

**ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ УГОЛЬНОЙ  
СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПРОИЗВОДСТВА КОКСА С  
ЗАДАННЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ CRI  
И CSR**

**ABOUT THE DEVELOPING OF A RESOURCE BASE  
FOR THE PRODUCTION OF COKE WITH THE  
SPECIFIED INDICATORS CRI AND CSR**

© 2014 Улановский М.Л., к.т.н.,  
Мирошинченко Д.В., к.т.н.  
(ПП «УХИН»)

Ulanovsky M.L., PhD in technical sciences,  
Miroshnichenko D.V., PhD in technical sciences  
(SE "UKHIN")

*В результате анализа использованных источников информации показано, что часто применяемый термин «индекс основности золы» с буквенным обозначением  $I_o$  не согласуется с физическим смыслом уравнения, по которому рассчитывают его величину. Для количественной оценки минеральной части углей, как важного фактора, влияющего на качество кокса по показателям CSR и CRI, рекомендуется использовать новый термин «потенциал реакционной способности кокса» с обозначением CRP – Potential Reactivity of Coke. Приведено уравнение и его трёх- и двухпараметрические аноморфозы для расчёта потенциала реакционной способности кокса CRP. Разработаны математические модели взаимосвязи параметров CRP и индекса основности золы  $I_o$  для разных интервалов значений этих параметров. Установлено, что параметры CRP и  $I_o$  не являются аналогами, поэтому при разработке сырьевой базы производства кокса высокого качества по показателям CSR и CRI эти параметры следует использовать совместно, а их значения должны быть адекватными. Приведен алгоритм разработки бассейнового, марочного и компонентного составов шихт по показателям CRP и  $I_o$  и примеры его реализации.*

*The analysis of references shows that the commonly used term «ash basicity index» (which is designated as  $I_o$ ) is not consistent with the physical meaning of the equation, which is using to calculate its value. To quantify the mineral portion of coal as an important factor affecting the quality of coke in terms of CSR and CRI, it is recommended to use the new term «potential reactivity of coke» with the designation of CRP – Coke Reactivity Potential. The equation has been shown and its three- and two-parameter anamorphoses for calculating of the potential reactivity of coke CRP. The mathematical model has been developed for the relationship of the parameters CRP and ash basicity index  $I_o$  for different intervals of values of these parameters. It has been found, that the parameters of CRP and  $I_o$  are not similar, so for the development of coal blends for high quality coke these parameters should be used together and their values should be adequate. An algorithm has been given for the development of basin, branded and component composition of the blend by indicators CRP and  $I_o$  and examples of its implementation.*

**Ключевые слова:** угольная шихта, кокс, реакционная способность, послереакционная прочность, индекс основности золы, потенциал реакционной способности кокса, математическая модель, уравнение регрессии, алгоритм.

**Keywords:** coal blend, coke reactivity, postreaction strength, ash basicity index, the coke reactivity potential, a mathematical model, the regression equation, algorithm.

\*\*\*\*\*

**П**о состоянию на 2002 г. в рейтинге качества коксов двадцати стран Европы, Азии и Австралии произведённые в Украине доменные коксы занимали последнее место с показателями CRI – 38-52 % и CSR – 19-40 % против, соответственно, 18-30 и 53-74 % у коксов других стран [1]. Информация об этом дала старт проведению исследований с целью установления причин низкого качества украинских коксов при оценке по методу японской фирмы «NSC». Уже через 2 года в УХИНе была выполнена работа, результаты которой показали: высокое содержание общей серы (прежде всего, в форме пирита) – специфика сырьевой базы и определяющий фактор высокой реакционной способности (CRI) и низкой послереакционной прочности (CSR) украинских коксов [2].

Установлено, что среднее содержание оксида железа, образующегося при окислении пирита, в золе донецких углей (17 %) примерно в 2-4 раза больше, чем в золах коксующихся шихт фирм «Ruhrkohle» (Германия) и «BHP» (Австралия) – соответственно 9 и 4 %.

Содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  входит в расчёт «индекса основности золы», используемого для количественной оценки химического состава золы.

«Индекс основности золы» с введенным в [2] буквенным обозначением  $I_o$  рассчитывали по формуле, приведенной в работе [3]:

$$I_o = 100 A^d (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) / (100 - V^{\text{daf}}) (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) \quad (1),$$

где  $A^d$  и  $V^{\text{daf}}$  – зольность шихты и выход из неё летучих веществ, %; в числителе и в знаменателе соответственно содержание в золе основных и кислых оксидов.

Зависимость показателя  $I_o$  от содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в золе в интервале 6–38 % аппроксимируется линейным уравнением регрессии:

$$I_o = 1,08 + 0,148 \text{Fe}_2\text{O}_3; r = 0,911; S = 0,56 \quad (2).$$

Выполненное в [2] сопоставление значений показателя  $I_o$  шихт – украинских, а также фирм «Ruhrkohle» и «BHP» (соответственно примерно 4; 2 и 1) с нормой 2,5 (2), рекомендованной в [3] для получения кокса с  $\text{CSR} \geq 65$  (70) %, позволило рассматривать показатель  $I_o$  как перспективный параметр оптимизации бассейнового, марочного и компонентного составов шихт для коксования.

Диапазон значений показателя  $I_o$  донецких углей оказался весьма широким – от 1,7–3,0 у углей с  $S^t_d$  менее 1,5 % и с содержанием  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в золе менее 10 %, до 5–7 у углей с  $S^t_d$  до 4 и более % и с содержанием  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в золе до 25–30 %. Пониженными значениями показателя  $I_o$  характеризовались угли генетического типа «а» (маловосстановленные) шахт «Южнодонбасская № 3» (марка Г), «Им. Скочинского» (марка Ж) и «Красноармейская Западная № 1» (марка К) [2].

Из бинарной смеси двух последних в массовом соотношении 20:80 % с  $I_o = 2,05$  на ПАО «Ясиновский КХЗ» методом ящичного коксования был получен кокс высокого качества с показателями  $\text{CRI} = 30,8$  % и  $\text{CSR} = 53,5$  % [4].

Следующим этапом стала разработка на основе угля шахты «Красноармейская Западная № 1» (78–80 %) составов шихт со значениями показателя  $I_o = 2,5$ –2,6 для батарейных коксования продолжительностью 5–15 суток на ПАО «Ясиновский КХЗ». В ходе испытаний впервые в Украине был получен промышленный кокс европейского качества с показателями  $\text{CRI} = 29$ –30 % и  $\text{CSR} = 55$ –56 % [5].

Положительный опыт использования показателя  $I_o$  как параметра оптимизации состава шихты был позднее учтён при разработке сырьевой базы коксования ПАО «Алчевсккокс» [6], ПАО «Запорожкокс» [7] и при освоении производства кокса марки «Премиум» на ПАО «Ясиновский КХЗ» [8]. Сообщается также и о включении параметра  $I_o$  в разработанные в России уточнён-

ные математические модели прогноза качества кокса [9, 10].

Несмотря на подтверждённую практикой высокую эффективность применения показателя  $I_o$  при разработке сырьевых баз коксования, некоторые аспекты как интерпретации физического смысла, так и нормируемых значений этого показателя требуют дополнительного обсуждения.

### 1. Показатель $I_o$ и термин «индекс основности золы»

Можно предположить, что в тексте реферата [3] или статьи\*, по которой он подготовлен, допущена ошибка, поскольку термину «индекс основности золы» соответствует не уравнение (1) в целом, а только его часть, содержащая соотношение массовых долей основных и кислых оксидов в составе золы. То есть, количественным выражением индекса основности золы ( $I_o$ ), или чаще применяемого термина «модуль основности золы ( $M_o$ )», соответствует уравнение:

$$I_o = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) \quad (3).$$

Использование для одного и того же термина «индекс основности золы»

разных буквенных обозначений ( $I_o$  и  $I_o'$ ) и расчёт их значений по разным уравнениям – соответственно (1) и (3) – обусловили терминологическую и нумерологическую путаницу в последующих публикациях.

Так, в статьях [6, 7, 11] показатель  $I_o$  – это «индекс основности (всей) шихты», в [9, 10] – «основность золы кокса», величину  $I_o$  в [12] рассчитывали по уравнению (1), а в [13] – по уравнениям и (1) и (3).

Каков же физический смысл уравнения (1)? Замена массового соотношения содержаний основных и кислых оксидов в уравнении (1) на показатель  $I_o$ , рассчитанный по уравнению (3), приводит первое к трёхпараметрическому виду:

$$I_o = 100 \times A^d \times I_o / (100 - V^{\text{daf}}) \quad (4).$$

Поскольку безразмерный комплекс  $100/(100 - V^{\text{daf}})$  эквивалентен коэффициенту озоления, его умножение на зольность шихты даёт зольность кокса, что приводит уравнение (1) к двухпараметрическому виду:

$$I_o = A^d \times I_o \% \quad (5).$$

Следовательно, показатель  $I_o$  – это выраженное в процентах произведение зольности кокса на индекс основности золы. Принято считать химические составы золы шихты и кокса идентичными, поэтому показатель

\* Prasad H.N., Singh B.K., Chattejee A. Production of High CRS Coke by Stamp Charging – Possibilities and Limitations // Cokemaking International. – 1999. – № 2. – P. 50–59.



$I_o$  в уравнении (5) не требует дополнительных индексов «ш» – шихта или «к» – кокс.

Уравнение (5) раскрывает природу взаимосвязей показателей  $I_o$  и CRI (CSR): чем больше содержание в коксе минеральных компонентов (по величине зольности  $A^d_k$ ) и чем больше в золе кокса соотношение массовых долей основных и кислых оксидов (по показателю  $I_o$ ), тем выше реакционная способность CRI и ниже послереакционная прочность CSR кокса. Таким образом, рассчитанная по уравнению (1) величина может рассматриваться как количественная оценка не индекса основности золы, а потенциала реакционной способности кокса, с соответствующим буквенным обозначением CRP – Coke Reactivity Potential (по аналогии с показателем CRI – Coke Reactivity Index).

## 2. О взаимосвязи показателей $I_o$ и $I_o$

В работе [14] показатели  $I_o$  и  $I_o$  оценили как аналоги. Так ли это?

На рис. 1 представлена зависимость значений  $I_o$  и  $I_o$  от зольности концентратов углей Украины, России и Австралии [15]. В интервале  $3 \leq A^d \% \leq 11$  снижение зольности сопровождается тенденцией к увеличению

индекса основности золы  $I_o$ , тогда как значения  $I_o$  изменяются хаотично.

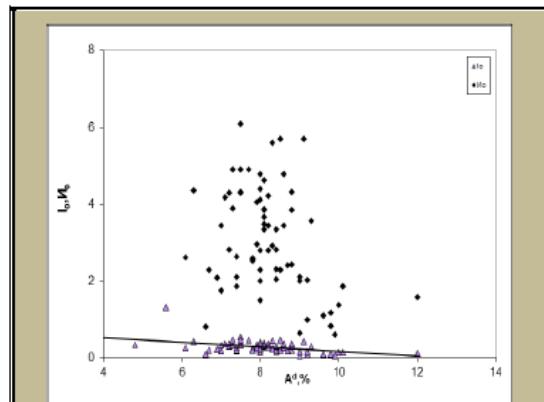


Рис.1 Зависимость показателей  $I_o$  и  $I_o$  от зольности углей.

Таблица 1

Изменение химического состава золы при снижении зольности концентратов [16]

Марка угля*)	$A^d, \%$	Содержание оксидов, %							$I_o^{**}) \%$	$I_o^{***})$
		$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$K_2O$	$Na_2O$		
Гд	6,9	40,55	21,67	17,95	7,71	3,02	1,64	0,84	5,67	0,501
	3,1	30,61	26,77	25,93	9,46	0,76	0,26	0,25	3,37	0,639
Жд	9,8	47,02	22,91	20,71	2,1	1,13	2,2	0,97	5,59	0,388
	6,6	42,1	22,05	25,93	2,62	1,13	1,42	1,42	4,89	0,501
Кд	7,1	48,02	27,09	13,97	1,58	1,51	2,05	1,37	2,53	0,273
	4,8	44,89	27,12	18,45	1,93	1,64	1,94	0,63	2,17	0,342
Гр	10,6	53,48	20,72	8,98	5,61	2,65	2,5	1,32	5,25	0,284
	8,2	50,42	19,76	7,48	8,06	2,77	2,14	1,78	4,49	0,317
ГЖр	9	48,85	22,7	11,48	6,53	1,89	1,5	0,65	3,46	0,308
	5,7	36,65	23,59	14,47	8,76	5,04	1,03	0,97	3,93	0,453
ЖА	10,8	55,91	31,23	6,48	1,4	0,63	0,6	0,23	1,57	0,107
	7,1	48,67	31,87	9,98	3,15	1,26	0,84	0,6	1,9	0,196

Примечания: \*) Индексы «Д», «Р» и «А» соответствуют углям Донбасса, России и Австралии; \*\*), \*\*\*) Расчёт по уравнениям соответственно (1) и (3).

Предпринятая в [16] попытка снизить величину  $A^d_k$  и соответственно  $I_o$  путём более глубокого обогащения угля оказалась мало перспективной вследствие увеличения в концентратах содержания труднообогатимого мелкодисперсного пирита и органоминеральных соединений, в том числе, гуматов кальция. При этом наблюдалось разнонаправленное изменение показателей  $I_o$  и  $I_o$ : первый снижался из-за уменьшения зольности, а второй увеличивался – в основном, из-за роста в золе содержания оксидов железа и кальция за счёт снижения содержания оксида кремния (табл. 1).

В широких интервалах  $0,1 \leq I_o \leq 0,75$  и  $1 \leq I_o \leq 6$  взаимосвязь параметров  $I_o$  и  $I_o$  аппроксимируется регрессионным уравнением второй степени:

$$I_o = -19,51(I_o)^2 + 22,833(I_o) - 1,4; \\ R = 0,881; R^2 = 0,776. \quad (6)$$

Наличие максимума  $I_o = 5,28 \%$  при  $I_o = 0,585$  – свидетельство сложного характера взаимосвязи этих показателей, а детерминированность их численных значений почти на 80 % отнюдь не доказательство их аналогии. Так же, как не являются аналогами показатели

ли  $V^{\text{daf}}$  и  $R_o$ , У и RI, в каждой паре которых имеется тесная регрессионная взаимосвязь.

Нормируемая зольность доменного кокса улучшенного качества марок КДМ-1 и КДМ-2 (ГУ У 19.1-00190443-065:2012 Кокс доменный ООО «МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ». Опытная партия) составляет не более 11,4 %, а доменного кокса марки «Премиум» (ГУ У 23.1-00190443-086:2006 Кокс доменный марки «Премиум») – 10,7-11,5%. Выход летучих веществ из коксующих шихт  $V^{\text{daf}}$ , как правило, не выходит за пределы 27-33 %, следовательно, коэффициент озоления может изменяться от 1,49 до 1,37. То есть, для получения кокса с нормируемой зольностью от 10,7 до 11,5 % показатель  $A^d$  шихты не должен выходить за пределы интервала от 7,2 до 8,4 %. Следовательно, вариации показателей  $A^d$  и  $V^{\text{daf}}$  шихты в уравнении (1) могут обусловить изменение показателя  $I_o$  соответственно примерно на 17 и 9 % отн.

Наряду с этим, индекс основности золы  $I_o$  изменяется примерно в 2 раза, а отдельных углей – в 5-6 раз [2], т.е. оптимизация именно показателя  $I_o$  шихты – наиболее эффективный канал регулирования потенциала реакционной способности кокса на стадии разработки сырьевой базы его производства.

Так, повышенное содержание CaO (10-20 %), наряду с содержанием 10-20 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в золах российских углей ОФ «Распадская» и разреза «Каа-Хемский» обуславливает значения их показателей  $I_o$  от 0,3-0,4 до 0,9-1, что послужило основанием для рекомендации ограничить экспорт этих углей в Украину и/или ограничить их массовую долю в шихтах величиной 5-15 % [2, 17, 18].

### 3. О рекомендованных значениях показателей $I_o$ и $I_o^*$

В Индии выполнена работа, в результате которой установлены численные характеристики химического

состава золы трамбованной шихты для получения кокса с CSR ≥ 65 (70) %: «индекс основности золы» 2,5 (2) [3]. Влияние трамбования шихты на качество кокса при его оценке методом «NSC» исследовали в укрупнённой лабораторной печи УХИНа [19] и методом «ящичных» коксований [20].

Лабораторные коксы из трамбованных шихт со значением  $I_o$  более 4 имели высокую реакционную способность (CRI более 50 %) и низкую прочность после реакции с  $\text{CO}_2$  (CSR менее 30 %), причём введение в состав шихты 27 % компонента с  $I_o \approx 1,6$  существенно не улучшило качество кокса.

Результаты прямого сопоставления проиллюстрировали положительное влияние трамбования на качества «ящичных» коксов из трамбованной шихты в сравнении с качеством кокса из насыпной шихты такого же состава. Однако при  $I_o$  шихты более 4 при рекомендованной норме 2,5 величина CRI оставалась на ниже 47 %, а CSR – не выше 36 % у кокса из трамбованной шихты.

Фирма «Tata Steel» сформулировала такой комплекс показателей состава и свойств шихт, адекватный получению кокса высокого качества по параметрам CRI и CSR:  $A^d$  – 14-15,5 %;  $V^{\text{daf}}$  – 29-31 %;  $R_o$  – 1,03-1,06 %; соотношение реактивных и инертных компонентов – (1,4-1,7)/1;  $I_o$  – 2,5 (2) [3].

Подстановка в уравнение (1) средних из указанных интервалов значений (%) –  $A^d = 14,8$ ;  $V^{\text{daf}} = 30$  при  $I_o = 2,5(2)$  – даёт величину индекса основности золы  $I_o = 0,12(0,10)$ .

Близкие к этим величины индекса основности золы  $I_o = 0,16(0,12)$  рекомендуются и канадской фирмой «Dofasco» как одно из условий получения кокса с CSR ≥ 60 (65) % из насыпных малозольных шихт с  $A^d$  не более 6 % [21].

Таблица 2

Сопоставление опубликованных значений показателей  $I_o$ ,  $I_o^*$ , CRI и CSR

$I_o$	$I_o^*$	CRI	CSR	Источник
2,44	0,2	33,5	51,6	[9]
2,53	0,23	29,1	56,3	[5]
2,41	0,192	36,2 (30,2)	46,6 (53)	[4]**
2,05	0,172	30,8 (27,2)	53,5 (60,7)	[4]**
2,00	0,179	28,5	58,3	[6]
2,49	0,2	33,5	52	[7]
2,41	0,21	29,3	54,9	[8]
2,58	0,23	29,9	53,7	[8]
2,38	0,2	32,3	54,4	[25]
2,58	0,208	30-34	51-58	[23]

\*Некоторые значения  $I_o$  рассчитаны нами по величинам  $I_o$ ,  $A^d$  и  $V^{\text{daf}}$  (уравнение 1) из использованных источников.

\*\*Результаты «ящичных» коксований. В скобках – значения CRI и CSR, рассчитанные для промышленного кокса по уравнениям, приведенным в [12].



За 10 лет, прошедших после выполнения работы [2], в Украине и в России были проведены «ищичные» и промышленные коксования шихт, удовлетворяющих условию  $I_o = 2,5$  (2). Однако ни в одной из публикаций этого периода не сообщается о получении кокса с величиной  $CSR \geq 60\%$  (табл. 2).

Данные табл. 2 – весьма важное свидетельство того факта, что обеспечение нормы  $I_o = 2,5$  отнюдь не достаточное условие получения кокса с  $CSR \geq 60\%$ , пока и поскольку значение индекса основности золы  $I_o$  не соответствует рекомендованной в [21] норме менее 0,12.

Анализ опубликованных значений параметров  $I_o$  и  $I_o$  показал, что в более узких по сравнению с исследованными в [15] интервалах  $0,1 \leq I_o \leq 0,4$  и  $0,8 \leq I_o \leq 5$  взаимосвязь  $I_o = f(I_o)$  аппроксимируется линейным уравнением регрессии:

$$I_o = 11,35 I_o + 0,03; r = 0,97; r^2 = 0,941 \quad (7)$$

Подстановка в него рекомендованной в [21] нормы  $I_o \leq 0,16$  даёт адекватное значение  $I_o \leq 1,85$ , которому, как видно из табл. 2, ни одна из шихт не удовлетворяла.

Во всех цитированных выше источниках приведено более 40 значений параметров  $I_o$ , CRI и CSR, относящихся к разному сырью и к разным условиям получения кокса. Эти данные, дополненные характеристикой углей и коксов по девяти сертификатам качества углей США и Австралии, представлены на рис. 2. Графики вида  $CRI (CSR) = f (0,05 \leq I_o \leq 0,55)$  описываются следующими уравнениями регрессии:

$$\begin{aligned} CRI &= 94,07 \times I_o + 13,23; \\ r &= 0,961; r^2 = 0,924; S = 3,11 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} CSR &= 80 - 137,01 \times I_o; \\ r &= 0,956; r^2 = 0,914; S = 4,73 \end{aligned} \quad (9)$$

Для углей отдельных марок и шихт с показателями зольности и выхода летучих веществ в интервалах соответственно  $6 \leq A^d \% \leq 11$  и  $17 \leq V^{daf} \% \leq 42$  с величиной параметра  $I_o$  от 0,6 до 6 % зависимости CRI (CSR) =  $f (I_o)$  аппроксимируются уравнениями регрессии второй степени:

$$\begin{aligned} CRI &= 11,72 - 0,134 (I_o)^2 + 8,656 I_o; R = 0,964; \\ R^2 &= 0,929; S = 3,68 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} CSR &= 86,47 + 0,707 (I_o)^2 - 16,336 I_o; R = 0,97; \\ R^2 &= 0,941; S = 4,02 \end{aligned} \quad (11)$$

Среднеквадратические погрешности расчётов по уравнениям (8-11) больше норм сходимости результатов измерений показателей CRI и CSR (ДСТУ 4703:2006; ISO18894:2006 MOD), тем не менее, эти уравнения могут служить надёжным руководством при оптимизации бассейнового, марочного и компонентного составов шихты в аспекте улучшения качества кокса при его оценке по методу «NSC».

Анализ представленной на рис. 3 зависимости  $CSR = f (CRI)$  и её математического описания уравнением

$$\begin{aligned} CSR &= 98,89 - 1,445 \times CRI; r = -0,991; \\ r^2 &= 0,982; S = 2,4 \end{aligned} \quad (12)$$

позволяет заключить, что среднеквадратические погрешности расчётов CSR по измеренной величине CRI меньше, чем по значениям показателей  $I_o$  (уравнение 9) или  $I_o$  (уравнение 11), и меньше установленной стандартом нормы сходимости параллельных измерений показателя CSR (2,5%). Это согласуется с показанной ранее [22] и подтверждённой позднее [24] возможностью достаточно точного расчёта величины CSR по результатам измерения параметра CRI.

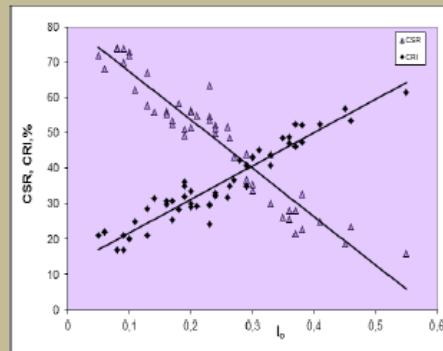


Рис. 2 Зависимость показателей CSR и CRI от индекса основности золы  $I_o$

Анализ 23<sup>х</sup> математических моделей взаимосвязи показателей CRI и CSR, разработанных в Украине, России, Германии, Канаде и Японии, позволил авторам [24] рекомендовать «...определять один (CRI) из двух показателей качества кокса, что способствует снижению затрат на выполнение всего комплекса анализов».

Математические модели (7-12) не универсальны, тем не менее, их использование позволяет решать задачи разработки производства кокса с заданными параметрами CRI (CSR) в условиях конкретной сырьевой базы.

#### Выводы

1. В последующих публикациях уравнение (1) и его трёх- (уравнение 3) и двухпараметрические (уравнение 4) аноморфозы рекомендуется использовать для количественного выражения физического смысла термина «потенциал реакционной способности кокса» с буквен-

ным обозначением CRP взамен применявшегося ранее обозначения  $I_0$ .

2. При разработке сырьевой базы производства кокса с заданными значениями параметров CSR и CRI может быть целесообразной реализация алгоритма, включающего:

- расчёт индекса основности золы шихты  $I_{0,ш}$  по заданному значению показателя CSR (уравнение 9) или показателя CRI (уравнение 8);

- расчёт показателя  $I_{0,ш}$  по индексу основности золы шихты  $I_{0,ш}$  (уравнение 7);

- выбор из имеющихся в наличии компонентов таких, у которых значения показателей  $I_0$  и  $I_0$  наиболее близки к рассчитанным величинам  $I_{0,ш}$  и  $I_{0,ш}$ ;

- варьирование массовых долей выбранных компонентов до получения средневзвешенных значений  $I_{0,CB}$  и  $I_{0,CB}$ , близких к рассчитанным величинам  $I_{0,ш}$  и  $I_{0,ш}$ ;

- учёт при выборе i-того компонента и при подборе его массовой доли в шихте значений традиционных показателей, обеспечивающих возможность получения кускового кокса с параметрами, величины которых нормируются действующими стандартами;

- проверку шихты разработанного состава лабораторными, «ящичными» и опытно-промышленными коксованием.

ная № 1» в условиях ОАО «Алчевсккокс» / П.Д.Дроздник, И.В.Шульга, В.М.Ладыжинский // Углехимический журнал. – 2011. – № 1-2. – С. 18-23.

7. Гусак В.Г. Получение кокса улучшенного качества в условиях межбассейновой сырьевой базы ПАО «Запорожскокс» / В.Г.Гусак, И.Д.Дроздник, Ю.С.Кафтан [и др.] // Углехимический журнал. – 2012. – № 1-2. – С. 3-9.

8. Филатов Ю.В. Концепция развития угольной сырьевой базы для производства кокса марки «Премиум» / Ю.В.Филатов, В.П.Чаленко, Е.Т.Ковалёв [и др.] // Углехимический журнал. – 2013. – № 6. – С. 12-20.

9. Станкевич А.С. Оптимизация качества кокса «Евраз ЗСМК» с учётом особенностей угольной сырьевой базы / А.С.Станкевич, А.Е.Базегский // Кокс и химия. – 2013. – № 10. – С. 14-21.

10. Станкевич А.С. Анализ технологической ценности углей, используемых для коксования. / А.С.Станкевич, В.С.Станкевич // Кокс и химия. – 2013. – № 9. – С. 6-15.

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

12. Мирошинченко Д.В. Оптимизация реакционной способности как интегрального показателя качества кокса: Автореф. дисс...канд.техн наук. – Харьков: УХИН, 2006. – 20 с.

13. Козлов В.А. Влияние химического состава золы углей на технологические свойства кокса / Вадим Анатольевич Козлов // Горный научно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 11. – С 108-113.

14. Гагарин С.Г. Петрографические аспекты формирования горячей прочности кокса при карбонизации углей / Сергей Гаврилович Гагарин // Кокс и химия. – 2010. – № 12. – С. 16-23.

15. Улановский М.Л. Количественные оценки состава и свойств золы в математических моделях показателей CSR и CRI кокса (Обзор) / Марк Леонидович Улановский // Кокс и химия. – 2011. – № 7. – С. 12-17.

16. Улановский М.Л. Изменение минерального состава углей при обогащении и коксации / М.Л.Улановский, А.Н.Лихенко // Кокс и химия. – 2009. – № 6. – С. 13-20.

17. Улановский М.Л. К выбору параметров оптимизации качества кокса по показателям CRI и CSR / Марк Леонидович Улановский // Кокс и химия. – 2009. – № 1. – С. 12-16.

18. Разработка перспективных составов ших ЗАО «Макеевкокс» и «Ясиновский КХЗ» и проверка их опытными коксованиями в лабораторной печи УХИНа / И.Д.Дроздник, М.Л.Улановский, А.Р.Давидзон: Отчёт

#### Библиографический список

1. Дышлевич И.И. Доменное производство Украины: новый подход к оценке качества кокса / И.И.Дышлевич, Н.Н.Изюмский, В.А.Журавлёв // Сб. докладов VIII международн. семинара «Уголь в металлургии и энергетике». Ялта, 2002. – С.21-34.

2. Исследование влияния состава, свойств углей, технологий подготовки и коксования на реакционную способность и термомеханические свойства кокса / И.Д.Дроздник, М.Л.Улановский, Э.И.Торянник: Расширенная аннотация по НИР / Укр. гос. научн. иссл. ин-т «УХИН». – № ГР 0103U004657. – Харьков, 2004. – 64 с.

3. Производство высокопрочного кокса из трамбованной шихты [Реф. Г.С.Умылова] // Новости чёрной металлургии за рубежом. – 2000. – № 2. – С. 10-13.

4. Давидзон А.Р. Разработка рационального состава шихты для коксования на основе угля шахты «Красноармейская Западная № 1» / А.Р.Давидзон, И.Д.Дроздник, М.Л.Улановский // Углехимический журнал. – 2005. – № 1-2. – С. 23-29.

5. Давидзон А.Р. Промышленные коксования шихт на основе угля шахты «Красноармейская Западная № 1» / А.Р.Давидзон // Кокс и химия. – 2005. – № 4. – С. 20-24.

6. Дроздник И.Д. Опыт получения кокса улучшенного качества на базе угля ш. «Красноармейская Запад-



о НИР (заключительный) / Укр. гос. научн. иссл. ин-т «УХИИ». – № ГР 0106U013166. – Харьков, 2004. – 22 с.

19. Чуб В.Е. Влияние марочного состава шихты для трамбования на «горячую» прочность кокса / В.Е.Чуб, В.В.Кривонос, В.М.Кузниченко [и др.] // Углехимический журнал. – 2007. – № 3-4. – С. 24-29.

20. Кузниченко В.М. Влияние технологических факторов на прочность кокса и выход химических продуктов коксования из трамбованной шихты / В.М.Кузниченко, Ю.С.Кафтан, Н.И.Малько// Углехимический журнал. – 2008. – № 3-4. – С. 49-55.

21. Todoshuk T.W. Increasing coke strength after reaction with CO<sub>2</sub> (index CSR) / T.W.Todoshuk, J.P.Price, J.F.Grausden // Iron and Steel Technology. – 2004. – March. – P. 73-84.

22. Улановский М.Л. Взаимосвязь реакционной способности и термомеханической прочности кокса / М.Л.Улановский, Д.В.Мирониниченко, И.Д.Дрозд-ник

[и др.] // Углехимический журнал. – 2004. – № 5-6. – С. 46-51.

23. Гусак В.Г. Оптимизация сырьевой базы для получения кокса рядового и улучшенного качества / В.Г.Гусак, В.И.Гаврилюк, М.С.Магомедов [и др.] // Углехимический журнал. – 2004. – № 5-6. – С. 46-51.

24. Золотухин Ю.А. Взаимосвязь термомеханической прочности(CSR) и реакционной способности (CRI) кокса / Ю.А.Золотухин, Н.С.Андрейчиков, Д.А.Кошкиров // Чёрная металлургия. – 2006. – № 3. – С. 12-16.

25. Васильев Ю.С. О влиянии качества кокса, полученного из термоподготовленных шихт, содержащих слабостекающиеся ули, на эффективность доменного процесса, использующего ПУТ / Ю.С.Васильев, А.И.Гордиенко, Г.В.Долгарев [и др.] // Углехимический журнал. – 2008. – № 5-6. – С. 38-40.

Рукопись поступила в редакцию 19.02.2014