

6. Герасина А.В. Структурно-параметрическая идентификация процессов дробления и измельчения руд: монография / А.В. Герасина, В.И. Корниенко. -Д: Национальный горный университет, 2013. - 101 с.
 7. Безручко Б.П., Смирнов Д.А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005. 320 с. ISBN 5-94409-045-6.
 8. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М.: Наука, 1968. 320 с.
 9. Медведев А.В. Непараметрические системы адаптации. Новосибирск: Наука, 1983. 174 с.
 10. Куликовский Р. Оптимальные и адаптивные процессы в системах автоматического регулирования. М.: Наука, 1967. 397 с.
 11. Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е. и др. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. Москва - Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.
 12. Малинецкий Г. Г. , Потапов А. Б. Современные проблемы нелинейной динамики. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 336 с.
 13. Anishchenko V.S., Pavlov A.N. Global reconstruction in application to multichannel communication // Phys.Rev. E. 1998. V. 57. P. 2455-2457.
 14. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence // Lec. Notes in Math., 1981.V. 898. P. 366-381.
 15. Wittenmark, B., 'An active suboptimal dual controller for systems with stochastic parameters', Automat. Control Theory Appl., 3,13-19 (1975).
 16. Wittenmark, B. and C. Elevitch, 'An adaptive control algorithm with dual features', 7th IFAC/IFORS Symp. on Identification and Systems Parameter Estimation, York, U.K., 1985, pp. 587-592.
 17. Filatov, N. and H. Unbehauen, 'Adaptive predictive control policy for nonlinear stochastic systems', IEEE Trans. Automat. Control, 40, 1943-1949 (1995).
 18. Калман Р.Е. Идентификация систем с шумами // Успехи математических наук. 1985. Т. 40. № 4. 244 с.
 19. Lindof, B. and J. Holst, 'Suboptimal dual control of stochastic systems with time-varying parameters', Technical report TFMS-3152, Department of Mathematical Statistics, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, 1997.
 20. Maitelli, A. and T. Yoneyama, 'A two-stage dual suboptimal controller for stochastic systems using approximate moments', Automatica, 30, 1949-1954 (1994).
 21. Filatov, N., H. Unbehauen and U. Keuchel, 'Dual pole placement controller with direct adaptation', Automatica, 33, 113-117 (1997).
 22. Chaos and Its Reconstructions / Eds. G. Gouesbet, S. Meunier-Guttin-Cluzel, O. Menard. Nova Science Publishers, New York, 2003.
- Рукопись поступила в редакцию 17.02.14

УДК 662.749:067.5

В.П. ЛЯЛЮК, д-р техн. наук, проф., В.П. СОКОЛОВА, канд. техн. наук, доц.,
 Е.О. ШМЕЛЬЦЕР, ст. преподаватель, Криворожский национальный университет”
 Д.Ю. ТИМОФЕЕВА, В.В. БЕРЕЗА, ЦЛУП КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГНОЗА КАЧЕСТВА ДОМЕННОГО КОКСА НА ОСНОВЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗОЛЫ УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ

Проанализированы различные математические модели прогноза реакционной способности (CRI) и послереакционной прочности кокса (CSR), в том числе с использованием генетических особенностей углей, химического состава их минеральной части. Предложены уравнения для расчета прогнозных показателей CSR и CRI на основе индекса основности золы шихты.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Как известно, эффективность работы доменных печей определяется качеством металлургического кокса, в том числе его прочностью в холодном состоянии - индексами M_{25} и M_{10} . Однако отечественная и мировая практика приводит к выводу, что индексы дробимости M_{25} и истираемости M_{10} не в полной мере характеризуют свойства кокса и его поведение в процессе доменной плавки, то есть в условиях высоких температур и в среде окислителей. Эффективность функций кокса в доменном процессе в значительной степени зависит от реакционной способности кокса. Реакционная способность кокса влияет на ход доменной плавки, особенно на профиль распределения температур и газовых потоков в печи, а как следствие, на степень использования газа и удельный расход восстановителя. Кроме того, она влияет на прочность коксовой насадки в горновой зоне печи, так как газификация кокса сопровождается ослаблением его структуры. Таким образом, реакционную спо-

способность и горячую прочность кокса следует рассматривать как взаимосвязанные свойства кокса [1].

Реакционная способность кокса (CRI) и прочность кокса после реакции (CSR), измеряемые по методу японской компании «Nippon Steel Corporation», являются наиболее популярными показателями качества кокса во всем мире. Невзирая на широко распространенную популярность, существуют известные проблемы, связанные с воспроизводимостью измерений CSR, а также с продолжительностью испытания (до 5 ч). Поэтому целесообразно использовать математические модели прогноза качества кокса, в том числе по показателям CRI и CSR.

Анализ исследований и публикаций. Результаты многочисленных испытаний показывают, что на формирование структуры кокса, прочность которой оценивается термехимикомеханическим испытанием и выражается показателем CSR, основное влияние оказывают: генетические особенности углей, выраженные петрографическими показателями и показателями пластических свойств органической массы угля; химический состав минеральной части, в первую очередь наличие соединений железа и серы; насыпная плотность коксуемой угольной загрузки; технологические параметры коксования (время коксования и скорость подъема температуры); технология тушения кокса [2]. Поэтому предложены многочисленные математические модели прогноза качества кокса, в том числе по показателям CRI и CSR на основе химико-петрографических показателей угольной шихты, технологии ее подготовки, коксования и способа тушения кокса [1-5].

Так, в работе [2] применительно к условиям ЗСМК были получены регрессионные уравнения зависимости показателей CSR и CRI от генетических факторов: показателя отражения витринита, содержания эквивалентных спекающих компонентов, петрографической неоднородности углей, оцениваемой через среднеквадратическую разницу в содержании спекающих компонентов углей в шихте, и технологических факторов: периода коксования и доли кокса сухого тушения.

Набор генетических параметров, характеризующих сложную смесь кузнецких углей, в работе [3] был расширен.

При статистической обработке и анализе показателей реакционной и механической прочности были использованы: показатель отражения витринита R_o , содержание эквивалентных и спекающих компонентов $СК_3$, показатель окисленности Π_o , и степень неоднородности углей в шихте по стадиям метаморфизма и петрографическому составу, выраженные через среднеквадратическую разницу в показателе отражения витринита шихты S_r и содержании спекающих компонентов $СК$ углей шихты $S_{ск}$. Кроме того, учтены такие параметры качества шихты как зольность, влажность и окисленность углей. Диапазон колебаний петрографических параметров шихты, использованных при статистической обработке, был достаточно широким: $R_o = 0,91-1,16\%$; $СК_3 = 48-67\%$; $\Pi_o = 1,00-1,24\%$; $S_r = 0,14-0,33\%$; $S_{ск} = 14-32\%$. Учли также влияние периода коксования шихты (в пределах 14-30 ч) и способа тушения кокса (выражено через долю сухого тушения в пределах 49-100 %). При этом получили математические модели (уравнения 1 и 2), адекватно отражающие зависимость параметров CSR и CRI от химико-петрографических показателей угольных шихт и условий их коксования

$$CSR = -217,228 + 428,946 \cdot R_j + 1,663 \cdot СК_{ej} - 19,616 \cdot \Pi_{oj} - 222,471 \cdot S_{rj} - 0,117 \cdot S_{скj} - 0,413 \cdot W_{ij}^r - 0,227 \cdot A_j^d + 0,911 \cdot ПК + 0,107 \cdot СТ - 155,941 \cdot R_j^2 - 2,138 \cdot СК_{ej}^2 \cdot 10^{-2} - 1,073 \cdot S_{скj}^2 \cdot 10^{-2} - 1,048 \cdot ПК \cdot 10^{-2} - 0,982 \cdot R_j \cdot ПК + 1,310 \cdot СК_{ej}^2 \cdot S_{rj} \quad (1)$$

$$CRI = 407,186 - 584,794 \cdot R_j - 2,261 \cdot СК_{ej} + 12,286 \cdot \Pi_{oj} + 244,847 \cdot S_{rj} + 0,475 \cdot S_{скj} + 0,374 \cdot W_{ij}^r + 0,246 \cdot A_j^d - 1,518 \cdot ПК - 0,114 \cdot СТ + 244,847 \cdot R_j^2 + 2,284 \cdot СК_{ej}^2 \cdot ПК \cdot 10^{-2} + 0,823 \cdot ПК^2 \cdot 10^{-2} + 0,986 \cdot R_j \cdot ПК - 3,180 \cdot СК_{ej} \cdot S_{rj}, \quad (2)$$

где R_j , $СК_{ej}$, Π_{oj} , S_{rj} , $S_{скj}$, W_{ij}^r , A_j^d – параметры качества шихты; соответственно: показатели отражения витринита, содержание эквивалентных спекающих компонентов, показных окисленности, показатель неоднородности углей в смеси по степени метаморфизма и петрографическому составу; влажность и зольность; ПК – период коксования шихты, ч; СТ – доля кокса сухого тушения, %.

Разработанные модели позволяют подбирать оптимальную угольную шихту для получения кокса заданного качества по параметрам CSR и CRI из имеющегося угольного сырья с учетом технологических параметров коксования.

Дальнейшее развитие рассмотренные модели получили в работе [4], где было предложено использовать при прогнозе качества кокса индекс коксующести углей K_y , определяемый на основе показателя отражения витринита, степени восстановленности и окисленности с учетом содержания спекающих компонентов в шихте. Из технологических факторов в модели прогноза показателей CSR и CRI предложено учитывать влияние на них условий подготовки шихты, периода коксования и способа тушения кокса, которые уже раньше учитывались в разработанных моделях. После математической обработки данных промышленного коксования шихт в условиях ОАО НТМК, получены уравнения

$$\begin{aligned} \text{CSR} = & 100,047 - 68,263 \cdot K_y - 1,465 \cdot \text{CK}_3 - 0,434 \cdot S_{\text{CK}} - 0,253 \cdot W_t^r - 0,465 A_j^d - \\ & - 5,581 \cdot S_t^d - 27,978 \cdot \Pi_k + 0,145 \cdot C_T + 88,383 \cdot K_y^2 + 1,094 \cdot \text{CK}_3^2 \cdot 10^{-2} - 1,444 \cdot \Pi_k^2 \cdot 10^2 + \\ & + 4,217 \cdot V^d \cdot \Pi_k \cdot 10^{-2} - 0,157 \cdot K_y^2 \cdot C_T + 6,342 \cdot K_T \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{CRI} = & -108,202 + 326,276 \cdot K_y - 0,118 \cdot \text{CK}_3 + 0,417 \cdot S_{\text{CK}} + 0,229 \cdot W_t^r + 0,427 A_j^d + \\ & + 5,145 \cdot S_t^d + 12,072 \cdot \Pi_0 - 0,096 \cdot C_T - 192,998 \cdot K_y^2 + 0,165 \cdot \text{CK}_3^2 \cdot 10^{-2} + 1,283 \cdot \Pi_k^2 \cdot 10^{-2} - \\ & - 2,967 \cdot V^d \cdot \Pi_k \cdot 10^{-2} + 0,537 \cdot K_y^2 \cdot C_T \cdot 10^{-1} - 3,723 \cdot K_T, \end{aligned} \quad (4)$$

где $K_y, \text{CK}_3, S_{\text{CK}}, V^d, W_t^r, A_j^d, S_t^d, \Pi_0$ - параметры качества шихты; соответственно: индекс коксующести, содержание эквивалентных спекающих компонентов, показатель неоднородности угля в смеси по петрографическому составу, выход летучих веществ, влажность, зольность, сернистость и окисленность; Π_k - период коксования шихты, ч; C_T - доля кокса сухого тушения, %; K_T - коэффициент, учитывающий технологию подготовки шихты (режим работы установки пневмомеханической сепарации).

На коксохимическом производстве Новолипецкого металлургического комбината в результате обработки данных промышленных коксований получены уравнения по горячей прочности и реакционной способности, где в качестве факторов использованы соответственно: критерий метаморфизма - отражательная способность витринита R_0 ; критерий дилатации - индекс вспучивания I_B ; зольность кокса A_k^d ; петрографическая неоднородность - сумма отошающих компонентов (ΣOK) и расчетный коэффициент основности золы шихты ($K_{\text{осн}}^{\text{ЗШ}}$), определяемый как покомпонентный аддитивный показатель. Для коксовых батарей №2-4 корреляционные уравнения имеют вид

$$\text{CSR} = 85,1 + 0,19 I_B - 4,59 A_k^d + 96,54 R_0 - 1,79 \Sigma\text{OK} - 279,1 K_{\text{осн}}^{\text{ЗШ}} \quad (5)$$

$$\text{CRI} = 28,7 - 0,17 I_B + 1,25 A_k^d - 34,7 R_0 + 0,64 \Sigma\text{OK} + 91,8 K_{\text{осн}}^{\text{ЗШ}} \quad (6)$$

Инверсия знака при общих переменных в уравнениях реакционной способности и в уравнениях горячей прочности свидетельствуют о том, что показатели CSR и CRI обратно пропорциональны.

В работе [5] выполнен обзор факторов, влияющих на реакционную способность кокса, приведены математические модели, позволяющие прогнозировать показатели реакционной способности и послереакционной прочности кокса для конкретных сырьевых баз и условий получения доменного кокса. Многочисленные модели прогноза реакционной способности кокса отражают преимущественное влияние того или иного фактора в конкретных условиях выполнения исследований.

Многие исследователи считают, что минеральные составляющие углей играют важную роль при формировании качества кокса по показателям CRI и CSR.

В УХИНе [6-8] разработана методика, по которой CRI кокса из углей с повышенным содержанием пирита рассчитывают по уравнению

$$\text{CRI} = 14,2 + 12,4 S_t^d + 0,376 V^{\text{daf}}, \quad (7)$$

где $S_t^d > 1\%$ - массовая доля общей серы; V^{daf} - выход летучих веществ на сухую беззольную массу, %.

Использование модели (7) очень привлекательное, поскольку прогнозирующие параметры S_t^d и V^{daf} измеряют ежемесячно при анализе угольной шихты, однако область использования этой модели ограничена только углями с высоким содержанием пирита.

Для углей с $S_t^d < 1\%$ CRI кокса находят из уравнения [6,8]

$$\text{CRI} = 13,4 + 9,35 I_0 - 0,45 I_0^2 \quad (8)$$

где I_0 - индекс основности золы угля (шихта).

Причем I_0 рассчитывают по уравнению:

$$I_0 = \frac{100A^d(Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O)}{(100 - V^{daf})(SiO_2 + Al_2O_3)}, \quad (9)$$

допуская, что при коксовании шихты не изменяется соотношение в золе основных и кислых оксидов, а ее зольность увеличивается благодаря только удалению образованных летучих веществ и не зависит от состава минеральных компонентов.

Показатель CSR рассчитывают по обобщенному уравнению:

$$CSR = 94,23 - 1,275 \cdot CRI \quad (10)$$

или

$$CSR = 77,14 - 11,92 I_0 + 0,57 I_0^2. \quad (11)$$

В работе [9] представлены уравнения для определения CSR и CRI компании Dofasco (Канада) с использованием индекса основности без учета зольности шихты и выхода летучих веществ

$$CSR = 83,217 + 167,80 \cdot I_0 + 147,81 \cdot I_0^2 \quad (12)$$

$$CRI = 3,50 + 160,42 \cdot I_0 - 141,32 \cdot I_0^2, \quad (13)$$

где I_0 – индекс основности золы угля (шихты).

Причем I_0 рассчитывают по уравнению

$$I_0 = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{SiO_2 + Al_2O_3}. \quad (14)$$

Постановка задачи. Анализируя рассмотренные модели прогноза качества кокса по показателям CSR и CRI, можно отметить:

громоздкость моделей (1-4) из-за учета многочисленных факторов, многие из которых являются функциями других переменных;

значительное влияние коэффициента основности на реакционную способность и послереакционную прочность кокса (модели 5,6);

простоту моделей (8,11,12,13) и несложность в определении содержания оксидов и соответствующих расчетов.

Исходя из этого, настоящие исследования проведены с целью проверки возможности использования существующих и разработки новых моделей прогноза показателей CSR и CRI с прогнозирующим параметром - основностью шихты - для условий коксохимического производства ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог».

Изложение результатов исследований. Исходные данные о вариантном составе опытных угольных шихт, качестве угольных концентратов и химическом состав золы приведены, соответственно, в табл. 1-3.

Таблица 1

Вариант шихты	Варианты опытных угольных шихт									
	Марка угля и процент участия в шихте									
	Киевская Ж	Северная К	Восточная К+КЖ	Свято-Варварьинская К	Печерская 2Ж	HV Integrity	Shoal Creek Esperance	Toms Run	Jas Mos (Poland)	Mechel Creek (Alegria)
	5	14	32	18	7	10	14	0	0	0
1	5	14	32	18	7	10	14	0	0	0
2	5	8	30	23	8	8	6	12	0	0
3	5	8	28	20	8	8	6	12	5	0
4	5	5	25	16	5	6	15	12	11	0
5	5	7	32	10	6	0	22	5	6	7
6	5	7	32	10	6	0	22	5	6	7
7	5	7	32	10	6	0	22	5	6	7
8	5	7	32	10	6	0	22	5	6	7
9	5	7	32	10	0	0	24	7	6	9
10	5	7	23	11	0	0	30	5	7	12
11	6	7	21	14	11	0	15	10	8	8
12	4	9	15	14	20	0	8	14	10	6
13	4	9	15	14	20	0	8	14	10	6
14	10	9	15	12	20	0	8	16	10	0
15	10	9	15	12	18	0	8	16	10	2
16	7	10	15	8	13	0	18	18	11	0
17	7	10	15	8	13	0	18	18	11	0
18	0	10	15	8	18	0	18	20	11	0
19	5	14	32	18	7	10	14	0	0	0

Таблица 2

Качество угольных концентратов

Марка угля	W_t^r , %	A^d , %	S_t^d , %	V^{daf} , %	R_0 , %	y , мм
Печерская 2Ж	8,0	8,8	0,56	32,5	0,97	21
Северная К	10,9	9,6	0,54	22,8	1,23	17
Киевская Ж	11,3	8,6	1,88	31,2	1,12	27
Восточная К+КЖ	10,5	11,2	0,83	26,8	1,15	17
Свято-Варварьинская К	8,0	8,2	0,72	28,3	1,21	15
HV Integrity	6,7	7,1	0,89	34,9	0,94	23
Shoal Creek Esperance	8,4	10,0	0,80	30,6	1,09	24
Toms Run	9,2	9,3	1,3	28,6	1,14	27
Jas Mos (Poland)	8,7	6,3	0,38	20,4	1,46	15
Mechel Creek (Alegria)	7,7	8,0	0,93	28,5	1,15	22

Таблица 3

Химический состав золы угольных концентратов

Оксид	Содержание оксидов в золе угля, %									
	Киевская Ж	Северная К	Восточная К+КЖ	Свято-Варварьинская К	Печерская 2Ж	HV Integrity	Shoal Creek Esperance	Toms Run	Jas Mos (Poland)	Mechel Creek (Alegria)
SiO ₂	42,4	57,7	54,0	51,1	58,6	50,4	52,9	50,1	42,5	50,4
Al ₂ O ₃	21,1	15,92	33,5	37,2	28,2	32,6	35,0	31,3	33,2	30,1
Fe ₂ O ₃	24,3	9,06	5,51	5,6	7,09	7,96	5,80	10,27	10,22	11,03
MgO	0,85	1,94	1,13	1,18	1,47	1,47	0,89	0,69	1,71	1,26
CaO	1,1	3,6	1,4	0,01	1,5	2,2	0,78	2,1	3,7	1,27
Na ₂ O	1,64	0,91	0,91	1,25	0,98	0,62	0,63	0,37	1,23	0,71
K ₂ O	2,37	2,33	1,79	3,44	1,51	2,77	2,60	2,41	1,8	3,03
MnO	0,099	0,028	0,023	0,063	0,022	0,103	0,016	0,02	0,17	0,045
SO ₃	0,57	1,4	0,44	0,2	0,45	0,6	0,21	0,66	1,1	0,43
P ₂ O ₅	0,16	0,13	0,38	0,15	0,326	0,22	0,61	0,40	0,25	0,15
TiO ₂	1,12	-	1,56	1,28	1,57	1,56	1,57	1,42	1,35	1,38
ZnO	0,011	0,043	0,045	0,054	0,016	0,025	0,017	0,04	0,019	0,022

Показатели качества угольной шихты, а также индексы основности, рассчитанные по формулам 9 и 14 для каждой марки угля и как покомпонентный аддитивный показатель для вариантов угольных шихт, представлены в табл. 4.

Таблица 4

Качество угольной шихты

Вариант шихты	W_t^r , %	A^d , %	S_t^d , %	V^{daf} , %	R_0 , %	y , мм	I_0	I_0
1	9,3	9,6	0,81	28,5	1,13	19,0	2,135	0,159
2	9,3	9,6	0,81	28,5	1,13	19,0	2,135	0,159
3	9,2	9,4	0,87	28,6	1,13	19,5	2,120	0,161
4	9,2	9,3	0,85	28,2	1,15	19,4	2,150	0,166
5	9,1	9,2	0,84	27,9	1,16	19,8	2,167	0,168
6	9,3	9,6	0,83	27,9	1,15	19,8	2,157	0,162
7	9,3	9,6	0,83	27,9	1,15	19,8	2,157	0,162
8	9,3	9,6	0,83	27,9	1,15	19,8	2,157	0,162
9	9,3	9,6	0,83	27,9	1,15	19,8	2,157	0,162
10	9,4	9,7	0,86	27,7	1,16	20,0	2,200	0,164
11	9,1	9,4	0,85	27,9	1,16	20,3	2,164	0,166
12	9,1	9,2	0,84	28,0	1,16	20,1	2,211	0,173
13	9,0	9,0	0,80	28,0	1,15	20,0	2,188	0,175
14	9,0	9,0	0,80	28,0	1,15	20,0	2,188	0,175
15	9,3	9,1	0,87	28,2	1,15	20,5	2,383	0,188
16	9,3	9,1	0,88	28,1	1,15	20,5	2,405	0,190
17	9,3	9,2	0,86	27,9	1,16	20,9	2,310	0,181
18	9,3	9,2	0,86	27,9	1,16	20,9	2,310	0,181
19	9,1	9,2	0,78	27,9	1,15	20,6	2,093	0,164

Для 19 вариантов угольной шихты проводились опытно-промышленные ящичные коксования с последующим определением показателей CSR и CRI NSC-методом. Результаты опытных ящичных коксований угольной шихты приведены в таблице 5.

Таблица 5

Вариант шихты	Результаты ящичных коксований, %					
	W_t^f	A^d	S_t^d	V^{daf}	CSR	CRI
1	4,8	12,4	0,68	0,5	51,0	35,0
2	3,6	12,3	0,71	0,6	51,7	33,8
3	4,3	12,4	0,72	0,6	51,9	32,6
4	4,2	12,2	0,75	0,5	50,1	35,1
5	3,8	12,0	0,74	0,5	52,5	33,2
6	4,4	12,1	0,72	0,5	50,4	36,6
7	4,4	12,0	0,72	0,6	52,5	34,5
8	4,0	11,9	0,69	0,6	53,8	32,1
9	4,3	12,0	0,69	0,6	52,4	32,5
10	3,6	12,0	0,70	0,6	50,7	32,8
11	4,0	11,8	0,74	0,5	52,8	32,0
12	4,0	11,8	0,74	0,6	52,1	34,1
13	3,4	11,8	0,73	0,5	53,5	32,3
14	3,4	11,9	0,72	0,6	53,6	32,6
15	3,7	11,6	0,76	0,5	52,6	35,8
16	4,1	11,6	0,77	0,5	52,7	33,9
17	3,7	11,5	0,75	0,5	50,8	31,9
18	4,8	11,8	0,72	0,6	53,2	33,9
19	3,9	11,7	0,5	0,71	53,3	31,9

Необходимо заметить, что на коксохимическом производстве ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог» в качестве прогнозных используют расчетные показатели CSR и CRI кокса, как аддитивные величины показателей CSR и CRI коксовых остатков различных марок углей, входящих в состав шихт, определяемые NSC-методом. Для 19 вариантов исследуемых шихт такие показатели приведены как прогнозные в таблице 6.

В настоящей работе выполнены расчеты показателей реакционной способности CRI и послереакционной прочности кокса CSR по математическим моделям (12,13), где в качестве определяющих параметров используется индекс основности без учета зольности и выхода летучих веществ шихты (14) и уравнения с индексом основности шихты, определяемым по формуле (9), т.е. математические модели (8) и (11). Данные расчета сведены в табл. 6.

Таблица 6

Расчетные данные показателей CSR и CRI

Вариант шихты	Показатели качества, %					
	прогнозные (аддитивные величины)		расчетные (модели 12,13)		расчетные (модели 11,8)	
	CSR	CRI	CSR	CRI	CSR	CRI
1	49,96	34,68	60,28	25,43	54,26	31,31
2	49,96	34,68	60,28	25,43	54,29	31,31
3	49,50	33,63	59,86	25,83	54,30	31,20
4	47,52	34,33	59,43	26,43	54,15	31,42
5	47,95	33,61	59,20	26,46	53,99	31,55
6	49,21	34,32	59,69	25,99	54,08	31,47
7	49,21	34,32	59,69	25,99	54,08	31,47
8	49,21	34,32	59,69	25,99	54,08	31,47
9	49,21	34,32	59,69	25,99	54,08	31,47
10	49,21	34,32	59,67	26,01	53,67	31,79
11	48,72	34,19	59,43	26,24	54,01	31,53
12	48,84	34,17	58,62	27,02	53,57	31,87
13	47,59	34,79	58,38	27,25	53,79	31,70
14	47,35	35,04	58,38	25,25	53,79	31,70
15	47,35	35,04	56,90	28,66	51,97	33,13
16	46,13	35,71	56,67	28,88	51,77	33,28

На основе полученных данных построены зависимости показателей реакционной способности и послереакционной прочности кокса (рассчитанные по известным моделям, прогнозируемые показатели как аддитивные покомпонентные величины и опытные, полученные в результате ящичного коксования) от индекса основности золы I_0 шихты (рис. 1,2) и от индекса основности золы шихты I_0 - с учетом зольности и выхода летучих веществ шихты (рис. 3,4).

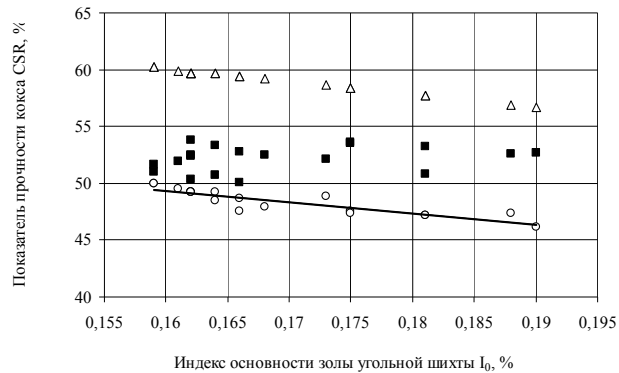


Рис 1. Зависимость показателя CSR от индекса основности золы шихты I_0 ,

■ – ящичное коксование шихты, ○ – прогнозные показатели как аддитивные величины, △ – расчетные показатели

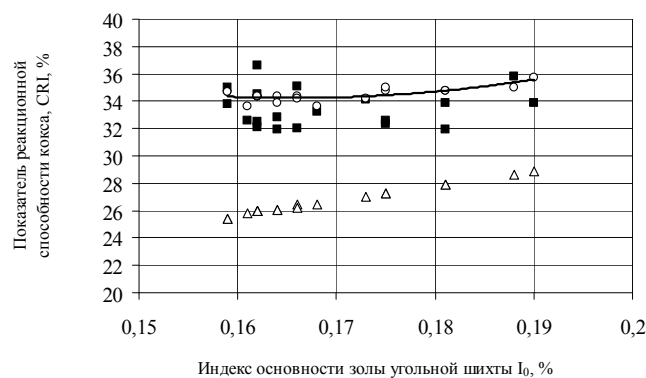


Рис. 2. Зависимости показателя CRI от индекса основности золы шихты I_0 ,

■ – ящичное коксование шихты, ○ – прогнозные показатели как аддитивные величины, △ – расчетные показатели

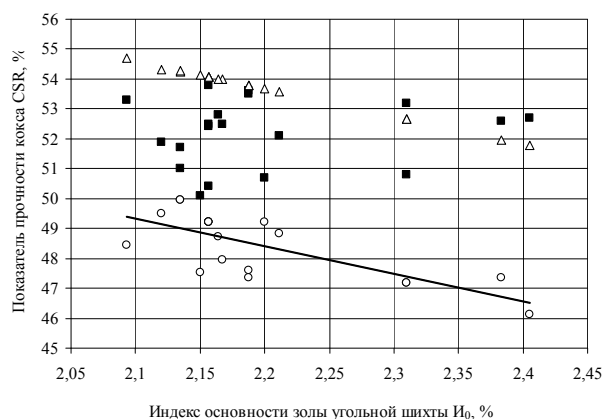


Рис 3. Зависимость показателя CSR от индекса основности золы шихты I_0 ,

■ – ящичное коксование шихты, ○ – прогнозные показатели как аддитивные величины, △ – расчетные показатели

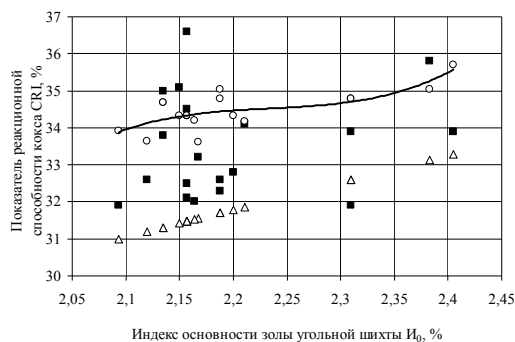


Рис. 4. Зависимости показателя CRI от индекса основности золы шихты I_0 ,
 ■ – ящичное коксование шихты, о – прогнозные показатели как
 аддитивные величины, Δ – расчетные показатели

Анализ приведенных зависимостей показал:

величины показателей CSR и CRI, рассчитанные по моделям (12) и (13) с использованием индекса основности золы шихты (I_0) без учета зольности и выхода летучих веществ шихты, значительно (порядка 10%) отличаются от прогнозных и опытных показателей;

величины показателей CSR и CRI, рассчитанные по моделям (12) и (13) с использованием индекса основности золы шихты (I_0) с учетом зольности и выхода летучих веществ шихты, близки к опытным показателям;

корреляция между полученными показателями CSR и CRI кокса ящичных коксований и индексами основности золы шихты отсутствует;

прогнозные показатели CSR и CRI близки к показателям, полученным при ящичных коксованиях;

зависимости прогнозных показателей CSR и CRI от индекса основности золы шихты без учета зольности и выхода летучих веществ шихты хорошо аппроксимируются следующими уравнениями регрессии

$$CSR = -100,4 I_0 + 65,42, R^2 = 0,80; \quad (15)$$

$$CRI = 2275 I_0^2 - 753,7 I_0 + 96,66, R^2 = 0,6; \quad (16)$$

зависимости прогнозных показателей CSR и CRI от индекса основности золы шихты с учетом зольности и выхода летучих веществ шихты аппроксимируются уравнениями регрессии с более низкими значениями индекс аппроксимации:

$$CSR = -9,285 I_0 + 68,82, R^2 = 0,55; \quad (17)$$

$$CRI = 158,8 I_0^3 - 1064 I_0^2 + 2377 I_0 - 1737, R^2 = 0,58. \quad (18)$$

Выводы и рекомендации. Прогнозировать показатели качества доменного кокса (CSR и CRI) в условиях коксохимического производства ПАТ «АрселорМиттал Кривой Рог» целесообразно с использованием разработанных моделей (15) и (16), полученных на основе корреляционно-регрессионного анализа зависимостей аддитивных покомпонентных величин CSR и CRI угольных шихт от индекса основности золы без учета зольности и выхода летучих шихты. При этом исключаются многочисленные эксперименты по определению CSR и CRI каждой марки угля NSC-методом и упрощаются расчеты. Для повышения достоверности расчетных показателей необходимо корректировать данные модели, периодически пополняя базу данных по химическому составу используемых угольных концентратов и компонентных величин CSR и CRI, определяемых NSC-методом.

Список литературы

1. Прогноз горячей прочности (CSR) и реакционной способности (CRI) кокса/Е.А. Буланов, В.Н. Зайнутдинов, В.Я. Кузнецов, Л.А. Зиновьева // Кокс и химия. – 2005. – №5. – С. 23-26.
2. Взаимосвязь реакционноспособных свойств кокса с петрографическими показателями угольной шихты и параметрами коксования/ А.Е. Базегский, А.Д.Рябиченко, И.А. Кудашкин, А.С.Станкевич// Кокс и химия. – 2001. – №7. – С. 15-19.
3. Модель прогноза качественных характеристик металлургического кокса на основе химико-петрографических параметров угольных шихт и параметров коксования/ А.Е. Базегский, А.Д. Рябиченко, Ф.З. Хамидулин, Б.Ф. Пьянов, А.С. Станкевич // Кокс и химия.– 2002.–№9.– С. 15-22.

4. Модель прогноза показателей CSR и CRI кокса на основе химико-петрографических параметров угольных шихт и условий их коксования/ А.С. Станкевич, Р.Р. Гиллязетдинов, Н.К. Попова, Д.А. Кошмаров// Кокс и химия. – 2008. – №9. – С. 37-44.
5. Реакционная способность кокса: способы измерения и факторы влияния (Обзор) / Д.В. Мирошниченко, М.Л. Улановский // Кокс и химия. – 2004. – №5. – С. 21-31.
6. Влияние минеральных компонентов углей на качество кокса по показателям CRI и CSR / М.Л. Улановский, Д.В. Мирошниченко// Кокс и химия. – 2007. – №4. – С. 19-24.
7. Улановский М.И., Мирошниченко Д.В. Сера углей и ее влияние на качество и расход кокса в доменной печи //Кокс и химия. – 2008. – №2. – С. 24-30.
8. Использование показателей физических свойств золы углей для предварительной оценки CRI та CSR кокса/ Д.В. Мирошниченко // Кокс и химия. – 2008. – №11. – С. 29-33.
9. К выбору параметров оптимизации качества кокса по показателям CRI та CSR / М.Л. Улановский // Кокс и химия. – 2009. – №1. – С. 12-16.

Рукопись поступила в редакцию 17.02.14

УДК 628.12:621.65

П.Н. ЖУРАКОВСКИЙ, Т.И. БУРЛАЧЕНКО, Н.Н. ПОЛОЦКАЯ,
Н.Н. ГОРОН, О.В. СТЕБЕЛЬСКАЯ, ГП «ГПИ «Кривбасспроект»

ОБУСТРОЙСТВО НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ ФОНТАНОВ

Рассмотрены основные принципы проектирования заглубленных насосных станций оборотного водоснабжения фонтанов с применением современного циркуляционного и фильтровального оборудования, позволяющего создавать динамические водные картины и обеспечивать их функционирование в автоматическом режиме.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время очень актуален вопрос экономии и рационального использования воды питьевого качества. На сегодняшний день строительство новых декоративных фонтанов и реконструкция старых основывается на принципах оборотного водоснабжения. Обратное водоснабжение фонтанов заключается в повторном использовании отработанной воды путем ее рециркуляции насосным оборудованием [1]. Насосные станции оборотного водоснабжения открывают большие возможности в удешевлении системы водоснабжения фонтанов, сокращения потребления воды питьевого качества.

До настоящего времени в насосных станциях применялись насосы без автоматического регулирования, а для регулировки расхода и давления в сети в насосных станциях старого образца устанавливались распределительные гребенки с запорной арматурой, при помощи которой регулируется давление. Водоподготовка и фильтрация не предусматривались.

В связи с наличием нового оборудования сейчас эти вопросы решаются по-другому.

Постановка задачи. В данной публикации ставится цель поделиться опытом проектирования насосных станций оборотного водоснабжения. Мы надеемся на отзывы других институтов и проектных организаций по данному вопросу. Одной из основных задач публикации является внедрение нового высокоэффективного оборудования для насосных станций оборотного водоснабжения.

На момент проектирования в технической, нормативной литературе не было каких либо материалов по оснащению насосных станций современным оборудованием, обеспечивающим минимальную энергоемкость и качество оборотной воды. Насосные станции служат для обеспечения необходимого количества и качества воды для функционирования фонтанов. Их задача обеспечить для фонтанов циркуляцию нужного количества воды по необходимому количеству напорных линий согласно требованиям архитекторов, обеспечив при этом нужное качество и необходимое давление воды у насадок. Эти задачи нужно решать в автоматическом режиме без присутствия обслуживающего персонала.

Изложение материала и результаты. Насосные станции оборотного водоснабжения фонтанов по степени обеспеченности подачи воды следует относить к III категории [2]. Наиболее рационально располагать их подземно на небольшом расстоянии от чаши декоративного фонтана. Величина рас-