



# Особенности формирования значимых факторов работы коксовых батарей и оценки технологических параметров угольной шихты

## Е.Н. Степанов

к.т.н., старший менеджер по КХП группы АКДП ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»; Челябинская область; г. Магнитогорск

## А.Н. Смирнов

д.ф.-м.н., заведующий. кафедрой физической химии и химической технологии Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова; Челябинская область; г. Магнитогорск

e-mail: sman@magtu.ru

## Д.И. Алексеев

ассистент кафедры физической химии и химической технологии ООО «КомПас-МГТУ»; Челябинская область; г. Магнитогорск

**Аннотация.** Формирование или оценка периодов работы производственного объекта по наиболее значимым технологическим факторам, оказывающим влияние на качество продукции (или объем производства), позволяет при использовании математических моделей максимально приблизить получаемые результаты к производственным условиям. Это позволяет оценить получаемые факторы как значимые (или устойчивые). На примере работы коксовых батарей КХП и углеподготовительного цеха ОАО «ММК» выделены следующие функционально независимые структуры: «качество производимой продукции», «производительность коксовой батареи», «характеристика исходного сырья», «спекаемость», «степень балласта в продукте», «метеорологическое влияние». Установлено наличие взаимосвязи между показателями качества кокса  $M_{25}$  и  $M_{10}$  и параметрами, входящими в структуру «качество производимой продукции»: сумма отошающих компонентов ОК (степень помола шихты  $\delta$ , показатель отражения витринита  $R_0$ , пластометрическая усадка  $X$ ). По шихтовым и технологическим параметрам будут построены для каждой коксовой батареи математические модели для прогнозирования показателей качества кокса  $M_{25}$  и  $M_{10}$ . Показана общность выводов, сделанных с помощью факторного анализа для КХП ОАО ММК в данной работе и адаптивной модели для КХП АО ЗСМК в [1].

**Ключевые слова:** проблемы моделирования; структурная модель; адаптивная модель; факторный анализ;

коксовая батарея; функционально независимые структуры работы коксовой батареи; шихтовые и технологические параметры; показатели качества кокса  $M_{25}$  и  $M_{10}$ ; математическая модель для прогнозирования показателей качества кокса.

Производственные условия могут видоизменять, усиливать или ослаблять привычные для лабораторной практики функциональные связи между параметрами исходного сырья и качеством кокса [3–7]. Чтобы выделить структуры в работе действующего коксохимического производства ОАО ММК, авторами рассматривается следующая схема для исследования и анализа (рис. 1). В блоке «Характеристика производства» взяты шихтовые и технологические параметры, блок «Характеристика сырья» и его возможные структуры не рассматривались, в отличие от моделей [4, 5] (рис. 2). Хотелось бы обратить внимание на то, что параметры  $M_{25}$  и  $M_{10}$  также использовались при выделении структур с целью определения группы, в которую они попадут вместе с шихтовыми и технологическими параметрами (рис. 1). Это

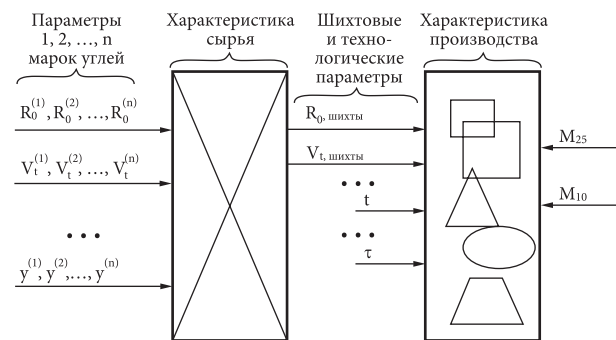


Рис. 1. Схема для исследования и анализа структуры работы КХП ОАО ММК

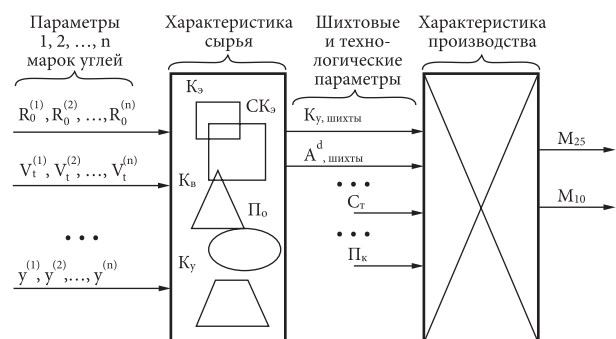


Рис. 2. Схема структурной модели [4, 5] для прогнозирования показателей качества кокса

позволит найти шихтовые или технологические параметры, которые следует использовать при построении математической модели для прогнозирования показателей качества кокса. Структуры, например характеристики исходного сырья, а именно коэффициенты  $K_B$ ,  $K_Э$ ,  $P_0$ ,  $K$  и т.д. в работах [2–7] описаны и введены в употребление исследователями. Однако было бы привлекательно, чтобы сама система, сам процесс подсказал, какие именно структуры имеются в его составе. Для такой «подсказки» подходит факторный или компонентный анализ. Далее под выражением «факторный анализ» подразумеваем факторный и компонентный анализ, не различая их и употребляя конкретный тип, где это будет необходимо.

Факторный анализ выполнен для всех коксовых батарей КХП ОАО ММК за 2011–2013 годы (совместно для батарей, имеющих общую коксосортировку). Краткая характеристика коксовых батарей КХП ОАО ММК приведена в табл. 1 [9]. При проведении факторного анализа для каждой батареи были отобраны параметры, указанные в табл. 2, для которых также указаны интервалы их варьирования. Для автоматического формирования необходимых выборок из технических отчетов была написана программа на языке *Visual Basic for Application* в среде *MS Office Excel* [10]. Внешний вид диалогового окна данной программы представлен на рис. 3.

Объем выборки для коксовых батарей составил 164–171 строк-значений от указанных выше параметров за исключением  $C$  и  $t_2$ . Выборки с участием параметров  $C$  и  $t_2$  обрабатывались отдельно, и количество строк-значений в них составило 67.

Поскольку задачей является выделение структур в работе каждой коксовой батарее, то при проведении факторного анализа использовалась так называемая Р-техника [11]. В исходной матрице

Таблица 1  
Краткая характеристика коксовых батарей КХП ОАО ММК [9]

№ коксовой батареи	Год ввода в эксплуатацию	Производственная мощность на 2011, тыс. т в год	Ширина камеры коксования средняя, мм	Объем камеры коксования, м <sup>3</sup>
1	1976	562	410	30,9
2	1975	535	410	30,9
3	1971	556	410	30,9
4	1984	556	410	30,9
7-бис	1983	784	410	41,6
8-бис	1981	850	410	41,6
9-бис	1986	875	410	41,6
13	1964	585	450	30,0
14	1966	585	450	30,0

Примечание. Все печи системы ПВР. Батареи 7-бис, 8-бис, 13-14 обслуживаются 1-м, а 1-2, 3-4, 9-бис – 2-м блоками УЩЦ.

Таблица 2  
Интервалы варьирования в факторном анализе шихтовых и технологических параметров для коксовых батарей КХП ОАО ММК за 2011–2013 гг.

УЩЦ	Номер коксовой батареи	Интервалы варьирования																					
		Показатели качества кокса					Шихтовые параметры					Технологические параметры											
1 блок	7-бис	$M_{25}$	84,9-88,7	8,3-9,7	7,95-10,65	$V^d$ , %	24,22-27,65	$X$ , мм	31-47	16-24	0,861-1,11	ОК, %	26-42	0,74-0,84	Насыпная плотность $\gamma_s$ , г/м <sup>3</sup>	Содержание углерода в шихте $C$ , %*	77,93-83,37	Степень помола $\delta$ , %	75,75-83,75	Время оборота печей $t$ , час.	16,4-22,2	1186-1265	1254-1301
		$M_{10}$	83,9-88,7	7,2-9,7	7,95-10,65	$V^d$ , %	24,22-27,65	$X$ , мм	31-47	16-24	0,861-1,11	ОК, %	26-42	0,74-0,84	Содержание углерода в шихте $C$ , %*	77,93-83,37	Степень помола $\delta$ , %	75,75-83,75	Время оборота печей $t$ , час.	15,6-22,2	1211-1300	1274-1322	
		$M_{10}$	82,9-88,1	8,4-10,5	7,95-10,65	$V^d$ , %	24,18-28,18	$X$ , мм	26-46	15-23	0,885-1,14	ОК, %	25-39	0,77-0,89	Содержание углерода в шихте $C$ , %*	77,77-82,83	Степень помола $\delta$ , %	76,0-82,5	Время оборота печей $t$ , час.	18,6-22,9	1224-1283	1280-1313	
2 блок	1-2	$M_{25}$	83,3-88,3	7,7-9,5	8,95-10,42	$V^d$ , %	24,18-28,18	$X$ , мм	26-46	15-23	0,885-1,14	ОК, %	25-39	0,77-0,89	Содержание углерода в шихте $C$ , %*	77,77-82,83	Степень помола $\delta$ , %	76,0-82,5	Время оборота печей $t$ , час.	15,0-24,7	1178-1302	1199-1335	
		$M_{10}$	83,4-88,6	7,9-9,8	8,95-10,42	$V^d$ , %	24,18-28,18	$X$ , мм	26-46	15-23	0,885-1,14	ОК, %	25-39	0,77-0,89	Содержание углерода в шихте $C$ , %*	77,77-82,83	Степень помола $\delta$ , %	76,0-82,5	Время оборота печей $t$ , час.	15,0-21,9	1219-1353	1245-1389	
		$M_{10}$	86,6-90,4	7,6-8,8	8,95-10,42	$V^d$ , %	24,18-28,18	$X$ , мм	26-46	15-23	0,885-1,14	ОК, %	25-39	0,77-0,89	Содержание углерода в шихте $C$ , %*	77,77-82,83	Степень помола $\delta$ , %	76,0-82,5	Время оборота печей $t$ , час.	15,0-17,5	1234-1279	1276-1318	

Примечание. \* Интервалы содержания углерода в шихте и температуры в контрольных отопительных вертикалах с коксовой стороны приводятся для меньшей выборки, содержащей 67 точек.



Рис. 3. Интерфейс программы для автоматического формирования выборки

в столбцах собраны числовые значения шихтовых и технологических параметров, в том числе качества кокса, а в строках – параметры за сутки. Коэффициенты корреляции в корреляционной таблице находятся между столбцами индивидуальных параметров ( $M_{25}$ ,  $R_0$ ,  $\gamma$  и т. д.) исходной матрицы.

Выберем и обоснуем модель факторного анализа, то есть, по сути, алгоритм обработки данных при выделении структур. При проведении факторного анализа используют модель главных факторов (факторный анализ) или модель главных компонент (компонентный анализ) [12].

В модели главных компонент основным уравнением является соотношение [13]:

$$x_i = \sum_{r=1}^p w_{ir} \cdot z_r \quad (i, r = 1, 2, \dots, p) \quad (1)$$

где  $x_i$  – наблюдаемая переменная;  $p$  – количество выделяемых факторов;  $w_{ir}$  – вес  $r$ -й компоненты на  $i$ -ой переменной;  $z_r$  –  $r$ -я главная компонента.

Основное уравнение модели главных факторов передается уравнением [13]:

$$x_i = \sum_{r=1}^p w_{ir} \cdot z_r + e_i \quad (i, r = 1, 2, \dots, p) \quad (2)$$

где  $e_i$  –  $i$ -й характерный фактор, который действует только на  $x_i$ .

Исходная матрица представлена в основном шихтовыми параметрами, поэтому, для того чтобы выбрать модель факторного анализа, необходимо понять возможную взаимосвязь между ними. Вопрос состоит в том, имеются ли у шихтовых параметров характерные только для них воздействия, которые не влияют на числовое значение других параметров.

С учетом современного оснащения лаборатории КХП ОАО ММК и в связи с использованием однотипного оборудования характерные факторы с точки зрения «помех» и «зашумленности» не рассматриваются.

Будем считать, что в производственных условиях, исходя из технологии получения кокса, когда поддерживается определенный порядок работы и качество используемого сырья, характерные факторы приобретают смысл воздействий, которые имеют вполне определенную природу возникновения.

Расчеты и выделение главных компонент в факторном анализе осуществлены с помощью пакета STATISTICA [15]. Выделение числа факторов осуществлялось, исходя из графика собственных значений («каменистой осыпи») в совокупности с правилом, при котором выделяемая дисперсия каждым новым фактором должна быть не меньше или практически равна единице [15].

В работе всех коксовых батарей, за некоторым исключением, исходя из объема выборки, выделено шесть факторов. Например, для 1-2 батарей на рис. 4 показан график «каменистой осыпи», из которого видно, что при выделенном числе факторов (структур), равном шести, 6-му фактору соответствует собственное значение чуть меньше единицы.

Прежде чем непосредственно перейти к описанию конкретных структур, получившихся в результате факторного анализа необходимо проверить получающееся разбиение на устойчивость по различным критериям.

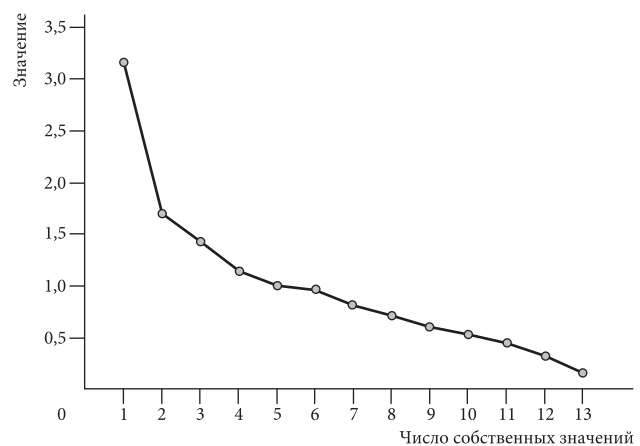


Рис. 4. График «каменистой осыпи» для 1-2 батарей

Поскольку факторный анализ осуществлен по данным достаточно продолжительного периода времени, то вполне возможна такая ситуация, при которой шихта идет сутки на коксование. За этот период времени в факторном анализе и производится учет шихтовых параметров, а качество соответствующего ей кокса, с учетом времени оборота печей и выдачи последней камеры с этой шихтой, определяется с задержкой в несколько дней. Чтобы проанализировать, как подобная задержка скажется на результатах факторного анализа и выделении структур в работе коксовых батарей, были сформированы выборки для каждой батареи с запаздыванием числовых данных по показателям

Проверка на устойчивость при различном учете отставания значений параметров  $M_{25}$  и  $M_{10}$  от шихтовых и технологических показателей

УПЦ	Номер батареи	Смещение параметров $M_{25}$ и $M_{10}$ , дней	Факторы					
			1	2	3	4	5	6
1 блок	7-бис	1	$M_{25}, M_{10}, OK$	$\tau, t_1$	$\delta, R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		2	$M_{25}, M_{10}, OK$	$\tau, t_1$	$\delta, R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		3	$M_{25}, M_{10}, OK$	$\tau, t_1$	$\delta, R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
	8-бис	1	$M_{25}, M_{10}, OK$	$\tau, t_1$	$\delta, R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		2	$M_{25}, M_{10}, OK, \delta$	$\tau, t_1$	$R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		3	$M_{25}, M_{10}, OK, V^d$	$\tau, t_1$	$\delta, R_0, X$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
	13-14	1	$M_{25}, M_{10}, X, \delta, R_0$	$\tau, t_1$	$OK, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		2	$M_{25}, M_{10}, X, \delta, R_0$	$\tau, t_1$	$OK, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		3	$M_{25}, M_{10}, X, \delta, R_0$	$\tau, t_1$	$OK, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
2 блок	1-2	1	$M_{25}, V^d, R_0, t_1, \delta$	$M_{10}$	$OK, w^r$	$\tau, y, X$	$A^d$	$\gamma$
		2	$M_{25}, V^d, R_0, t_1, \delta$	$M_{10}, X$	$OK$	$\tau, y$	$A^d, W^r$	$\gamma$
		3	$M_{25}, V^d, R_0, t_1, \delta$	$M_{10}$	$OK$	$\tau, y, X$	$A^d, W^r$	$\gamma$
	3-4	1	$M_{25}, V^d, R_0, t_1, \tau, \delta$	$M_{10}$	$OK, W^r$	$y, X$	$A^d$	$\gamma$
		2	$M_{25}, R_0, t_1, \tau, \delta$	$M_{10}$	$OK, V^d, W^r$	$y, X$	$A^d$	$\gamma$
		3	$M_{25}, \delta, \tau, y, R_0, V^d$	$M_{10}$	$OK, W^r$	$y, X$	$A^d$	$\gamma$
	9	1	$M_{25}, M_{10}, X$	$A^d$	$R_0, V^d, \tau, t_1$	$y, X$	$\gamma$	$OK, W^r, \delta$
		2	$M_{25}, M_{10}$	$A^d$	$\delta, R_0, V^d, \tau, t_1$	$y, X$	$\gamma$	$OK, W^r$
		3	$M_{25}, M_{10}$	$A^d$	$R_0, V^d, \tau, t_1$	$y, X$	$\gamma$	$OK, W^r, \delta$

качества кокса относительно значений шихтовых параметров на один, два, три дня, которые подверглись факторному анализу с вращением факторов по критерию «квартимакс» (табл. 3) [8].

Анализируя табл. 3, можно сделать вывод, что решения факторного анализа устойчиво для батарей 7-бис и 13-14.

По нашим оценкам, наиболее соответствует действительности соотношение показателей качества кокса с шихтовыми и технологическими параметрами с задержкой в два дня.

Результаты проверки устойчивости получаемых в ходе факторного анализа решений в зависимости от критериев вращения факторов [8] представлены в табл. 4.

Для всех батарей 1-го и 2-го блока, за исключением 1-2 батареи, наблюдаются устойчивые решения. Причина неустойчивого разбиения на структуры для 1-2 батареи аналогична разобранной ниже на примере данных табл. 12, 13.

На наш взгляд, наиболее адекватен для решения поставленных целей выделения структур и нахождения назначения каждой из них критерий «квартимакс», так как с помощью него осуществляется группировка значений проекций непосредственно между общими факторами, а не для каждого из общих факторов по отдельности.

По результатам проверки на устойчивость (табл. 3 и 4) можно сделать вывод, что получающиеся модели можно считать устойчивыми. Особо отметим устойчивость результатов факторного анализа для 1-го блока УПЦ и относящихся

к нему 7-бис, 8-бис, 13-14 батарей, для указанных батарей ниже обоснованы структуры их работы с точки зрения теории и практики коксования.

Выпишем для удобства получившиеся в результате факторного анализа структуры в табл. 5.

Второй, четвертый, пятый и шестой факторы у батарей 7, 8, 13-14 идентичны. Во второй фактор входит параметр оборота печи, который используется при расчете производительности коксовой батареи. Рассмотрим уравнение для расчета производительности коксовой батареи [16]:

$$ПМ_K = [(K_{ш} \cdot B_K) / 100] \cdot T / \tau \cdot K_n \cdot D_K, \quad (3)$$

где  $K_{ш}$  – масса шихты, загружаемой в камеру печи, т;  $B_K$  – выход сухого валового кокса из сухой шихты, %;  $T$  – продолжительность суток, ч;  $\tau$  – продолжительность цикла (оборота) печи, ч;  $K_n$  – количество действующих печей;  $D_K$  – количество календарных дней в планируемом периоде.

$$K_{ш} = V_{\text{полезн. камеры}} \cdot \gamma_{\text{шихты}}, \quad (4)$$

где  $V_{\text{полезн. камеры}}$  – объем камеры коксования;  $\gamma_{\text{шихты}}$  – насыпная плотность шихты.

$$B_K = (100 - V_{ш}) / (100 - V_K) \cdot 100 + a, \quad (5)$$

где  $V_{ш}$  – выход летучих веществ в шихте, % к сухой массе;  $V_K$  – выход летучих веществ в коксе, % к сухой массе;  $a$  – прирост массы кокса за счет частичного пиролиза коксового газа к сухой массе кокса.



Проверка на устойчивость получающегося факторного разбиения от способа вращения факторов (смещение параметров  $M_{25}$  и  $M_{10}$  от шихтовых и технологических показателей – 2 дня)

УПЦ	Номер батареи	Экстремизируемый функционал при вращении факторов	Факторы					
			1	2	3	4	5	6
1 блок	7	«квартимакс»	$M_{25}, M_{10}, OK$	$\tau, t_1$	$\delta, R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		«варимакс»	$M_{25}, M_{10}, OK$	$\tau, t_1$	$\delta, R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		«биквартимакс»	$M_{25}, M_{10}, OK$	$\tau, t_1$	$\delta, R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		«эквимакс»	$M_{25}, M_{10}, OK$	$\tau, t_1$	$\delta, R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
	8	«квартимакс»	$M_{25}, M_{10}, OK, \delta$	$\tau, t_1$	$R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		«варимакс»	$M_{25}, M_{10}, OK, \delta$	$\tau, t_1$	$R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		«биквартимакс»	$M_{25}, M_{10}, OK, \delta$	$\tau, t_1$	$R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		«эквимакс»	$M_{25}, M_{10}, OK, \delta$	$\tau, t_1$	$R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
	13-14	«квартимакс»	$M_{25}, M_{10}, OK, \delta, R_0$	$\tau, t_1$	$OK, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		«варимакс»	$M_{25}, M_{10}, OK, \delta, R_0$	$\tau, t_1$	$OK, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		«биквартимакс»	$M_{25}, M_{10}, OK, \delta, R_0$	$\tau, t_1$	$OK, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
		«эквимакс»	$M_{25}, M_{10}, OK, \delta, R_0$	$\tau, t_1$	$OK, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
2 блок	1-2	«квартимакс»	$M_{25}, V^d, R_0, t_1, \delta$	$M_{10}$	$OK$	$\tau, y, X$	$A^d, W^r$	$\gamma$
		«варимакс»	$M_{25}, M_{10}, X$	$V^d, R_0, t_1, \delta$	$OK, W^r$	$\tau, y$	$A^d$	$\gamma$
		«биквартимакс»	$M_{25}, V^d, R_0, t_1, \delta$	$V^d, R_0, t_1, \delta$	$OK$	$\tau, y$	$A^d, W^r$	$\gamma$
		«эквимакс»	$M_{25}, V^d, R_0, t_1, \delta$	$M_{10}, X$	$OK$	$\tau, y$	$A^d, W^r$	$\gamma$
	3-4	«квартимакс»	$M_{25}, R_0, t_1, \tau, \delta$	$M_{10}$	$OK, W^r, V^d$	$y, X$	$A^d$	$\gamma$
		«варимакс»	$M_{25}, R_0, t_1, \tau, \delta$	$M_{10}$	$OK, W^r, V^d$	$y, X$	$A^d$	$\gamma$
		«биквартимакс»	$M_{25}, R_0, t_1, \tau, \delta$	$M_{10}$	$OK, W^r, V^d$	$y, X$	$A^d$	$\gamma$
		«эквимакс»	$M_{25}, R_0, t_1, \tau, \delta$	$M_{10}$	$OK, W^r, V^d$	$y, X$	$A^d$	$\gamma$
	9	«квартимакс»	$M_{25}, M_{10}$	$A^d$	$\delta, R_0, V^d, \tau, t_1$	$y, X$	$\gamma$	$OK, W^r$
		«варимакс»	$M_{25}, M_{10}$	$A^d$	$\delta, R_0, V^d, \tau, t_1$	$y, X$	$\gamma$	$OK, W^r$
		«биквартимакс»	$M_{25}, M_{10}$	$A^d$	$\delta, R_0, V^d, \tau, t_1$	$y, X$	$\gamma$	$OK, W^r$
		«эквимакс»	$M_{25}, M_{10}$	$A^d$	$\delta, R_0, V^d, \tau, t_1$	$X, y$	$\gamma$	$OK, W^r$

Таблица 5

Выделение функционально независимых структур в работе коксовых батарей КХП ОАО ММК с учетом отставания параметров  $M_{25}$  и  $M_{10}$  от шихтовых и технологических параметров на два дня и вращения факторов по критерию «квартимакс»

№ блока УПЦ	Номер батареи	Факторы					
		1	2	3	4	5	6
1	7	$M_{25}, M_{10}, OK$	$\tau, t_1$	$\delta, R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
	8	$M_{25}, M_{10}, OK, \delta$	$\tau, t_1$	$R_0, X, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
	13-14	$M_{25}, M_{10}, X, \delta, R_0$	$\tau, t_1$	$OK, V^d$	$y$	$A^d, \gamma$	$W^r$
2	1-2	$M_{25}, V^d, R_0, t_1, \delta$	$M_{10}, X$	$OK$	$\tau, y$	$A^d, W^r$	$\gamma$
	3-4	$M_{25}, R_0, t_1, \tau, \delta$	$M_{10}$	$OK, V^d, W^r$	$y, X$	$A^d$	$\gamma$
	9	$M_{25}, M_{10}$	$\delta, R_0, V^d, \tau, t_1$	$OK, W^r$	$y, X$	$A^d$	$\gamma$

Факторный анализ показал общность между параметрами оборота печи  $\tau$  и температурой в контрольных отопительных вертикалах  $t_1$ , выделив их в отдельный фактор. Таким образом, второй фактор можно условно назвать – «производительность коксовой батареи».

По аналогии, четвертый фактор можно назвать, исходя из назначения характеристики входящего в него параметра, – «спекаемость». Одной из характеристик спекаемости является толщина пластического слоя  $y$  [17].

К пятому фактору относится зольность  $A^d$  и насыпная плотность  $\gamma$  шихты. Данный фактор

можно связать с неэффективной работой доменной печи, ведь зола является балластом в доменном процессе. Пятый фактор можно условно назвать – «степень балласта в продукте».

В шестой фактор входит единственный параметр – влажность шихты  $w^r$ . Шестой фактор рассматривается как «метеорологический».

В первый фактор, независимо от батареи, обслуживаемой 1-м блоком УПЦ, входят показатели качества кокса. Данный фактор обозначим как «качество производимой продукции».

Для 7-бис и 8-бис батарей в третий фактор входят такие показатели как  $R_0, X, V^d$ . Показатели  $R_0$

и  $V^d$ , характеризуют стадию метаморфизма углей, входящих в шихту для коксования. Третий фактор можно рассматривать как «характеристику исходного сырья».

Для 13-14 батарей ввиду связи показателей качества кокса с параметрами  $R_0$ ,  $X$ , третьему фактору принадлежат параметры  $OK$ ,  $V^d$  (табл. 5). Данный фактор также может характеризовать исходное сырье и качество шихты для коксования.

Для того чтобы с точки зрения теории и практики коксования глубже проверить правильность разбиения на структуры для 7-бис, 8-бис, 13-14 батарей, для каждого параметра из группы, принадлежащей одному фактору, запишем знак, с которым берется максимальная проекция на фактор, тем самым качественно установим взаимосвязь между ними. Данные сведем в табл. 6–8.

Из анализа табл. 6–8 следует, что, например,  $A^d$  и  $\gamma$  имеют один и тот же знак проекции. Это означает, что с ростом зольности в шихте растет и ее насыпная плотность [18]. С ростом показателя дробимости  $M_{25}$  показатель истираемости  $M_{10}$  уменьшается, что согласуется с методикой определения этих параметров (ГОСТ 5953). Как уже отмечалось, в производстве при увеличении оборотов печи добиваются снижения поступления тепла к камерам коксования и, как следствие, снижения температуры в контрольных отопительных вертикалах, что отражено в различных знаках проекций параметров  $\tau$  и  $t_1$  на второй фактор. С увеличением в шихте углей марок Г, ГЖ, ГЖО, то есть с уменьшением показателя отражения витринита в ней, увеличивается усадка за счет повышенного выхода летучих веществ [17].

Таким образом, работу батарей 7-бис, 8-бис, 13-14, а также 1-го блока УПЦ можно считать нормальной, логичной, обоснованной с точки зрения теории и практики коксования. Структуру работы 1-го блока УПЦ и батарей 7, 8, 13-14 можно считать эталонной.

Дадим характеристику работы батарей, относящихся ко 2-му блоку УПЦ (табл. 5). Часть структуры работы батарей 2-го блока УПЦ похожа на структуру работы 1-го блока и относящихся к ней батарей. Так, например, в отдельные факторы выделены такие показатели как  $M_{25}$ ,  $\gamma$ ,  $A^d$ . Однако необходимо обратить внимание на группировку большого количества различных по своей природе параметров под одним фактором. Под первым фактором для 1-2 и 3-4 батарей сгруппированы шихтовые и технологические параметры, а также показатель качества кокса  $M_{25}$ ; таким образом, не учитывается их разбиение по шихтовым, технологическим признакам и показателям качества кокса. Получается, что существует

только один «главный», «основной» критерий, по которому определяется, по сути, вся работа КХП, что противоречит теории и практике коксования [16–18] и, в частности, классификации математических моделей для прогнозирования показателей качества кокса  $M_{25}$  и  $M_{10}$  на основе различных параметров [2]. Можно предположить, что первый фактор характеризует марку угля или концентрата, а не шихту. Естественно, марка угля определяет показатель дробимости  $M_{25}$ . Что касается попадания в первый фактор для 1-2 и 3-4 коксовых батарей технологических параметров, то если бы на батареях велось поддержание значений  $\tau$  и  $t_1$  в зависимости от шихтовых параметров ( $R_0$ ,  $V^d$ ), тогда их взаимосвязь была бы логичной. Поскольку такой корректировки не ведется, то данный факт вызывает сомнения в правильности функционирования объекта (коксовой батареи) и сложившихся взаимосвязей между параметрами.

Еще одной характерной чертой выделенных взаимосвязей и структур в работе 1-2 и 3-4 коксовых батарей является нахождение показателей качества кокса  $M_{25}$  и  $M_{10}$  в разных факторах (первом и втором), при этом не учитывается физическая сущность методики их определения, чего быть не должно. Для 9-й батареи в один фактор все-таки выделены показатели качества кокса. Подобное «восстановление» во взаимосвязях между  $M_{25}$  и  $M_{10}$  можно объяснить тем, что кокс на 9-й батарее, при использовании той же шихты, что и на 1-2, 3-4 батареях, тушится на УСТК. Однако в третьем факторе для 9-й батареи вновь присутствуют шихтовые и технологические параметры, зольность  $A^d$  и насыпная плотность  $\gamma$  находятся в различных факторах, что, по нашему мнению, не соответствует действительности, а является следствием нехарактерного установления взаимосвязей в работе коксовых батарей 2-го блока УПЦ.

Выпишем знаки проекций на факторы для батарей 2-го блока УПЦ в табл. 9–11. Некоторые зависимости между параметрами для батарей 1-го и 2-го блоков УПЦ схожи (табл. 6–11), однако в целом выводы из табл. 9–11 нельзя подтвердить из теории и практики коксования, так как параметры собраны в такие группы, которые в практическом и исследовательском плане не изучаются.

Группировку различных по своей функциональной принадлежности параметров под одним фактором и установление нехарактерных взаимосвязей для батарей 2-го блока УПЦ можно объяснить недостаточным усреднением шихты. Проведенный факторный анализ работы коксовых батарей с теоретической точки зрения подтверждает правильность приоритетного направления



Таблица 6

## Знаки проекций для 7-бис батарей

№ фактора	$W^r$	$A^d$	$V^d$	$X$	$y$	$R_0$	ОК	$\gamma$	$M_{25}$	$M_{10}$	$\delta$	$\tau$	$t_1$
1							-		+	-			
2												+	-
3			+	+		-						-	
4					-								
5		+						+					
6	+												

Таблица 7

## Знаки проекций для 8-бис батарей

№ фактора	$W^r$	$A^d$	$V^d$	$X$	$y$	$R_0$	ОК	$\gamma$	$M_{25}$	$M_{10}$	$\delta$	$\tau$	$t_1$
1							-		+	-	+		
2												+	-
3			+	+		-							
4					-								
5		+						+					
6	-												

Таблица 8

## Знаки проекций для 13-14 батарей

№ фактора	$W^r$	$A^d$	$V^d$	$X$	$y$	$R_0$	ОК	$\gamma$	$M_{25}$	$M_{10}$	$\delta$	$\tau$	$t_1$
1				+		-			-	+	-		
2												-	+
3			+				-						
4					-								
5		+						+					
6	-												

Таблица 9

## Знаки проекций для 1-2 батарей

№ фактора	$W^r$	$A^d$	$V^d$	$X$	$y$	$R_0$	ОК	$\gamma$	$M_{25}$	$M_{10}$	$\delta$	$\tau$	$t_1$
1			-			+			+		+		-
2				-						-			
3							-						
4					-							+	
5	-	+											
6								-					

Таблица 10

## Знаки проекций для 3-4 батарей

№ фактора	$W^r$	$A^d$	$V^d$	$X$	$y$	$R_0$	ОК	$\gamma$	$M_{25}$	$M_{10}$	$\delta$	$\tau$	$t_1$
1						+			+		+	+	-
2										-			
3	+		+				-						
4				+	-								
5		+											
6								+					

Таблица 11

## Знаки проекций для 9 батарей

№ фактора	$W^r$	$A^d$	$V^d$	$X$	$y$	$R_0$	ОК	$\gamma$	$M_{25}$	$M_{10}$	$\delta$	$\tau$	$t_1$
1									+	-			
2	+						-						
3			+			-					-	-	+
4				-	+								
5		-											
6								+					

по усреднению всей шихты, идущей на коксование, на угольном складе КХП ОАО ММК [19].

Прежде чем окончательно описать структуру работы коксовых батарей КХП ОАО ММК, сделаем еще одну проверку на устойчивость получаемого разбиения на структуры по критерию тесноты связи параметров внутри факторов. Для этого с помощью программы была подготовлена выборка со всеми выше перечисленными параметрами, включая содержание углерода в шихте  $C$  и температуру в контрольных отопительных вертикалах с коксовой стороны  $t_2$ . Объем выборки, как уже указывалось, составил 67 строк значений. Результаты факторного анализа для выборки с участием параметров  $C$  и  $t_2$  с помощью модели главных компонент со смещением в два дня показателей качества кокса  $M_{25}$  и  $M_{10}$  относительно шихтовых и технологических параметров с вращением по критерию «квартимакс» приведены в *табл. 12*.

Для того чтобы адекватно оценить получившееся разбиение на структуры (*табл. 12*) с уже имеющимися результатами (*табл. 5*) приведем в качестве примера значения проекций на общие факторы для 8-бис батареи (*табл. 13*).

Как видно из *табл. 13*, для параметров ОК,  $R_0$ ,  $X$  имеются проекции, числовые значения которых близки к максимальным. Подобная ситуация имела место быть и при проверке на устойчивость по различным критериям из-за отличий в математической обработке данных. Так, например, к первому фактору (*табл. 13*) можно отнести параметр ОК, а к третьему фактору –  $X$ . Тогда первый фактор из *табл. 13* будет похож на аналогичный из *табл. 5*. Подобная возможность отнесения значительного количества параметров к различным общим факторам, в отличие от предыдущих результатов (*табл. 3 и 4*), появилась из-за малости объема выборки.

Анализ данных *табл. 5 и 12* позволяет сделать вывод, что выделенные структуры (*табл. 5*) имеют устой-

Таблица 12

Проверка на устойчивость связей между параметрами внутри факторов при факторном анализе (отставание значений параметров  $M_{25}$  и  $M_{10}$  от шихтовых и технологических показателей на два дня, вращение факторов по критерию «квартимакс»)

УПЦ	Номер батареи	Факторы						
		1	2	3	4	5	6	7
1 блок	7	$M_{25}, M_{10}, OK, V^d$	$t_1, t_2$	$\delta, R_0, \tau$	$\gamma$	$\gamma, X$	$A^d, C$	$W^r$
	8	$M_{25}, M_{10}, X, \delta$	$\tau, t_1, t_2$	$V^d, W^r, OK, R_0$	$\gamma$	$\gamma$	$A^d, C$	–
	13-14	$M_{25}, \delta, X, R_0$	$\tau, t_1, t_2$	$M_{10}, OK, V^d$	$\gamma, W^r$	$\gamma$	$A^d, C$	–
2 блок	1-2	$M_{25}, R_0, t_1, t_2, \delta$	$M_{10}$	$V^d, A^d, OK$	$\gamma$	$\gamma, C, \tau$	$W^r, X$	–
	3-4	$M_{25}, R_0, t_1, \tau, t_2, \delta$	$M_{10}$	$V^d, A^d, OK$	$\gamma$	$\gamma, C$	$W^r, X$	–
	9	$M_{25}, M_{10}, R_0, \tau, t_1, t_2, \delta$	$V^d, A^d, W^r$	$OK, C$	$\gamma$	$\gamma, X$	–	–

Таблица 13

Значения проекций параметров на общие факторы для 8-бис батарей в случае проверки устойчивости связей внутри групп (выборка с параметрами  $C$  и  $t_2$ )

Переменная	Фактор					
	1	2	3	4	5	6
$M_{25}$	<b>-0,7497</b>	-0,0745	-0,1052	0,0321	-0,1442	-0,1223
$M_{10}$	<b>0,7806</b>	-0,1765	0,1307	0,1748	-0,1280	-0,0802
$W^r$	0,3687	-0,0933	<b>-0,4354</b>	-0,2296	0,0542	0,3713
$A^d$	-0,0284	0,0069	0,2249	-0,2426	0,0662	<b>0,8220</b>
$V^d$	-0,1740	0,3098	<b>-0,8118</b>	0,0481	0,1463	-0,0436
$X$	<b>0,5499</b>	0,2522	<b>-0,4728</b>	-0,0771	-0,2438	-0,2012
$\gamma$	0,0985	0,1253	-0,0396	0,0807	<b>0,9040</b>	-0,0404
$\delta$	<b>-0,7084</b>	-0,3595	0,1905	0,1211	-0,2195	0,0571
$R_0$	-0,3385	-0,2054	<b>0,5029</b>	0,0565	<b>-0,4950</b>	-0,0171
$C$	0,0141	-0,2016	0,2635	-0,3148	0,1728	<b>-0,6784</b>
$\tau$	0,0544	-0,0222	0,0081	<b>-0,9203</b>	-0,0753	0,0605
$OK$	<b>0,4654</b>	0,2579	<b>0,5046</b>	-0,1816	0,1549	0,0155
$t_1$	-0,0445	<b>-0,9818</b>	0,0605	0,0052	-0,0306	-0,0496
$t_2$	0,0737	<b>0,9714</b>	-0,0993	0,0326	0,0645	0,0369
	0,1085	<b>0,9811</b>	-0,0438	0,0227	0,0596	0,0300

Примечание. Жирным шрифтом выделены максимальные по модулю проекции параметров на соответствующий фактор. Подчеркиванием выделены значения, близкие к максимальным.

academquality.ru, ql-journal.ru

чивые связи внутри групп. Также данные табл. 12 подтвердили адекватность описания структур и установившихся связей с теорией и практикой коксования для 7-бис, 8-бис, 13-14 батарей.

По нашему мнению, выделять структуры, исходя из работы 1-2, 3-4, 9-бис коксовых батарей, обслуживаемых 2-м блоком УПЦ, а также предлагать параметры для построения математической модели для прогнозирования показателей качества кокса можно будет только после дополнительных исследований. На основе проведенного факторного анализа дадим формальный признак «скрытым» структурам функционирования коксовых батарей КХП ОАО ММК 7-бис, 8-бис, 13-14, обслуживаемых 1-м блоком УПЦ.

«Скрытые» структуры работы коксовых батарей 7-бис, 8-бис, 13-14 (в скобках указаны основные параметры, принадлежащие данной структуре):

1) «качество производимой продукции» ( $M_{25}, M_{10}$ );

2) «производительность коксовой батареи» ( $\tau, t_1, t_2$ );

3) «характеристика исходного сырья» ( $V^d, R_0$ );

4) «спекаемость» ( $\gamma$ );

5) «степень балласта в продукте» ( $A^d, \gamma$ );

6) «метеорологическое влияние» ( $W^r$ ).

Отметим, что в некоторые структуры входит всего один параметр, например в «спекаемость» или «метеорологическое влияние». Если для факторного анализа было бы отобрано большее количество дополнительных параметров, то наверняка нашлись бы такие, которые сгруппировались вместе с  $\gamma$  или  $W^r$ , например запыленность воздуха совместно с  $W^r$  или степень окисленности шихты с  $\gamma$ .

Перейдем к обоснованию совместной группировки с  $M_{25}$  и  $M_{10}$  в структуре «качество производимой продукции» других параметров (табл. 5). Для 8-бис батареи имеется взаимосвязь между  $M_{25}, M_{10}$ , и  $\delta$ , качественно характеризуемая тем, что с ростом  $\delta$  увеличивается и  $M_{25}$  (табл. 7) [21]. Роль в прогно-





зировании показателей качества кокса петрографической характеристики признают большинство авторов моделей [3–7], в связи с чем и группировка параметра ОК совместно с  $M_{25}$  и  $M_{10}$  для 7-бис и 8-бис батарей является обоснованной.

Для 13-14 батарей совместно с  $M_{25}$  и  $M_{10}$  в структуру вошли также параметры  $X$ ,  $R_0$ . Ширина камер коксования у 13-14 батарей составляет 450 мм, против 410 мм у 7-бис и 8-бис батарей (табл. 1). Качественно (табл. 8), если принять обратную взаимосвязь, которая описана в [17], с увеличением показателя отражения витринита шихты происходит снижение усадки, при этом величина  $M_{25}$  кокса увеличивается, а  $M_{10}$  уменьшается. Именно поэтому, по нашему мнению, для 13-14 батарей на качество кокса в большей степени влияет показатель отражения витринита  $R_0$  и, как следствие, усадка  $X$ .

Оценим, насколько оправдано получившееся разбиение на структуры с точки зрения того, что связь с показателями  $M_{25}$  и  $M_{10}$  имеют ограниченное количество шихтовых и технологических параметров в структуре «качество производимой продукции», тогда как, например, в итоговые уравнения структурных моделей [3–5] входят практически все параметры, подвергнутые в данной работе факторному анализу.

Приведем цитату из работы [1], в которой настраивалась и тестировалась адаптивная модель по данным КХП АО ЗСМК, которая имеет высокую прогнозирующую способность: «... Сравнение результатов функционирования алгоритмов АЭ1 и АЭ2<sup>1</sup> показывает, что большая часть повышения точности прогнозирования показателей  $M_{40}$  и  $M_{10}$  (82...95 %) достигается для данных массива  $MS1^2$  за счет экстраполяции предыстории их изменения, в то время как учет данных о техническом анализе, пластометрии и гранулометрическом составе шихты на коксование не дает ощутимого результата. Вместе с тем наибольший эффект при прогнозировании  $M_{40}$  и  $M_{10}$  для  $MS2^3$  был достигнут благодаря учету данных о петрографических характеристиках угольной шихты. Точность прогнозирования показателя  $M_{40}$  возросла в 1,4 раза, а  $M_{10}$  – в 1,5–2,4 раза...». Поскольку точность прогноза адаптивной модели возросла в основном только за счет петрографических характеристик, то это означает, что именно петрографические параметры влияют в большей степени на ход процесса коксо-

вания в масштабах коксохимического производства и связаны с физикой происходящего процесса образования прочного остатка – кокса. К такому же выводу приводят и результаты факторного анализа, исключая из структуры «качество производимой продукции» параметры, а также результаты технического и пластометрического анализов (кроме усадки  $X$  для 13-14 батарей). Единственным различием между выводами, сделанными в работе [1] для КХП АО ЗСМК и результатами факторного анализа для КХП ОАО ММК, является возможная взаимосвязь между показателями качества кокса и степенью помола  $\delta$ , что скорее всего, является характерным фактором работы КХП ОАО ММК.

Отметим, что структуры функционирования батарей, несмотря на принадлежность к одному блоку УПЦ, получились различные, в том числе и по причине сложившейся организации технологического процесса, поэтому, на наш взгляд, математические модели необходимо строить если не для каждой батареи, то хотя бы для одного производства в отдельности, и не обрабатывать совместно данные, полученные с помощью полупромышленных коксований и с нескольких коксохимических предприятий [22].

### Выводы

1. Первый блок УПЦ и относящиеся к нему батареи 7-бис, 8-бис, 13-14 КХП ОАО ММК работают в соответствии с теорией и практикой коксования. Для этих батарей возможно построение математических моделей для прогнозирования показателей качества кокса  $M_{25}$  и  $M_{10}$  без дополнительных исследований.

2. Второй блок УПЦ и относящиеся к нему батареи 1-2, 3-4, 9-бис КХП ОАО ММК работают с отклонением от теоретических представлений. Для 2-го блока УПЦ рекомендуется изменить технологическую схему с целью усреднения всего объема углей и концентратов, идущих на коксование [19].

3. Используя факторный анализ, в работе коксовых батарей, относящихся к 1 му блоку, выделены «скрытые» структуры: «качество производимой продукции», «производительность коксовой батареи», «характеристика исходного сырья», «спекаемость», «степень балласта в продукте», «метеорологическое влияние».

<sup>1</sup> АЭ1 – алгоритм, экстраполяция в котором происходила исходя из значений показателей  $M_{25}$  и  $M_{10}$  на предыдущих шагах прогнозирования. Например, сегодня делается прогноз показателей  $M_{25}$  и  $M_{10}$  на два дня вперед исходя из сегодняшних и за предыдущие дни значений  $M_{25}$  и  $M_{10}$  по определенному алгоритму. АЭ2 – алгоритм, который непосредственно описан в работе [1].

<sup>2</sup>  $MS1$  – это массив (множество) состоящий из четырех выборок, в которых варьировались (включались или не включались) различные шихтовые и технологические параметры. Массив основан на данных оперативного контроля КХП АО ЗСМК и не включал петрографических характеристик шихты.

<sup>3</sup>  $MS2$  – это массив, подобный  $MS1$ , который был основан на большем числе параметров, включая петрографические характеристики шихты, такие как  $R_0$ ,  $S_R$ ,  $CK_{Э}$ ,  $S_{CK}$ .

4. Установлена взаимосвязь между показателями качества кокса  $M_{25}$  и  $M_{10}$  и параметрами, входящими в структуру «качество производимой продукции»: ОК для 7-бис батарей; ОК,  $\delta$  для 8-бис батарей;  $R_0$ ,  $X$ ,  $\delta$  для 13-14 батарей. Эти шихтовые и технологические параметры будут использованы для построения математической модели для прогнозирования показателей качества кокса  $M_{25}$  и  $M_{10}$ .

5. На основе анализа данных КХП ОАО ММК сделан вывод о том, что для узких камер шириной 410 мм показатели качества кокса необходимо моделировать от показателя ОК, а для широких камер шириной 450 мм –  $R_0$ .

6. Установлена общность выводов, полученных независимыми методами факторного анализа для КХП ОАО ММК в данной работе и адаптивной модели для КХП АО ЗСМК в [1]. Показано отсутствие взаимосвязи в производственных условиях между данными, полученными с помощью технического и пластометрического анализов, с показателями качества кокса, в отличие от петрографических параметров, для которых установлена тесная взаимосвязь с  $M_{25}$  ( $M_{40}$  для КХП АО ЗСМК) и  $M_{10}$ .

### Литература

1. Евтушенко В.Ф. и др. Построение и исследование алгоритма прогнозирования показателей качества кокса с учетом динамики неконтролируемых возмущений // Кокс и химия. 1996. № 6. С. 21–26.

2. Смирнов А.Н., Петухов В.Н., Алексеев Д.И. Анализ принципов построения математических моделей для прогнозирования показателей качества кокса  $M_{25}$  и  $M_{10}$  с целью классификации и разработки концепции гибридной модели // Кокс и химия. 2015. № 5. С. 13–18.

3. Станкевич А.С., Станкевич В.С. Определение технологической ценности углей, используемых для производства кокса // Кокс и химия. 2011. № 6. С. 2–10.

4. Станкевич А.С., Станкевич В.С. Методика определения коксумости и технологической ценности углей пластов и их смесей // Кокс и химия. 2012. № 1. С. 4–12.

5. Станкевич А.С., Базегский А.Е. Оптимизация качества кокса ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» с учетом особенностей угольной сырьевой базы // Кокс и химия. 2013. № 10. С. 14–21.

6. Еремин И.В., Гагарин С.Г. Расчет шихт для коксования на основе петрографической модели // Кокс и химия. 1992. № 12. С. 9–15.

7. Гагарин С.Г., Еремин И.В. Компьютерный мониторинг прочности кокса на основе петрографической модели расчета угольных шихт // Кокс и химия. 1995. № 2. С. 10–15.

8. Браверман Э.М. Мучник И.Б. Структурные методы обработки эмпирических данных. – М.: «Наука». 1983. – 464 с.

9. Коробов Е.А., Ивашков И.В., Гагауллин Р.Г. О поддержании производственной мощности коксовых батарей ОАО ММК // Кокс и химия. 2011. № 12. С. 30–32.

10. Уокенбах, Джон. Excel 2010: профессиональное программирование на VBA. : Пер. с англ. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2012. – 944 с.

11. Окунь Я.. Факторный анализ: Пер. с польского. – М. : «Статистика», 1974. – 200 с.

12. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы: учебник. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 325 с.

13. Лоули Д., Максвелл А. Факторный анализ как статистический метод. : Пер. с англ. – М. : «Мир», 1967. – 145 с.

14. Станкевич А.С. и др. Изменение свойств частично окисленных углей при хранении // Кокс и химия. 1987. № 5. С. 4–6.

15. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ. 2008. – 464 с.

16. Справочник коксохимика. В 6 томах. Том 6. Экономика, организация и управление коксохимическим предприятием / Под. ред. А.М. Приступы, Е.И. Котрлярова, В.А. Корниловой. – Харьков: ИД «ИНЖЭК», 2010. – 320 с.

17. Гофтман М.В. Прикладная химия твердого топлива. М.: 1963 г.

18. Справочник коксохимика. В 6 томах. Том 1. Угли для коксования. Обогащение углей. Подготовка углей к коксованию / Под общ. ред. Л.Н. Борисова, Ю.Г. Шаповала. – Харьков: ИД «ИНЖЭК». 2010. – 536 с.

19. Ройзен Л.С. Итоги конференции руководителей коксохимических предприятий РФ // Кокс и химия. 2014. № 9. С. 8–24.

20. Влияние технологических факторов процесса коксования на содержание углерода в коксе // Кокс и химия. 2011. № 12. С. 27–29.

21. Справочник коксохимика. В 6 томах. Том 2. Производство кокса / Под общ. ред. А.К. Шелкова – М.: «Металлургия». 1965.

22. Станкевич А.С., Смелянский А.З., Беркутов Н.А. и др. Рациональное распределение углей и оптимизация состава шихт для коксования // Кокс и химия. 2003. № 9. С. 8–16.



## Features of Formation of Significant Factors of Operation of Coke Batteries and Assessment of Technological Parameters of Carbon Furnace Charge for the Purpose of Determination of Correlation with Indicators of Quality of Coke on the Basis of Application of Factor Analysis

**E.N. Stepanov**, Candidate of Technical Sciences, senior manager on KHP of group AKDP «JSC Magnitogorsk Iron and Steel Works»; Chelyabinsk region, Magnitogorsk

**A.N. Smirnov**, doctor of physical and mathematical sciences, head of the department of physical chemistry and chemical technology of the Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosov; Chelyabinsk region, Magnitogorsk

e-mail: sman@magtu.ru

**D.I. Alekseev**, junior researcher of LLC «Kompas-MGTU»; Chelyabinsk region, Magnitogorsk

**Summary.** Formation or assessment of the periods of work of a production object on the most significant technology factors exerting impact on quality of production (or the output), allows to bring closer as much as possible when using mathematical models the received results to working conditions. It allows to evaluate the received factors as significant (or steady). On the example of operation of the KHP coke batteries and coal preparatory shop of JSC MMK the following functionally independent structures are selected: «quality of the made production», «productivity of the coke battery», «the characteristic of the initial raw materials», «caking», «a ballast level in a product», «meteorological influence». Existence of correlation between the figures of merit of  $M_{25}$  coke and  $M_{10}$  coke and parameters entering into structure «quality of the made production» is set: amount of otoshchayushchikh components (furnace charge grinding level, index of reflection of a vitrinit, plastometrical shrinkage). On burdening and technological parameters mathematical models for prediction of figures of merit of  $M_{25}$  coke and  $M_{10}$  coke will be constructed for each coke battery. The community of the conclusions drawn by means of factor analysis for KHP JSC MMK in this operation and the adaptive model for KHP JSC ZSMK is shown.

**Keywords:** simulation problems, structural model, the adaptive model, factor analysis, coke battery, functionally independent structures of operation of the coke battery, burdening and technological parameters, figures of merit of  $M_{25}$  coke and  $M_{10}$  coke, a mathematical model for prediction of figures of merit of coke.

### References:

1. Evtushenko V.F. Construction and a research of an algorithm of forecasting of indicators of quality of coke taking into account dynamics of uncontrollable indignations. *Coke and chemistry*. 1996. No. 6. pp. 21–26.
2. Smirnov A.N., Petukhov V.N., Alekseev D.I. The analysis of the principles of creation of mathematical models for forecasting of indicators of quality of  $M_{25}$  coke and  $M_{10}$  coke for the purpose of classification and

development of the concept of hybrid model. *Coke and chemistry*. 2015. No. 5. pp. 13–18.

3. Stankevich A.S., Stankevich V.S. Determination of technological value of the coals used for production of coke. *Coke and chemistry*. 2011. No. 6. pp. 2–10.

4. Stankevich A.S., Stankevich V.S. Metodik of definition of a koksuyemost and technological value of coals of layers and their mixes. *Coke and chemistry*. 2012. No. 1. pp. 4–12.

5. Stankevich A.S., Bazegskiy A.E. Optimization of quality of coke of JSC «EVRAZ of ZSMK» taking into account features of a coal source of raw materials. *Coke and chemistry*. 2013. No. 10. pp. 14–21.

6. Eremin I.V., Gagarin S.G. Calculation of furnace charges for coking on the basis of petrographic model. *Coke and chemistry*. 1992. No. 12. pp. 9–15.

7. Gagarin S.G., Eremin I.V. Computer monitoring of durability of coke on the basis of petrographic model of calculation of coal furnace charges. *Coke and chemistry*. 1995. No. 2. pp. 10–15.

8. Braverman E.M., Muchnik I.B. Structural methods of processing of empirical data. «Science». 1983. Moscow, 464 p.

9. Korobov E.A., Ivashkov I.V., Gataullin R.G. About maintenance of production capacity of coke batteries of JSC MMK. *Coke and chemistry*. 2011. No. 12. pp. 30–32.

10. Uokenbakh, John. Excel 2010: professional programming on VBA. LLC «I.D. Williams». 2012. Moscow, 944 p.

11. Okun Ya. Factorial analysis. «Statistics». 1974. Moscow, 200 p.

12. Dubrov A.M., Mkhitaryan V.S., Troshin L.I. Multidimensional statistical methods. *Textbook. Finance and statistics*, 2000. Moscow, 325 p.

13. D. Louli, A. Maxwell. Factorial analysis as statistical method. «World». 1967. Moscow, 145 p.

14. Stankevich A. S. Change of properties of partially oxidized coals at storage. *Coke and chemistry*. 1987. No. 5. pp. 4–6.

15. Vukolov E.A. Bases of the statistical analysis. Workshop on statistical methods and research of operations with use of STATISTICA and EXCEL packages. *Manual, the 2nd. edition. FORUM*. 2008. Moscow, 464 p.

16. Kotlyarov E.I., Kornilov V.A. Reference book of a koksokhimik. Volume 6. Economy, organization and management of the coke-chemical enterprise. «INZhEK» publishing House. 2010. Kharkiv, 320 p.

17. Gofman M.V. Application-oriented chemistry of solid fuel. 1963. Moscow.

18. Borisov L.N., Shapoval Yu.G. Reference book of a koksokhimik. Volume 1. Coals for coking. Enrichment of coals. Preparation of coals for coking. «INZhEK» publishing House. 2010. Kharkov, 536 p.

19. Royzen L.S. Results of a conference of heads of the coke-chemical enterprises of the Russian Federation. *Coke and chemistry*. 2014. No. 9. pp. 8–24.

20. Influence of technology factors of process of coking on the content of carbon in coke. *Coke and chemistry*. 2011. No. 12. pp. 27–29.

21. Shelkov A.K. Reference book of a koksokhimik. Volume 2. Production of coke. «Metallurgy». 1965. Moscow.

22. Stankevich A.S., Smelyanskiy A.Z., Berkutov N.A. Rational distribution of coals and optimization of composition of furnace charges for coking. *Coke and chemistry*. 2003. No. 9. pp. 8–16.