

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

DOI: 10.26730/1999-4125-2020-3-19-26

УДК 662.749.2

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ВЫХОДОМ ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ КОКСОВАНИЯ И ПЕТРОГРАФИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ УГЛЕЙ

RELATIONSHIP BETWEEN YIELD OF COKING CHEMICAL PRODUCTS AND PETROGRAPHIC CARBON FEATURES

Федорова Наталья Ивановна¹

канд. хим. наук, e-mail: FedorovaNI@iccms.sbras.ru

Natalia I. Fedorova¹, C.Sc. in Chemistry, leading researcher,

Исмагилов Зинфер Ришатович^{1,2}

академик РАН, заведующий кафедрой, e-mail: Zinfer1@mail.ru

Zinfer R. Ismagilov^{1,2}

Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of Department

¹Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,
650000, Россия, г. Кемерово, Советский пр., 18

¹Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS, 650000, Kemerovo, 18, pr. Sovietsky,
Russian Federation

²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,
г Кемерово, ул. Весенняя, 28

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St, Kemerovo, 650000, Russian
Federation

Аннотация:

Актуальность работы определяется тем, что выход основных продуктов коксохимического производства является важнейшим фактором, определяющим технико-экономические показатели производства. Прогнозирование выхода продуктов коксования из угольного сырья необходимо как при проектировании новых коксохимических предприятий, так и для оценки работы действующих производств.

В данной работе представлены результаты исследования взаимосвязи между выходом химических продуктов коксования и петрографическими особенностями углей.

В качестве объектов исследования использовались девять образцов коксующихся углей технологической марки Ж (жирные), которые были охарактеризованы по данным технического, элементного и петрографического анализов. Установлено, что среди образцов одной марки наблюдаются различия по содержанию углерода, водорода, выхода летучих веществ, а также различия в значениях показателей отражения витринита.

Проведен анализ применимости эмпирических формул для расчета выхода химических продуктов коксования углей по их классификационным параметрам (выход летучих веществ, толщина пластического слоя) и петрографическим показателям (показатель отражения витринита, сумма отоцеающих компонентов). Выявлена корреляционная связь между значениями выхода основных химических продуктов коксования, рассчитанных по модели на основе результатов петрографического анализа, и индексом химического потенциала.

Ключевые слова: уголь, выход летучих веществ, элементный и петрографический анализы, выход химических продуктов коксования.

Abstract:

The relevance of the work is determined by the fact that the yield of the main products of coking-chemical production is the most important factor determining the technical and economic indicators of production. Prediction of the yield of coking products from coal raw materials is necessary both for designing of new coke and chemical enterprises, and for evaluation of the operation of existing plants.

This paper presents the results of a study of the relationship between the yield of chemical coking products and the petrographic characteristics of coal.

Nine samples of coking coals of technological grade Ж (fatty), which were characterized by the data of technical, elemental, and petrographic analyses, were used as objects of the study. It was established that among the samples of the same brand, differences were observed in the carbon content, hydrogen, and yield of volatile substances and in the values of vitrinite reflection indices.

The analysis of the applicability of empirical formulas for calculating the yield of chemical products of coal coking by their classification parameters (yield of volatiles, thickness of the plastic layer) and petrographic indicators (reflection coefficient of vitrinite, the sum of thinning components) was carried out. A correlation relationship was found between the yield values of the main chemical products of coking calculated according to the model based on the results of petrographic analysis and the index of chemical potential.

Key words: coal, volatiles yield, elemental and petrographic analyses, chemical coking products yield.

При оценке технологической ценности углей большое значение имеет их «химический потенциал». Понятие «химического потенциала» угля включает разнообразие структурно-химических особенностей органической массы углей, обуславливающее потенциальную возможность получения при их переработке по той или иной технологии широкого спектра химических продуктов, характеризующихся определенной потребительской ценностью [1,2]. В коксовом производстве «химический потенциал» углей реализуется в виде «химического крыла» процесса, когда при переработке побочных продуктов коксования углей – смолы, сырого бензола и газа – получают как товарную продукцию различного назначения, так и разнообразное углехимическое сырье для химической промышленности [2].

Выход основных продуктов коксохимического производства является важнейшим фактором, определяющим технико-экономические показатели производства. Прогнозирование выхода продуктов коксования из угольного сырья необходимо как при проектировании новых коксохимических предприятий, так и для оценки работы действующих производств [3,4].

В современных условиях для коксохимической промышленности к числу наиболее острых проблем относят снижение качества угольного сырья и дефицит коксующихся марок углей [5,6]. Следовательно, необходимы исследования, направленные на определение технологической ценности углей, используемых для коксования, учитывающие как характеристики спекаемости и коксуетности, так и собственно их «химический потенциал», то есть возможность образования при их коксовании не только металлургического кокса, но и химических продуктов: смолу, бензол, газ и др.

До настоящего времени планирование

объемов производств коксохимической продукции осуществляется преимущественно в соответствии с методическими рекомендациями, где в качестве параметра, применяемого в прогнозирующих уравнениях, используется показатель выхода летучих веществ (V^{daf}) из шихты, что теоретически вполне оправдано [7,8]. Выход летучих веществ представляется одним из классификационных параметров углей для коксования, характеризует их термическую стойкость, а также стойкость первичных продуктов парогазовой фазы, отражая в определенной мере химический состав и строение углей [9-11]. Авторы в работе [12] для оценки выхода различных продуктов коксования рекомендуют использовать регрессионные уравнения (при коэффициенте корреляции $r > 0,9$), учитывающие показатель V^{daf} углей и толщину пластического слоя y :

выход кокса ($r = 0,982$)

$$B_{\kappa} = 96,093 - 0,6823 V^{daf} + 0,00263 V^{daf} y; \quad (1)$$

выход смолы ($r = 0,943$)

$$B_{\text{см}} = -2,656 + 0,2919 V^{daf} - 0,00237 (V^{daf})^2; \quad (2)$$

выход бензола ($r = 0,950$)

$$B_{\text{б}} = -0,152 + 0,04372 V^{daf} + 0,00654 y; \quad (3)$$

выход газа ($r = 0,926$)

$$B_{\text{г}} = 4,097 + 0,26851 V^{daf} - 0,00112 V^{daf} y; \quad (4)$$

выход диоксида углерода ($r = 0,921$)

$$B_{\text{CO}_2} = 0,297 + 0,00142 (V^{daf})^2 - 0,00232 V^{daf} y + 0,00126 y^2; \quad (5)$$

выход пирогенетической влаги ($r = 0,792$)

$$B_{\text{H}_2\text{O}} = -0,68035 + 0,2265 V^{daf} - 0,00112 V^{daf} y. \quad (6)$$

Высокие значения коэффициентов корреляции ($> 0,9$) свидетельствуют о весьма тесной зависимости выходов химических продуктов коксования от классификационных параметров в виде выхода летучих веществ (V^{daf}) и толщины пластического слоя (y). Можно предположить, что фактический диапазон изменения суммы отошающих компонентов в исследованных углях изменялся незначительно,

Таблица 1. Места отбора угольных проб марки Ж
Table 1. Coal Sampling Locations

Код образца угля	Место отбора пробы
1	Шахта «Костромовская»
2	Шахта «Чертинская-Коксовая», пласт 5
3	Шахта «Чертинская-Южная»
4	Шахта «Чертинская-Коксовая», пласт 4
5	Шахта «Чертинская-Коксовая», пласт 5
15	Шахта им. Тихова, пласт 23
55	Шахта «Есаульская», пласт 26
56	Шахта «Юбилейная»
60	Шахта «Осинниковская», пласт Елбанский

Таблица 2. Характеристика исследованных образцов углей
Table 2. Characteristics of the investigated coal samples

Код образца	Технический анализ, %			Элементный состав, % на <i>daf</i>			Атомное отношение	
	<i>W^a</i>	<i>A^d</i>	<i>V^{daf}</i>	С	Н	(O+N+S)	Н/С	О/С
1	0,8	3,9	37,4	85,7	6,0	8,3	0,84	0,07
2	0,8	9,4	33,8	87,3	5,7	7,0	0,78	0,06
3	0,8	9,3	33,7	87,2	5,6	7,2	0,77	0,06
4	1,4	7,4	37,7	85,7	6,0	8,3	0,84	0,07
5	0,6	6,3	35,8	85,6	5,8	7,7	0,81	0,07
15	1,4	6,5	34,3	86,5	5,7	7,8	0,79	0,07
55	1,0	4,9	36,8	85,8	5,9	8,3	0,83	0,07
56	0,8	9,9	35,0	86,8	5,7	7,5	0,79	0,06
60	0,7	4,9	33,2	86,9	5,6	7,5	0,77	0,06

что не оказывало заметного влияния на выход химических продуктов коксования. Однако в условиях повышенного содержания петрографически неоднородных углей в составе шихты современных производствах точность прогноза выхода кокса и основных химических продуктов коксования только по величине выхода летучих веществ представляется недостаточной [13,14]. Прежде всего это связано с тем, что некоторые угли, имеющие одинаковый выход летучих веществ, могут при этом характеризоваться различным петрографическим составом. Например, большее содержание фюзенизированных компонентов в углях при одном уровне выхода летучих веществ приводит к увеличению выхода из них кокса и газообразных продуктов [15,16]. Следовательно, для прогноза выхода продуктов коксования целесообразно использовать результаты петрографического анализа используемого угольного сырья.

Авторы в работе [3] предлагают следующие эмпирические зависимости выхода различных продуктов, учитывающие показатель отражения витринита $R_{o,r}$ и сумму отошающих компонентов $\sum OK$ в угле (в составе шихты):

$$V_K = 15,283 R_{o,r} - 0,0188 \sum OK + 60,363; \quad (7)$$

$$V_{CM} = -3,8481 R_{o,r} - 0,00182 \sum OK + 8,25; \quad (8)$$

$$V_B = -1,048 R_{o,r} - 0,0009 \sum OK + 2,4366; \quad (9)$$

выход газа ($r = 0,930$)

$$V_G = -4,2286 R_{o,r} - 0,0571 \sum OK + 16,1091; \quad (10)$$

выход диоксида углерода ($r = 0,921$)

$$V_{CO_2} = -1,9218 R_{o,r} - 0,0039 \sum OK + 2,8815; \quad (11)$$

выход пирогенетической влаги ($r = 0,884$)

$$V_{H_2O} = -2,6687 R_{o,r} - 0,0234 \sum OK + 6,8085. \quad (12)$$

Представляется целесообразным, используя приведенные выше уравнения, определить возможный диапазон изменения выхода химических продуктов коксования в ряду углей одной марки, используя как величину выхода летучих веществ и толщину пластического слоя, так и петрографические показатели – показатель отражения витринита $R_{o,r}$ и сумму отошающих компонентов $\sum OK$.

В качестве объектов исследования использовались пластовые пробы углей технологической марки Ж (жирный), отобранные на различных угледобывающих предприятиях Кузбасса (таблица 1). Жирные угли относятся к особо ценным коксующимся углям, являются основным угольным сырьем при производстве металлургического кокса, входя в шихту для коксования в качестве «спекающей основы».

Технический анализ углей проводили стандартными методами. Состав органической массы углей определяли методами элементного анализа. Содержание азота в углях определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 28743-93 «Топливо твердое минеральное. Методы определения азота».

Расчет индекса «химического потенциала»

Таблица 3. Петрографический состав исследованных проб углей
Table 3. Petrographic composition of the studied coal samples

Код образца угля	у, мм	Петрографические параметры, %				Показатель отражения витринита	
		V_t	S_v	I	ΣOK	$R_{o,r}, \%$	σ_R
1	29	90	1	9	10	0,836	0,04
2	27	80	3	17	19	0,961	0,04
3	29	83	4	13	16	0,964	0,05
4	28	88	1	11	12	0,825	0,05
5	25	75	4	21	24	0,891	0,07
15	30	84	4	12	14	0,971	0,04
55	28	88	1	11	12	0,854	0,05
56	26	80	3	17	19	0,923	0,04
60	28	83	4	13	16	0,982	0,04

Таблица 4. Расчетные показатели выхода химических продуктов коксования

Table 4. Estimated yield of chemical coking products

Код образца угля	Выход химических продуктов коксования (daf), %					
	V_K	V_{CM}	V_B	V_T	V_{CO_2}	V_{H_2O}
по уравнениям (1) – (6)						
1	73,43	4,95	1,67	12,92	1,53	5,47
2	75,43	4,50	1,50	12,15	1,24	5,08
3	75,67	4,49	1,51	12,05	1,07	5,07
4	73,15	4,98	1,68	13,04	1,66	5,50
5	74,02	4,76	1,58	12,71	1,66	5,30
15	75,40	4,57	1,54	12,15	1,06	5,14
55	73,69	4,88	1,64	12,82	1,54	5,41
56	74,61	4,66	1,55	12,48	1,47	5,21
60	75,80	4,42	1,48	12,01	1,17	5,01
по уравнениям (7) – (12)						
1	72,95	5,01	1,55	12,00	1,24	4,34
2	74,69	4,52	1,41	10,96	0,96	3,80
3	74,80	4,51	1,41	11,12	0,97	3,86
4	72,75	5,05	1,56	11,94	1,25	4,33
5	73,53	4,78	1,48	10,97	1,08	3,87
15	74,94	4,49	1,41	11,20	0,96	3,89
55	73,19	4,94	1,53	11,81	1,19	4,25
56	74,11	4,66	1,45	11,12	1,03	3,90
60	75,07	4,44	1,39	11,04	0,93	3,81
Среднее отклонение	0,57	-0,02	0,11	1,13	0,31	1,24

углей ($Z_{хим}$) проводили по уравнению, предложенному авторами в работах [2,16]

$$Z_{хим} = (H^{daf})^{0,92}(N^{daf})^{0,14}(S^{daf})^{0,1}$$

где H^{daf} , N^{daf} , S^{daf} – содержание водорода, азота и серы на сухую беззольную массу, %.

Толщину пластического слоя u определяли по ГОСТ 1186-2014 «Угли каменные. Метод определения пластометрических показателей».

Петрографический анализ выполняли на автоматизированном комплексе оценки марочного состава углей системы «SIAMS-620» (Россия) в среде масляной иммерсии. Подсчет микрокомпонентов производился автоматически при 300-кратном увеличении в отраженном свете.

Характеристика исследованных проб углей приведена в таблицах 2 и 3. Анализ приведенных

данных показал, что внутри одной марки наблюдаются расхождения по содержанию углерода и водорода, выхода летучих веществ и в значениях показателей отражения витринита (таблица 3). Зольность (A^d) исследованных образцов не превышает 10,0%. Выход летучих веществ (V^{daf}) колеблется от 33,2 (образец №60) до 37,7% (образец №4). Содержание общей серы (S_t^{daf}) не превышает величины 0,6%. Максимальное содержание азота ($N^{daf} = 2,6\%$) определено в образцах №55 и №56. Показатель отражения витринита ($R_{o,r}$) изменяется от 0,825% (образец №4) до 0,982% (образец №60) (см. табл. 3). Все исследуемые образцы имеют в своем составе витринизированные компоненты – более 75%. Наибольшее количество отошающих компонентов

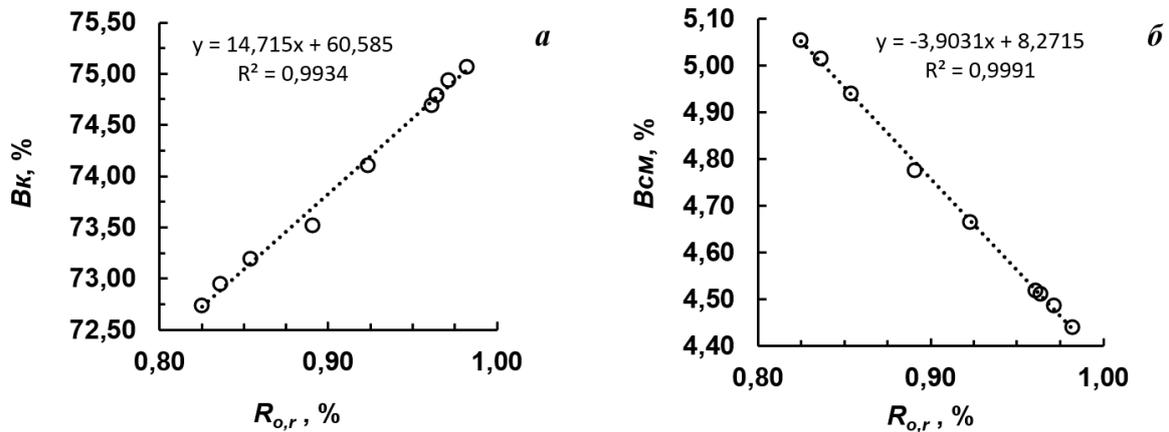


Рис. 1. Взаимосвязь показателя отражения витринита $R_{o,r}$ с расчетной величиной выхода кокса B_k (а) и смолы $V_{см}$ (б) из исследованных углей

Fig. 1. The relationship of the reflection index of vitrinite $R_{o,r}$ with the calculated value of the yield of coke B_k (a) and resin $V_{см}$ (b) from the studied coals

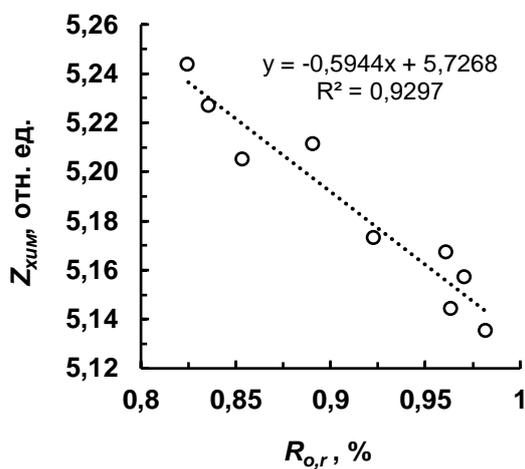


Рис. 2. Взаимосвязь между показателем отражения витринита $R_{o,r}$ и индексом химического потенциала $Z_{хим}$ для исследованных углей

Fig. 2. The relationship between the reflection index of vitrinite $R_{o,r}$ and the chemical potential index $Z_{хим}$ for investigated coal

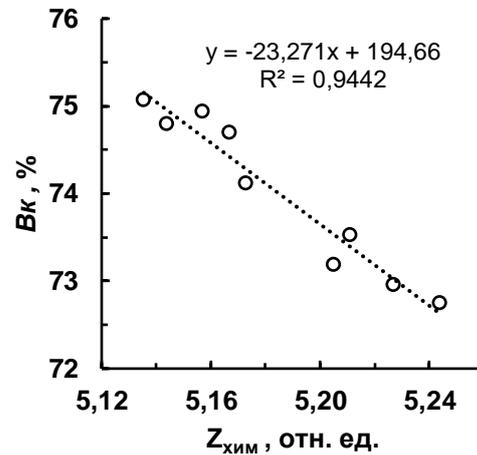


Рис. 3. Зависимость расчетного значения выхода кокса B_k от индекса химического потенциала $Z_{хим}$ исследованных углей

Fig. 3. Dependence of the calculated value of the coke yield B_k on the chemical potential index $Z_{хим}$ of the studied coals

определено в образце №5 ($\sum OK = 24\%$).

Значения выхода химических продуктов коксования из исследуемых углей, рассчитанные по уравнениям, учитывающие показатель V^{daf} углей и толщину пластического слоя y (уравнения 1-6), а также на основе показателя отражения витринита $R_{o,r}$ и суммы отошающих компонентов $\sum OK$ в угле (уравнения 7-12), приведены в таблице 4.

Исследуемые образцы углей марки Ж обладают различным петрографическим составом, характеризуются различным элементарным составом (таблицы 1 и 2) и, как следствие, различным выходом химических продуктов коксования. Выход кокса с ростом показателя отражения

витринита ($R_{o,r}$) увеличивается, а выход химических продуктов уменьшается (рис.1).

Зависимость индекса «химического потенциала» ($Z_{хим}$) исследованных углей от показателя отражения витринита ($R_{o,r}$) приведена на рис. 2. Видно, что с ростом показателя отражения витринита углей величина их индекса $Z_{хим}$ снижается. При этом показатель химического потенциала $Z_{хим}$ достаточно значимо коррелирует с расчетными значениями выхода продуктов коксования, рассчитанных по уравнениям на основе результатов петрографического анализа (рис. 3,4). Графические зависимости показывают, что с увеличением показателя $Z_{хим}$ выход кокса снижается, при этом выход химических продуктов

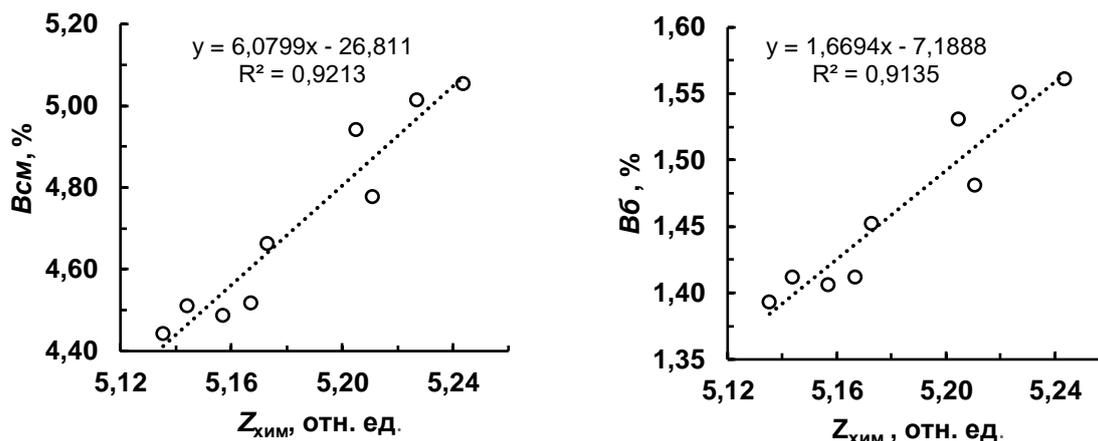


Рис. 4. Зависимость расчетного значения выхода смолы $V_{СМ}$ (а) и выхода бензола $V_{Б}$ (б) от индекса химического потенциала $Z_{хим}$ исследованных углей

Fig. 4. Dependence of the calculated value of the $V_{СМ}$ resin yield (a) and $V_{Б}$ (b) benzene yield on the chemical potential index $Z_{хим}$ of the studied coals

(смолы, бензола) увеличивается.

Средние отклонения расчетных параметров выходов химических продуктов коксования, выполненных по обоим моделям, приведены в табл. 4. Оценив полученные значения, можно констатировать, что среднее отклонение при прогнозе выхода кокса (V_k) составляет 0,57%, смолы ($V_{СМ}$) – 0,02%, бензола ($V_{Б}$) – 0,11%, диоксида углерода (V_{CO_2}) – 0,31%, что не превышает допустимые погрешности при определении выхода химических продуктов коксования по ГОСТ 18635-73 «Угли каменные. Метод определения выхода химических продуктов коксования». Отклонение более 1,0% установлено при определении выхода газа (V_r) и выхода воды (V_{H_2O}). Следовательно, можно заключить, что приведенные эмпирические уравнения можно использовать для оперативного прогнозирования выхода кокса и основных химических продуктов коксования. Однако с учетом того фактора, что в производственных условиях прогноз выхода кокса и химических продуктов коксования осуществляется систематически, представляется

целесообразным прогнозировать выход основных продуктов коксования по данным петрографического исследования углей, которое включено в схему контроля качества поступающих на заводы углей на постоянной основе.

Таким образом, проведен анализ применимости эмпирических уравнений для расчета выхода химических продуктов коксования углей по их классификационным параметрам (выход летучих веществ, толщина пластического слоя) и петрографическим показателям (показатель отражения витринита, сумма отошающих компонентов). Анализ полученных данных показал, что использование обоих видов уравнений позволяет с достаточной точностью рассчитывать выход химических продуктов коксования. Полученные результаты в целом важны и могут быть рекомендованы для оперативного прогнозирования выхода кокса и основных химических продуктов коксования в зависимости от петрографических показателей в лабораторных и производственных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гюльмалиев, А.М. Классификация горючих ископаемых по структурно-химическим показателям и основные пути использования ископаемых углей. / А.М. Гюльмалиев, Г.С. Головин, С.Г. Гагарин. – М.: НТК «Трек», 2007. – 152 с.
2. Гагарин, С.Г. Оценка химического потенциала углей // Кокс и химия, 2000. – №1. – С. 30-34.
3. Разработка количественных зависимостей прогноза выхода кокса и основных химических продуктов коксования / В.Н. Рубчевский [и др.] // Кокс и химия, 2009. – №4. – С. 11-16.
4. Гребенюк, А.Ф. О методиках прогнозирования выхода продуктов коксования / А.Ф. Гребенюк, Е.И. Збыковский, А.И. Збыковский // Кокс и химия, 2004. – №11. – С. 20-24.

5. Станкевич, А.С. Определение технологической ценности углей на основе математической модели прогноза показателей прочности и реакционной способности кокса из шихт с их участием / А.С. Станкевич, Ю.А. Золотухин // Кокс и химия, 2015. – №7. – С. 2-14.
6. Иванов В.П. Комплексная оценка коксующихся свойств и ценности ископаемых углей для производства доменного кокса // Кокс и химия, 2018. – №2. – С. 2-10.
7. Справочник коксохимика. Т2. М.: Metallurgija, 1965. 288 с.
8. Сухоруков, В.И. О выходе кокса в промышленных условиях / В.И. Сухоруков, Ю.В. Степанов // Кокс и химия, 2001. – №3. – С. 36-44.
9. Золотухин, Ю.А. О взаимосвязи показателя отражения витринита углей, смесей углей и шихт с некоторыми характеристиками их качества // Кокс и химия, 2018. – №4. – С. 14-28.
10. Assessing thermal maturity beyond the reaches of vitrinite reflectance and Rock-Eval pyrolysis: A case study from the Silurian Qusaiba formation / S. Cheshire [et al.] // International Journal of Coal Geology, 2017. – №180. – P.29-45.
11. Burnham, Alan K. Kinetic models of vitrinite, kerogen, and bitumen reflectance // Organic Geochemistry, 2019. – №131. – P.50-59.
12. Химический потенциал различных типов углей в классификации по генетическим и технологическим параметрам / И.Д. Дроздник [и др.] // Кокс и химия, 1990. – №8. – С. 2-3.
13. Головкин, М.Б. Современное состояние вопроса прогнозирования выхода кокса и основных продуктов коксования / М.Б. Головкин, Д.В. Мирошниченко, Ю.С. Кафтан // Кокс и химия, 2011. – №9. – С. 45-52.
14. Мирошниченко, Д.В. Прогноз выхода химических продуктов коксования по данным элементного и петрографического анализов угля / Д.В. Мирошниченко, М.Б. Головкин // Кокс и химия, 2014. – №3. – С. 32-43.
15. Артемьев, В.Б. Петрография углей и их эффективное использование / В.Б. Артемьев, И.В. Еремин, С.Г. Гагарин. – М.: Недра, 2000. – 334 с.
16. Природный потенциал ископаемых углей. Рациональное использование их органического вещества. Часть 2. / М.И. Щадов [и др.]. – М.: «Недра коммюникейшнс ЛТД», 2000. – 413 с.

REFERENCES

1. Gjul'maliev, A.M. Klassifikacija gorjuchih iskopaemyh po strukturno-himicheskim pokazateljam i osnovnye puti ispol'zovanija iskopaemyh uglej. / A.M. Gjul'maliev, G.S. Golovin, S.G. Gagarin. – М.: NTK «Трек», 2007. – 152 s.
2. Gagarin, S.G. Ocenka himicheskogo potenciala uglej // Koks i himija, 2000. – №1. – S. 30-34.
3. Razrabotka kolichestvennyh zavisimostej prognoza vyhoda koksa i osnovnyh himicheskix produktov koksovaniya / V.N. Rubchevskij [i dr.] // Koks i himija, 2009. – №4. – S. 11-16.
4. Grebenjuk, A.F. O metodikah prognozirovanija vyhoda produktov koksovaniya / A.F. Grebenjuk, E.I. Zbykovskij, A.I. Zbykovskij // Koks i himija, 2004. – №11. – S. 20-24.
5. Stankevich, A.S. Opredelenie tehnologicheskoy cennosti uglej na osnove ma-tematicheskoy modeli prognoza pokazatelej prochnosti i reakcionnoj sposobnosti koksa iz shiht s ih uchastiem / A.S. Stankevich, Ju.A. Zolotuhin // Koks i himija, 2015. – №7. – S. 2-14.
6. Ivanov V.P. Kompleksnaja ocenka koksujushhihsja svojstv i cennosti iskopae-myh uglej dlja proizvodstva domennogo koksa // Koks i himija, 2018. – №2. – S. 2-10.
7. Spravochnik koksohimika. T2. М.: Metallurgija, 1965. 288 s.
8. Suhorukov, V.I. O vyhode koksa v promyshlennyh uslovijah / V.I. Suhoru-kov, Ju.V. Stepanov // Koks i himija, 2001. – №3. – S. 36-44.
9. Zolotuhin, Ju.A. O vzaimosvjazi pokazatelja otrazhenija vitrinita uglej, sme-sej uglej i shiht s nekotorymi harakteristikami ih kachestva // Koks i himija, 2018. – №4. – S. 14-28.
10. Assessing thermal maturity beyond the reaches of vitrinite reflectance and Rock-Eval pyrolysis: A case study from the Silurian Qusaiba formation / S. Cheshire [et al.] // In-ternational Journal of Coal Geology, 2017. – №180. – R.29-45.

11. Burnham, Alan K. Kinetic models of vitrinite, kerogen, and bitumen reflectance // *Organic Geochemistry*, 2019. – №131. – R.50-59.
12. Himicheskij potencial razlichnyh tipov uglej v klassifikacii po geneti-cheskim i tehnologicheskim parametram / I.D. Drozdnic [i dr.] // *Koks i himija*, 1990. – №8. – S. 2-3.
13. Golovko, M.B. Sovremennoe sostojanie voprosa prognozirovanija vyhoda koxsa i osnovnyh produktov koksovanija / M.B. Golovko, D.V. Miroshnichenko, Ju.S. Kaftan // *Koks i himija*, 2011. – №9. – S. 45-52.
14. Miroshnichenko, D.V. Prognoz vyhoda himicheskix produktov koksovanija po dannym jelementnogo i petrograficheskogo analizov uglja / D.V. Miroshnichenko, M.B. Golovko // *Koks i himija*, 2014. – №3. – S. 32-43.
15. Artem'ev, V.B. Petrografija uglej i ih jeffektivnoe ispol'zovanie / V.B. Artem'ev, I.V. Eremin, S.G. Gagarin. – M.: Nedra, 2000. – 334 s.
16. Prirodnij potencial iskopaemyh uglej. Racional'noe ispol'zovanie ih organicheskogo veshhestva. Chast' 2. / M.I. Shchadov [i dr.]. – . M.: «Nedra kommjunikejshns LTD», 2000. – 413 s.

Поступило в редакцию 29.05.2020
Received 29 May 2020