость шихты), и характеризующих технологическую ценность угольных компонентов или производственных шихт [6, 7]. Первый дает количественную оценку составных частей органической массы углей, которые в процессе термической деструкции образуют значительные количества термостойких жидких продуктов, способных образовывать с остаточным материалом деструктурирующихся зерен и с инертными составляющими спекшийся материал различной прочности. Рассчитывается C_m по формуле (1).

$$C_m = \frac{\Sigma(0,9-1,39)Vt}{100}, \% \quad (1)$$

где: $\Sigma(0,9-1,39)$ – содержание составляющих витринита с величиной показателя отражения от 0,9 до 1,39 %, %;
Vt – содержание мацералов группы витринита, %.

Таблица 1

Технологические свойства исследованных компонентов угольных концентратов ЗАО «Макеевкок»

Наименование компонента	Марка по удостоверению	Технический анализ, %				Пластометрические показатели, мм		Средний показатель отражения витринита, R_o , %	Спекающая способность по R_o , RI, ед.
		A^d	S_t^d	V^d	V^{daf}	x	y		
ОП «Шахта имени А.А.Скочинского»	Ж	8,3	1,12	29,3	32,0	20	19	1,04	74
ЦОФ «Киевская»	Ж	7,8	1,83	29,7	32,2	1	25	1,06	68
ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1»	К	8,7	0,83	26,0	28,5	15	14	1,12	55
Разрез «Черниговец»	СС	8,5	0,62	23,2	25,3	36	7	0,98	24

Показатель K_m представляет собой отношение суммарного содержания составляющих витринита с показателем отражения от 0,9 до 1,39 %, которые проявляют высокую спекаемость и обладают способностью принимать отошающие присадки, и мацералов группы липтинита к сумме отошающих мацералов и неспекающихся составляющих витринита с показателем отражения более 1,7 %. Естественно, чем выше это отношение, тем больше вероятность при прочих равных условиях (близости среднего

произвольного показателя отражения витринита и выхода летучих веществ) получения малоистирающегося и мелкодробимого кокса. Показатель K_m рассчитывается по формуле (2):

$$K_m = \frac{\Sigma(0,9-1,39)Vt/100 + L}{\Sigma OK + \Sigma(\geq 1,7)Vt/100}, \text{ ед.} \quad (2)$$

где: $\Sigma(0,9-1,39)$ – содержание составляющих витринита с величиной показателя отражения от 0,9 до 1,39 %, %;

Vt – содержание мацералов группы витринита, %;
L – содержание мацералов групп липтинита, %;
ΣOK – сумма отошающих мацералов (I+2/3Sv) %;

Σ(>1,7)Vt/100 – содержание составляющих витринита с величиной показателя отражения более 1,7 %.

Таблица 2

Петрографическая характеристика исследованных угольных компонентов ЗАО «Макеевкокс»

Наименование компонента	Марка по удостоверению	Петрографический состав (без минеральных примесей), %					С _ш , %	К _ш , ед.	Стадии метаморфизма витринита, %						
		Vt	Sv	I	L	ΣOK			<0,50	0,50-0,65	0,66-0,89	0,90-1,19	1,20-1,39	1,40-1,69	1,70-2,59
									Марки угля, условно соответствующие стадиям метаморфизма витринита						
Д	ДГ	Г	Ж	К	ОС	Т									
ОП «Шахта имени А.А.Скочинского»	Ж	87	–	11	2	11	84,4	7,85	–	–	3	95	2	–	–
ЦОФ «Киевская»	Ж	88	1	9	2	10	88,0	9,00	–	–	–	100	–	–	–
ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1»	К	87	–	11	2	11	86,1	8,01	–	–	1	81	18	–	–
Разрез «Черниговец»	СС	39	2	57	2	59	30,8	0,54	–	2	19	75	4	–	–

Таким образом, показатели С_ш и К_ш позволяют дать обобщающую количественную оценку петрографических характеристик угольных шихт, включающую в себя данные определения мацерального состава и рефлектограммного анализа.

Вследствие того, что угольные концентраты ОП «Шахта имени А.А.Скочинского» и ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» являются основными в сырьевой базе завода, нами проведено исследование зависимости механической прочности и ситового состава доменного кокса именно от содержания этих концентратов в составе угольной шихты*.

Основным принципом, которым руководствовались при составлении угольных шихт, являлся принцип проверки возможных комбинаций соотношения содержания угольных концентратов ОП «Шахта имени А.А.Скочинского» и ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» в составе одной шихты (100:0; 70:30; 50:50; 30:70; 0:100) с целью получения максимального выхода доменного кокса, характеризующегося максимальной крупностью и улучшенными показателями механических свойств.

В табл. 3 и 4 приведены компонентный состав, технологические свойства (включая давление расприания) и петрографические характеристики угольных шихт. Определение давления расприания насыпной шихты проводили лабораторным методом, описанным в работе [9].

* Вопросы формирования показателей CRI и CSR коксов из угольных шихт с участием угля ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» освещены в работе [8].

Вследствие близости петрографических характеристик угольных компонентов, входящих в опытные шихты, петрографический состав и рефлектограмма витринита последних также близки: содержание витринита составляет 87 %, а сумма его составляющих, соответствующих жирной и коксовой стадиям метаморфизма, равна 97-99 %. Показатель отражения витринита колеблется в пределах 1,04-1,12 %. Рассчитанные по формулам (1) и (2) комплексные петрографические показатели С_ш и К_ш составляют 84,4-86,1 % и 7,86-8,01 ед. соответственно.

По итогам исследования опытных шихт можно констатировать, что с увеличением содержания в шихте концентрата ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» снижаются содержание общей серы (с 1,12 до 0,83 %) и выход летучих веществ (с 32,0 до 28,5 %), а также растут показатель отражения витринита (с 1,04 до 1,12 %) и значения комплексных петрографических показателей С_ш (с 84,4 до 86,1 %) и К_ш (с 7,86 до 8,01 ед.). Данное обстоятельство должно отразиться на увеличении выхода и улучшении прочностных показателей полученного лабораторного кокса.

Необходимо отметить, что шихты, в состав которых входит 50 % и более угля ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» характеризуются повышенными величинами давления расприания. Полученные величины (13,1-17,0 кПа) превышают предельно допустимое Гипрококсом [10] значение (менее 7,5 кПа), что может служить предпосылкой к накопительной усталости кладки камер коксования и сокращению срока службы батарей.

Таблица 3

Компонентный состав и технологические свойства исследованных опытных угольных шихт ЗАО «Макеевкок»

Вариант шихты	Состав шихты, %		Технический анализ, %				Пласто-метрические показатели, мм		Средний показатель отражения витринита, R_o , %	Спекающая способность по P_{oga} , RI, ед.	Максимальное давление расприания, P_{max}^R , кПа
	ОП «Шахта имени А.А.Скочинского»	ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1»	A^d	S_t^d	V^d	V^{daf}	x	y			
	1	100	–	8,3	1,12	29,3	32,0	20	19	1,04	74
2	70	30	8,4	1,03	28,3	31,0	19	17	1,06	68	5,5
3	50	50	8,5	0,98	27,7	30,3	18	16	1,08	65	13,1
4	30	70	8,6	0,92	27,0	29,6	17	15	1,10	61	15,1
5	–	100	8,7	0,83	26,0	28,5	15	14	1,12	55	17,0

Таблица 4

Петрографическая характеристика исследованных угольных шихт ЗАО «Макеевкок»

Вариант шихты	Петрографический состав (без минеральных примесей), %					C_m , %	K_m , ед.	Стадии метаморфизма витринита, %						
								<0,50	0,50-0,65	0,66-0,89	0,90-1,19	1,20-1,39	1,40-1,69	1,70-2,59
	Vt	Sv	I	L	Σ OK	Марки угля, условно соответствующие стадиям метаморфизма витринита								
								Д	ДП	Г	Ж	К	ОС	Т
1	87	–	11	2	11	84,4	7,86	–	–	3	95	2	–	–
2	87	–	11	2	11	85,3	7,94	–	–	2	91	7	–	–
3	87	–	11	2	11	85,3	7,94	–	–	2	88	10	–	–
4	87	–	11	2	11	85,3	7,94	–	–	2	85	13	–	–
5	87	–	11	2	11	86,1	8,01	–	–	1	81	18	–	–

В то же время, опыт работы предприятия на шихтах, включающих 60-75 % угля ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» с добавлением присадочных углей (разрез «Черниговец», марка СС), показал возможность работы на такой шихте без большого числа случаев тугого хода и бурения печей [3]. Для решения указанной задачи были использованы технологические факторы, способные заметно снизить давление расприания угольной загрузки в камере коксования – такие, как степень измельчения угольной шихты, ее насыпная плотность, период и температурный режим коксования.

Также в лабораторных условиях определяли выход химических продуктов коксования (табл. 5, рис. 1) по ГОСТ 18635-73 «Угли каменные. Метод определения выхода химических продуктов коксования».

Анализируя данные табл. 5 можно прийти к выводу, что с увеличением содержания в шихте угля ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» происходит снижение выхода смолы, сырого бензола, пирогенетической влаги и сероводорода при практически неизменном выходе аммиака.

По принятой на ЗАО «Макеевкок» схеме подготовке шихты ДШ, опытные шихты были подроблены до 80 % содержания класса 3-0 мм и

прококсованы в пятикилограммовой лабораторной печи УХИНа [11].



Рис. 1 Подготовка к работе установки по определению выхода химических продуктов коксования

В камеру загружали 4,5 кг шихты с массовой долей влаги $8 \pm 0,5$ %. Температура в центре загрузки перед выдчей составляла 950 ± 10 °C при обороте 2 ч 40 мин. Тушение кокса – сухое.

Таблица 5

Вариант шихты	Выход химических продуктов коксования				
	Смола	Бензол	Влага пирогенетическая	Сероводород	Аммиак
1	4,30	1,36	3,80	0,39	0,29
2	4,11	1,31	3,70	0,35	0,30
3	3,93	1,29	3,61	0,33	0,30
4	3,90	1,24	3,58	0,33	0,29
5	3,88	1,20	3,53	0,26	0,29

Полученный кокс в соответствии с принятой методикой, подвергался четырехкратному сбрасыванию с высоты 1 м, рассеву и механической обработке в четырехсекционном барабане при 300 оборотах барабана. В каждую секцию загружалась навеска весом около 750 г, составленная из классов крупности более

25 мм, пропорционально их содержанию в коксе после сбрасывания.

После обработки в барабане определяли показатели дробимости Π_{25} (по содержанию класса более 25 мм) и истираемости I_{10} (по содержанию класса менее 10 мм).

Таблица 6

Варианты шихты	Технический анализ, %			Ситовый состав (мм), %				Выход и прочность кокса					Абразивная твердость, АТ, мг	Структурная прочность, СП, %	
	A^d	S_t^d	V^{daf}	>60	40-60	25-40	< 25	Средний диаметр, d_{cp}	V_k^d , %	V_m	Π_{25} , %	I_{10} , %			Π_k , %
1	11,20	0,95	0,6	22,0	7,4	61,1	9,5	40,2	74,4	0,905	90,1	8,1	7,49	55,6	88,8
2	11,20	0,88	0,7	26,0	5,1	59,5	9,4	41,3	75,0	0,906	90,8	8,1	7,62	56,8	88,0
3	11,30	0,83	1,0	27,5	6,3	57,6	8,6	42,2	75,5	0,914	90,6	7,9	7,91	52,6	88,2
4	11,30	0,78	0,9	28,9	7,4	55,2	8,5	42,9	76,0	0,915	90,5	7,8	8,07	55,5	89,0
5	11,30	0,71	1,0	33,5	9,0	49,1	8,4	45,0	76,7	0,916	90,8	7,5	8,51	58,5	89,4

В табл. 6 приведены технический анализ, ситовый состав, выход и прочностные характеристики опытного кокса. Также в табл. 6 приведен разработанный нами комплексный показатель (Π_k), учитывающий технологическую ценность исходной шихты с точки зрения получения из нее максимального выхода как валового, так и металлургического кокса с высокими прочностными показателями. Показатель Π_k рассчитывается по формуле (3).

$$\Pi_k = \frac{V_k^d V_m \Pi_{25}}{I_{10} 100} \quad (3)$$

где:

V_k^d – выход сухого валового кокса, %;

V_m – выход металлургического кокса;

Π_{25} – механическая прочность кокса, %;

I_{10} – истираемость кокса, %.

Данные табл. 6 свидетельствуют, что при практически одинаковой зольности (11,2-11,3 %), содержание общей серы в коксах изменяется от 0,95 % (вариант 1) до 0,71 % (вариант 5), т.е. на 0,24 % абс.

Приведенный в этой же таблице ситовый состав опытных коксов показывает, что крупность металлургического кокса, выраженная величиной среднего диаметра куска, растет с увеличением в исходной шихте содержания угля ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» от 40,2 до 45,0 мм.

Данные гранулометрического анализа подтверждаются внешним видом коксовых корольков, полученных в процессе определения пластометрических характеристик вариантов шихт 1-5 по методу Сапожникова и представленных на рис. 2. Согласно работе [12], характер трещин на поверхности коксового королька, полученного в пластометрическом стакане, приблизительно соответствует степени трещиноватости коксового «пирога» в промышленных печах. Использование данного метода способствует решению вопросов, связанных с подбором состава угольной смеси для улучшения качества кокса. При визуальном анализе данных корольков можно наблюдать снижение их трещиноватости (повышение крупности отдельных частей) по мере увеличения содержания в угольной шихте угольного концентрата ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1».

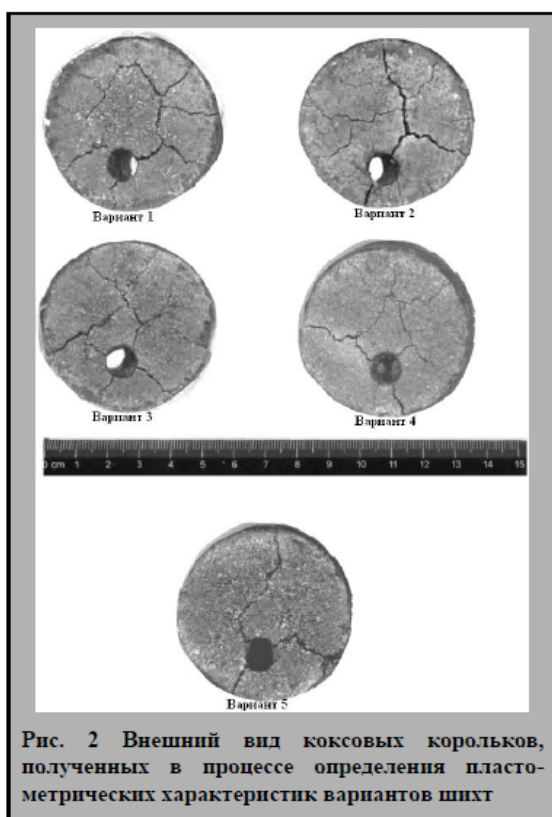


Рис. 2 Внешний вид коксовых королек, полученных в процессе определения пластометрических характеристик вариантов шихт

С увеличением содержания в опытных шихтах угля ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» увеличивается выход сухого валового кокса от 74,4 до 76,7 % при некотором росте выхода металлургического кокса (90,5 до 91,6 %). Также происходит снижение истираемости по показателю I_{10} (с 8,1 до 7,5 %) при одновременном увеличении показателя прочности Π_{25} (с 90,1 до 90,8 %).

Значения разработанного комплексного показателя Π_k , учитывающего выход и прочностные характеристики кокса, показывают, что с увеличением содержания угля ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» в шихте, этот показатель возрастает от 7,49 до 8,51 ед., т.е. на 13,6 % отн.

Значения абразивной твердости и структурной прочности также имеют тенденцию к улучшению при добавлении большего количества угля ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» к угольной шихте (соответственно от 55,6 до 58,5 мг и от 88,8 до 89,4 %).

Полученные данные о свойствах опытных коксов показывают, что увеличение давления расприания угольных шихт способствует повышению прочностных характеристик получаемого кокса, что имеет место при коксовании шихт вариантов 3, 4, 5.

На рис. 3 показан график зависимости комплексного показателя качества кокса Π_k от величины давления расприания.

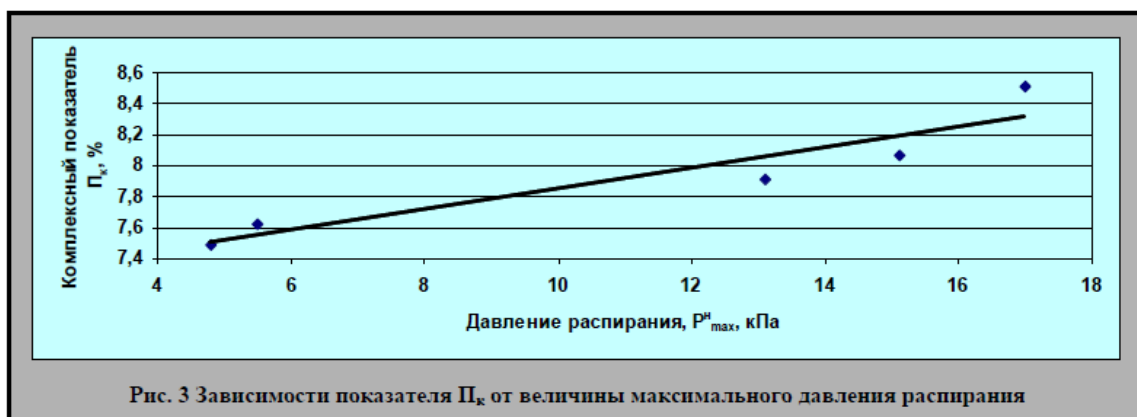


Рис. 3 Зависимости показателя Π_k от величины максимального давления расприания

Зависимость этих показателей также описывается уравнением (4):

$$\Pi_k = 0,067P_{\max}^H + 7,1748 \quad (4)$$

Коэффициент корреляции равен 0,94, коэффициент детерминации – 87,9 %.

Выводы

1. Увеличение содержания угля ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» в шихте ЗАО «Макеевкокс» приводит к увеличению выхода валового и металлургического кокса, к повышению его крупности и улучшению прочностных свойств:

повышению барабанной прочности (P_{25}), абразивной твердости (АТ) и структурной прочности (СП); снижению истираемости (I_{10}). Наиболее чувствительно улучшение качества кокса отразилось на росте комплексного показателя P_x (на 13,6 %).

2. Шихты с содержанием 50 % и более угля ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» могут развивать повышенные давления расприра (более 7,5 кПа), что может являться предпосылкой к накопительной усталости кладки камер коксования и к сокращению срока службы батарей. Поэтому необходимо четко придерживаться заданных технологических параметров производства кокса (степень измельчения и насыпная плотность угольной шихты, период коксования, уровень температур в отопительной системе и в коксуемой засыпи и т.д.).

3. Снижение выхода химических продуктов коксования и объемов производства из-за повышенных ПК при коксовании угольных шихт с высоким содержанием углей ОАО «УК «Шахта «Красноармейская Западная №1» и уменьшение пластометрических показателей их спекаемости создает предпосылки для добавления к упомянутым шихтам качественных хорошо спекающихся углей с пониженной сернистостью.

Библиографический список

1. Ковалев Е.Т., Шульга И.В., Рыщенко А.И., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В. Влияние качества угольной шихты на реакционную способность, послереакционную прочность кокса и технико-экономические показатели доменного процесса // Углехимический журнал – 2008. – № 3-4. – С. 41-48.
2. Доменные печи. Нормативы расхода кокса. Руководящий документ МЧМ СССР. – Днепропетровск: ИЧМ, 1987. – 16 с.
3. Золотарев И.В., Горанский П.Ю., Боровиков Г.Ф., Дембицкий В.Ю., Медянец С.А., Горяник Э.И. Эффективность использования доменного кокса улучшенного качества (КД-1у) ЗАО «Макеевкокс»

на ЗАО «Макеевский металлургический завод» // Углехимический журнал. – 2007. – № 7. – С. 36-43.

4. Филатов Ю.В., Крикунов Б.П., Гордиенко А.И., Коломийченко А.И., Ковалев Е.Т., Шульга И.В. Опыт производства доменного кокса улучшенного качества из украинских углей и испытание его в доменной печи с использованием ПУТ // Углехимический журнал. – 2007. – № 5. – С. 11-17.

5. ТУ У 23.1 – 00190443 – 086:2006 Кокс доменный марки «Премиум». Технические условия.

6. Кафтан Ю.С., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В., Бидоленко Н.Б., Рыщенко А.И. Взаимосвязь органической и минеральной частей угольной шихты с «холодной» и «горячей» прочностью кокса // Углехимический журнал. – 2007. – № 3-4. – С. 3-13

7. Чернышов Ю.А., Овчинникова С.А., Поддубный А.В., Кафтан Ю.С., Бидоленко Н.Б. Использование петрографических характеристик и новых показателей для оценки свойств углей и межбассейновых шихт ОАО «Запорожкокс» // Углехимический журнал. – 2009. – № 1-2. – С. 12-20.

8. Давидзон О.Р. Наукове обґрунтування раціонального використання низьковідновленого вугілля Донбасу для виробництва високоякісного коксу // Автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.17.07. – Харків: УХН, 2008. – 20 с.

9. Кузниченко В.М., Шульга И.В., Сытник А.В. Лабораторный способ определения давления расприра коксуемой угольной загрузки различной насыпной плотности // Углехимический журнал. – 2007. – № 3-4. – С. 29-33.

10. Правила технической эксплуатации коксохимических предприятий. – Харьков: Гипрококс, 2001. – 309 с.

11. Справочник коксохимика (в шести томах). Под ред. А.К. Шелкова. Т. 1. – М.: Металлургия, 1961. – 377 с.

12. Сапожников Л.М., Сперанская Г.В. Исследование современных принципов коксования углей // Труды Института горючих ископаемых. Том IV, вып. 1. – М.: Академия наук СССР, 1953. – 63 с.

Рукопись поступила в редакцию 12.08.2009

“УглеХимический журнал”

Ваш помощник в работе

Журнал отражает опыт работы коксохимических предприятий, научные достижения ученых-коксохимиков и может оказаться полезным в решении Ваших проблем.

