

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

**ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА
И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
CHEMICAL TECHNOLOGY OF FUEL
AND HIGH-ENERGY SUBSTANCES**

Научная статья

УДК 662.749

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-79-85

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
КАМЕННЫХ УГЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МАРКИ ГЖ**

Федорова Наталья Ивановна

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН

*для корреспонденции: FedorovaNI@iccms.sbras.ru

**Информация о статье**

Поступила:

13 мая 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

25 июля 2024 г.

Принята к публикации:

29 августа 2024 г.

Опубликована:

26 сентября 2024 г.

Ключевые слова:

каменный уголь, коксование, спекаемость, термогравиметрический анализ, ^{13}C ЯМР-спектроскопия

Аннотация.

Актуальность проведенной работы обоснована необходимостью определения технологических свойств коксующихся углей для обеспечения возможности разработки оптимального состава шихты при получении коксовой продукции требуемого качества.

Цель проведенного исследования – установить различия технологических и физико-химических свойств углей среди образцов одной марки.

В качестве объектов исследования использовалось 6 образцов пластовых проб углей технологической марки ГЖ, отобранных на различных угледобывающих предприятиях Кузбасса. Данные образцы являются угольным сырьем при производстве металлургического кокса и входят в шихту для коксования в качестве «спекающей основы».

Анализ полученных данных показал, что среди исследованных образцов наблюдаются различия по содержанию углерода, водорода, выхода летучих веществ, а также в значениях показателей отражения витринита и в технологических показателях спекаемости. Установлено, что показатель отражения витринита $R_{o,r}$ увеличивается в ряду угольных образцов от 0,77 до 0,91%, толщина пластического слоя u изменяется от 13 мм до 19 мм.

Физико-химическими анализами (ЯМР-спектроскопия, термогравиметрический анализ) установлено, что испытываемые образцы характеризуются различными показателями ароматичности f_a и, как следствие, различной термостойкостью их органической массы.

Полученные результаты важны, так как позволяют составить более полное представление о технологической ценности исследованных образцов углей.

Для цитирования: Федорова Н.И. Анализ технологических и физико-химических свойств каменных углей технологической марки ГЖ // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 4 (164). С. 79-85. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-79-85, EDN: MXHORY

Наибольшее значение для российской промышленности по своим масштабам, разнообразию и ценности получаемых продуктов имеет коксование (конечная температура 1000–1050°C), являющееся основным процессом

химической переработки твердого топлива. Основным продуктом данного процесса является кокс, 80% которого идет в доменные печи для выплавки чугуна и стали [1-5].

Прогноз роста потребности экономики нашей страны в металлопродукции способствует росту потребности в коксе и, следовательно, в угольном сырье. Для производства металлургического кокса применяют каменные угли определенного типа – средней стадии метаморфизма, обладающие рядом специфических свойств, присущих только спекающимся и коксующимся углям. Известно, что на формирование свойств кокса существенно влияет доленое участие в шихте для коксования углей разных марок [6,7]. Состав угольных шихт подбирают с учетом спекаемости, выхода летучих веществ, содержания витринита в концентратах и его показателя отражения. По результатам многолетних исследований и опыту составления угольных шихт введено понятие критерия *оптимальности* [7-11]. Принято, что показатели качества оптимальной шихты должны быть на уровне: $R_{o,r} \geq 1,125\%$; $V_t \geq 65\%$; $V^d \geq 25\%$; $y > 14$ мм; $SI \geq 6$.

Качество кокса является определяющим фактором в технологии доменной плавки независимо от того, работают ли доменные печи с использованием пылеугольного топлива или без него. В настоящее время к основным показателям качества кокса относят индекс реакционной способности (*CRI*) и прочность остатка кокса после реакции с CO_2 (*CSR*). Одним из требований к показателям качества кокса является уменьшение индекса реакционной способности (*CRI*) с 30-35 до 17-25% и повышение показателя прочности остатка кокса после реакции с CO_2 (*CSR*) с 48-53 до 60-70% [12-15]. Чтобы достичь таких показателей, коксохимические предприятия должны использовать высококачественные коксующие угли с определенным петрографическим и минеральным составом, а также с низким содержанием общей серы.

Надежную оценку свойств угольного сырья обеспечивают параметры единой классификации по ГОСТ 25543–2013. Совокупность углей, близких по генетическим особенностям, структурным характеристикам и химико-технологическим свойствам, объединена в марки, группы и подгруппы, которые отражают особенности углей и как природного объекта, и как промышленного сырья. В то же время каждая марка включает угли с достаточно широким диапазоном значений классификационных показателей (показатель отражения витринита $R_{o,r}$, сумма фюзенизированных компонентов ΣOK , выход летучих веществ V^{daf} , толщина пластического слоя y), как следствие, они имеют определенные различия свойств. Представляется целесообразным определить диапазон подобных изменений посредством комплексного исследования физико-химических и

технологических свойств углей в ряду одной марки.

В качестве объектов исследования использовались 6 образцов пластовых проб углей технологической марки ГЖ, отобранные на различных угледобывающих предприятиях Кузбасса. Данные образцы относятся к коксующимся углям, являются угольным сырьем при производстве металлургического кокса и входят в шихту для коксования в качестве «спекающей основы».

Технический анализ проводили стандартными методами. Состав органической массы определяли методами элементного анализа.

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

Для оценки спекаемости исследованных образцов угля определяли индекс свободного вспучивания *SI* по ГОСТ 20330-91, индекс Ro_g *RI* по ГОСТ 9318-91, толщину пластического слоя y по ГОСТ 1186-87.

Термический анализ проводили на термоанализаторе фирмы Netzsch STA 409 в следующих условиях: масса образца 40 мг; тигель платиново-иридиевый; нагрев до 1000°C со скоростью 10°C/мин в среде гелия. В ходе анализа регистрировали потерю массы (ТГ) и скорость потери массы (ДТГ). Температурный интервал основной термической деструкции на кривой ТГ устанавливали, используя метод касательных с помощью программного обеспечения Netzsch Proteus. Для характеристики термического разложения использовали показатели: T_1 – температура начала потери массы, определяемая по началу перегиба кривой ТГ; T_{max} – температура, при которой достигается максимальная скорость пиролиза, определяемая по кривой ДТГ; V_{max} – максимальная скорость в точке перегиба кривой ДТГ; T_2 – конечная температура основной потери массы.

^{13}C ЯМР-спектры высокого разрешения в твердом теле регистрировались на приборе Bruker Avance III 300 WB с использованием стандартной методики кросс-поляризации с вращением под магическим углом и развязкой от протонов (CPMAS) при частоте 75 МГц. Время контакта 1500 мкс, накопление 4096 сканов, задержка между сканами 2 с, частота вращения образца 5 кГц. Для получения количественных данных проводилось моделирование спектров при помощи программы Dmfit. На спектрах выделялись диапазоны, соответствующие резонансному поглощению следующих групп углеродных атомов, м.д.: 187-171 – атомы углерода карбоксильных групп и их

Таблица 1. Характеристика исследованных образцов углей

Table 1. Characteristics of the studied coal samples

Код образца	Технический анализ, %			Элементный состав, % на daf			Атомное отношение	
	W^a	A^d	V^{daf}	C	H	(O+N+S)	H/C	O/C
1	1,5	3,6	39,8	83,7	5,6	10,7	0,80	0,10
2	1,5	5,5	37,0	85,0	5,6	9,4	0,79	0,08
3	1,0	11,8	37,5	84,5	5,5	10,0	0,78	0,09
4	1,7	7,4	36,9	84,2	5,4	10,4	0,77	0,09
5	0,9	7,3	36,6	84,3	5,4	10,3	0,77	0,09
6	0,7	5,7	35,9	83,9	5,3	10,8	0,76	0,10

Таблица 2. Характеристика петрографического состава образцов углей

Table 2. Characteristics of the petrographic composition of coal samples

Код образца угля	Петрографические параметры, %				Показатель отражения витринита	
	Vt	Sv	I	ΣOK	$R_{o,r}$, %	σ_R
1	86	2	12	13	0,77	0,05
2	91	1	9	9	0,81	0,05
3	83	2	15	17	0,83	0,04
4	85	2	13	15	0,88	0,05
5	89	3	8	10	0,89	0,06
6	88	3	9	11	0,91	0,06

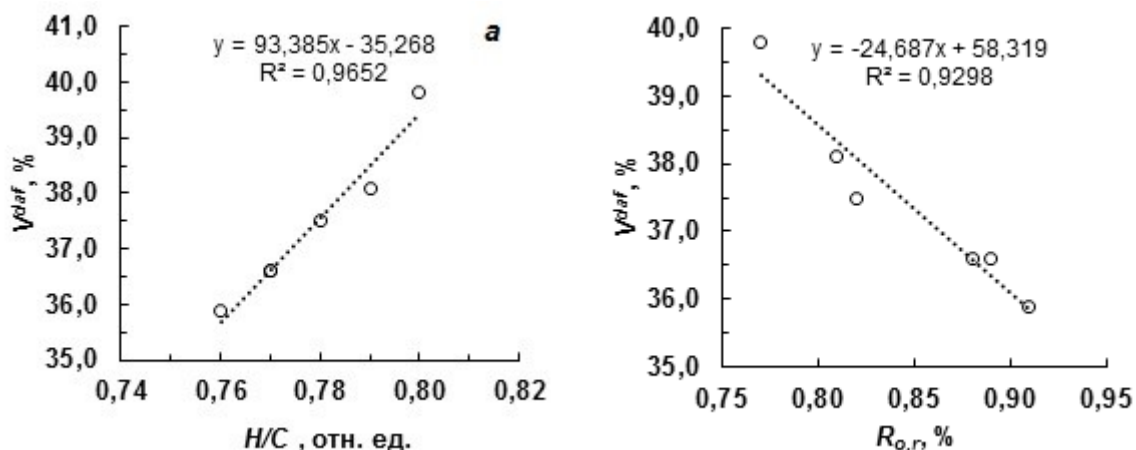


Рис. 1. Взаимосвязь между выходом летучих веществ V^{daf} исследуемых углей с атомным отношением H/C (a) и показателем отражения витринита $R_{o,r}$ (b)

Fig. 1. The relationship between the yield of volatile substances V^{daf} of the studied coals with an atomic ratio of H/C (a) and the reflection index of vitrinite $R_{o,r}$ (b)

производных (COO-); 171-148 – атомы углерода ароматических систем, связанные с атомом кислорода ($C_{арO}$); 148-93 – атомы углерода ароматических систем с замещенным и незамещенным атомом водорода ($C_{ар} + CH_{ар}$); 67-51 – атомы углерода метоксильных групп (OCH_3); 51-0 – атомы углерода алкильных фрагментов ($C_{алк}$). По результатам моделирования рассчитывали степень ароматичности (f_a) по соотношению $f_a = (C_{ар} + CH_{ар} + C_{арO}) / 100$.

Характеристика исследованных образцов углей приведена в Таблицах 1 и 2. Из представленных результатов следует, что все исследованные объекты согласно ГОСТ 25543–

2013 относятся к технологической марке ГЖ. Среди образцов данной марки наблюдаются расхождения по содержанию углерода и водорода, выхода летучих веществ, а также в значениях показателей отражения витринита. Зольность (A^d) исследованных образцов не превышает 10%, кроме образца №3 ($A^d = 11,8\%$). Выход летучих веществ (V^{daf}) колеблется от 35,9 (образец №6) до 39,8% (образец №1). Графический анализ показал тесную корреляционную связь данного показателя с атомным отношением H/C и показателем отражения витринита (Рис. 1).

Показатель отражения витринита $R_{o,r}$, характеризующий степень карбонизации

Таблица 3. Параметры фрагментарного состава образцов углей по данным ^{13}C ЯМР- спектров
 Table 3. Parameters of the fragmentary composition of coal samples according to ^{13}C NMR spectra

Код образца	$R_{o,r}$, %	Распределение атомов углерода по структурным группам, отн. %							
		CH_3	CH_2	CH_3O	$\text{C}_{\text{алк}}\text{O}$	$\text{C}_{\text{ар}}\text{H} + \text{C}_{\text{ар}}$	$\text{C}_{\text{ар}}\text{O}$	COOH	f_a
		Диапазон резонансного поглощения, м.д.							
		0-25	25-51	51-67	67-93	93-148	148-171	171-187	
1	0,77	5,31	21,71	1,34	0,56	65,15	5,93	0,83	0,70
2	0,81	5,42	20,85	1,32	0,47	65,68	5,41	0,85	0,71
3	0,83	5,17	20,03	1,66	0,24	67,41	4,97	0,52	0,72
4	0,88	4,72	19,42	1,55	0,60	67,17	5,77	0,77	0,73
5	0,89	4,30	19,74	2,30	0,34	67,51	5,18	0,63	0,73
6	0,91	5,02	18,43	1,94	0,48	68,65	4,92	0,56	0,74

Таблица 4. Результаты термогравиметрического анализа образцов углей
 Table 4. Results of thermogravimetric analysis of coal samples

Код образца	$R_{o,r}$, %	Температурные границы основного разложения, °C			V_{max} , %/мин	Δm (мас. %) при температурах, °C				
		T_1	T_{max}	T_2		20 – 180	180 – 400	400 – 650	650 – 800	20 – 1000
1	0,77	415	460	524	2,65	1,4	3,0	25,6	3,6	35,0
2	0,81	418	464	526	2,31	1,1	3,0	23,3	3,4	32,1
3	0,83	419	466	530	2,50	0,9	3,0	24,0	3,0	32,2
4	0,88	420	467	533	2,59	1,0	2,7	24,1	3,0	32,2
5	0,89	424	469	535	2,44	0,8	2,5	23,6	3,4	31,6
6	0,91	422	470	540	2,20	0,9	2,2	22,5	3,6	30,4

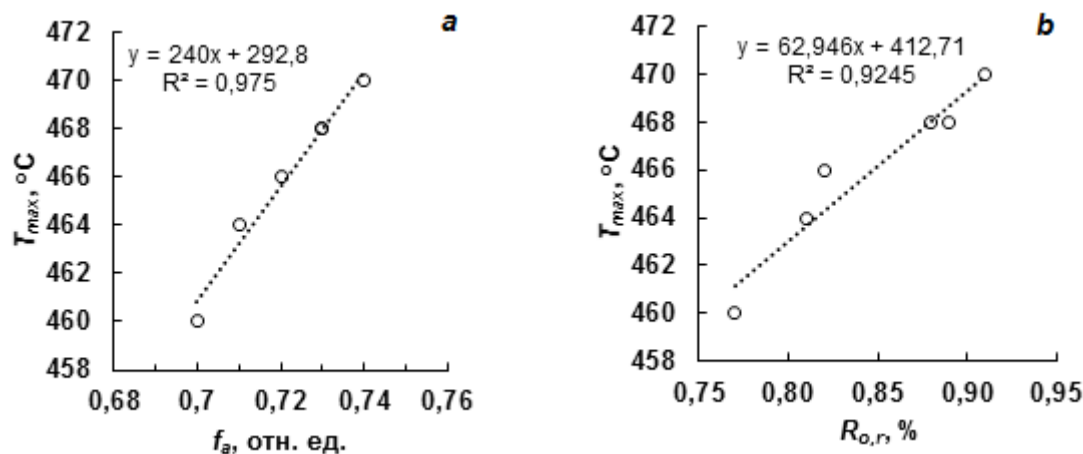


Рис. 2. Взаимосвязь между температурой максимума T_{max} основного разложения массы исследуемых углей с показателем ароматичности их органического вещества f_a (a) и показателем отражения витринита $R_{o,r}$ (b)

Fig. 2. The relationship between the maximum temperature T_{max} of the main decomposition of the mass of the studied coals and the index of aromaticity of their organic matter f_a (a) and the vitrinite reflection index $R_{o,r}$ (b)

угольного вещества, увеличивается в ряду образцов исследуемых углей от 0,77 до 0,91% (Таблица 2). Все исследуемые образцы имеют в своем составе витринизированных компонентов более 83%. Наибольшее количество отошающих компонентов содержат угольные образцы №3 и №4 (17 и 15% соответственно). С ростом величины показателя отражения витринита в

угольных образцах снижается выход летучих веществ (V^{daf}) (Рис. 1).

Анализ данных ^{13}C ЯМР-спектроскопии (Таблица 3) показал, что с ростом стадии метаморфизма (увеличение показателя $R_{o,r}$) показатель ароматичности f_a органической массы изученных образцов возрастает от 0,70 для образца №1 до 0,74 для образца №6. Рост

Таблица 5. Технологические параметры исследованных образцов углей
Table 5. Technological parameters of the studied coal samples

Параметры	Значение параметра					
	Код образца угля					
	1	2	3	4	5	6
Пластометрические показатели: толщина пластического слоя, y , мм	13	14	14	18	21	19
Индекс свободного вспучивания SI , отн. ед.	4,5	5,5	5	7	8,5	7

показателя ароматичности связан с уменьшением количества алифатического углерода в структурных фрагментах в диапазоне 0–51 м.д., уменьшение доли алифатического углерода происходит в основном за счет фрагментов CN_2 в диапазоне 25–51 м.д.

Для изучения процесса пиролиза испытуемых углей использовали термогравиметрический анализ, результаты обработки термогравиметрических кривых которого приведены в Таблице 4. Результаты исследования показывают, что основной процесс деструкции органического вещества исследованных образцов происходит в интервале температур 400–650°C, в котором отмечается наибольшая потеря массы. Наименьшей термостойкостью обладает образец №1, на что указывают более низкие температурные границы его термической деструкции (T_1 и T_2) и наибольшая потеря массы в температурном интервале 400–650°C. Следует отметить, что с ростом показателя ароматичности органической массы (f_a) и показателя величины отражения витринита ($R_{o,r}$) увеличивается температура максимума (T_{max}) основного разложения (Рис. 2).

Широко известно, что предпосылкой для спекания угольных зерен является переход их в пластическое состояние в интервале температур 350–550°C. Одним из показателей определения спекаемости углей является толщина пластического слоя y , определяемая по ГОСТ 1186–2014. Однако для уточнения характеристики углей и их более четкого дифференцирования наряду с толщиной пластического слоя используют ряд показателей спекаемости, в частности, индекс вспучивания SI . Технологические показатели спекаемости исследованных угольных образцов приведены в Таблице 5.

Анализ показал, что толщина пластического слоя y для исследованных углей изменяется от 13 мм в образце №1 до 19 мм в образце №6, что характерно для углей технологической марки ГЖ. При этом необходимо отметить, что индекс свободного вспучивания SI увеличивается с ростом пластометрического показателя y . Можно предположить, что уменьшение доли алифатического углерода в органической массе образцов приводит к увеличению дуктильности пластической массы, что в свою очередь

приводит к снижению ее газопроницаемости и, следовательно, к увеличению вспучиваемости [1,2,16].

Таким образом, приведены результаты комплексного испытания и сопоставления характеристик шести образцов углей технологической марки ГЖ. Анализ данных показал, что среди образцов одной марки наблюдаются различия по содержанию углерода, водорода, выхода летучих веществ, в значениях показателей отражения витринита и в технологических показателях спекаемости. Физико-химическими анализами установлено, что испытуемые образцы характеризуются различными показателями ароматичности f_a и, как следствие, различной термостойкостью их органической массы.

Полученные результаты важны, так как позволяют составить более полное представление о технологической ценности исследованных образцов углей.

Работа выполнена в рамках гос. задания ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН (проект 1022041700001-6) с использованием оборудования ЦКП ФИЦ УУХ СО РАН. Автор выражает благодарность: Л.М. Хицовой за выполнение термогравиметрического анализа, В.Ю. Малышевой – элементного анализа, С.Ю. Лырицкову – ЯМР-спектроскопии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грязнов Н. С. Основы теории коксования. М. : Металлургия, 1976. 312 с.
2. Артемьев В. Б., Еремин И. В. Гагарин С. Г. Петрография углей и их эффективное использование. М. : Недра коммюникейшенс ЛТД, 2000. 334 с.
3. Скляр М. Г. Физико-химические основы спекания углей. М. : Металлургия, 1984. 201 с.
4. Рудыка В. И. Сталь, металлургический уголь, кокс: рынки, достижения, инновации (Аналитический обзор материалов саммита «Европейский кокс 2017») // Кокс и химия. 2017. №8. С. 2–15.
5. Пинчук С. И., Лазаренко А. Я. Экологические проблемы и ресурсосбережение при производстве и потреблении каменноугольного кокса. Днепропетровск : Системные технологии, 2003. 108 с.
6. Шульга И. В. Развитие химико-термических процессов переработки угля // Углекимический журнал. 2015. №3. С. 21–31.
7. Степанов Ю. В., Попова Н. К., Махортова Л. А. Теория и практика шихтования в современных условиях

// Кокс и химия. 2005. №7. С.6–10.

8. Золотухин Ю. А. Об оценке угольной сырьевой базы коксования. Марочный критерий оптимальности состава угольных шихт // Кокс и химия. 2008. №12. С. 2–10.

9. Zolotukhin Y. A., Andreichikov N. S., Eremin A. Y. [et al.] Formulating Coal Batch for Coking: A Review // Coke and Chemistry. 2021. №64. Pp. 97–104. DOI: DOI: 10.3103/S1068364X21030108.

10. Степанов Ю. В., Гилязетдинов Р. Р., Попова Н. К., Махортова Л. А. Влияние оптимизации состава шихты и ее зольности на показатели качества кокса // Кокс и химия. 2005. №7. С. 14–18.

11. Киселев Б. П. Классификационные марки углей. Их роль в формировании сырьевой базы коксования // Кокс и химия. 2008. №5. С. 2–6.

12. Мирошниченко Д. В., Улановский М. Л. Реакционная способность кокса: способы измерения и факторы влияния (Обзор) // Кокс и химия. 2004. №5. С. 21–31.

13. Гайниева Г. Р., Наймак М. М., Завалишин Д. А. Марочный состав угольной шихты. Его влияние на реакционную способность доменного кокса // Кокс и химия. 2005. №11. С. 10–12.

14. Карунова Е. В., Калько А. А., Волков Е. А., Калько О. А. Формирование угольной шихты ПАО «Северсталь» для получения кокса с заданными характеристиками «горячей» прочности. // Кокс и химия, 2021. №5. С. 7–11. DOI: 10.52351/00232815-2021-05-7.

15. Минин С. И., Миронов К. В., Кошкаров Д. А., Михалев В. А., Половец М. В., Гилева Л. Ю. Учет влияния гранулометрического состава кокса на его металлургическую ценность // Кокс и химия. 2022. №9. С. 10–14. DOI: 10.52351/00232815_2022_09_10.

16. Sen D., Ghosh S., Varma A.K. Functional group chemistry and its functions in coal carbonization: a scientific intelligence from infrared spectroscopy // Arabian Journal of Geosciences. 2022. V. 15. Pp. 406–410. DOI: 10.1007/s12517-022-09719-7

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Федорова Наталья Ивановна, канд. хим. наук, ведущий научный сотрудник Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, (650000, Россия, г. Кемерово, Советский пр., 18), e-mail: FedorovaNI@iccms.sbras.ru

Заявленный вклад авторов:

Федорова Наталья Ивановна – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы, написание текста

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF HARD COALS OF THE GJ TECHNOLOGICAL GRADE

Natalia I. Fedorova

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry SB RAS

*for correspondence: FedorovaNI@iccms.sbras.ru



Article info

Received:
13 May 2024

Accepted for publication:
25 July 2024

Accepted:
29 August 2024

Abstract.

The relevance of the work carried out is justified by the need to determine the technological properties of coking coals to ensure the possibility of developing the optimal composition of the charges when obtaining coke products of the required quality.

The purpose of the study is to establish differences in the technological and physico-chemical properties of coals among samples of the same brand.

6 samples of formation samples of GJ technological grade coals selected at various Kuzbass coal mining enterprises were used as objects of research. These samples are coal raw materials in the production of metallurgical coke, which are included in the charge for coking as a "sintering base".

The analysis of the data obtained showed that among the studied samples there are differences in the content of carbon, hydrogen, the yield of volatile

Published:
26 September 2024

Keywords: coal, coking, sintering, thermogravimetric analysis, ^{13}C NMR spectroscopy

substances, in the values of vitrinite reflection indicators and in technological indicators of sinterability. It was found that the vitrinite reflection index $R_{o,r}$, increases in a number of carbon samples from 0.77 to 0.91%, the thickness of the plastic layer y varies from 13 mm to 19 mm.

Physico-chemical analyses (NMR spectroscopy, thermogravimetric analysis) have established that the test samples are characterized by different indicators of aromaticity f_a and, as a result, different thermal stability of their organic mass.

The results obtained are important because they allow us to get a more complete picture of the technological value of the studied coal samples.

For citation: Fedorova N.I. Analysis of technological and physico-chemical properties of hard coals of the GJ technological grade. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 4(164):79-85. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-79-85, EDN: MXHORY

REFERENCES

1. Grjaznov N.S. Osnovy teorii koksovaniya. M.: Metallurgija; 1976. 312 s.
2. Artem'ev V.B., Eremin I.V., Gagarin S.G. Petrografija uglej i ih jeffektivnoe ispol'zovanie. M.: Nedra kommjunikejshens LTD; 2000. 334 s.
3. Skljar M.G. Fiziko-himicheskie osnovy spekanija uglej. M.: Metallurgija; 1984. 201 s.
4. Rudyka V.I. Stal', metallurgicheskij ugol', koks: rynki, dostizhenija, innovacii (Analiticheskij obzor materialov sammita «Evropejskij koks 2017»). *Koks i himija*. 2017; 8:2–15.
5. Pinchuk S.I., Lazarenko A.A. Jekologicheskie problemy i resursoberezenie pri proizvodstve i potreblenii kamennougol'nogo koksa. Dnepropetrovsk: Sistemye tehnologii; 2003. 108 s.
6. Shul'ga I.V. Razvitie himiko-termicheskikh processov pererabotki uglja. *Uglehimicheskij zhurnal*. 2015; 3:21–31.
7. Stepanov Ju.V., Popova N.K., Mahortova L.A. Teorija i praktika shihtovaniya v sovremennyh uslovijah. *Koks i himija*. 2005; 7:6–10.
8. Zolotuhin Ju.A. Ob ocenke ugol'noj syr'evoj bazy koksovaniya. Marochnyj kriterij optimal'nosti sostava ugol'nyh shiht. *Koks i himija*. 2008; 12:2–10.
9. Zolotukhin Y.A., Andreichikov N.S., Eremin A.Y. [et al.] Formulating Coal Batch for Coking: A Review. *Coke and Chemistry*. 2021; 64:97–104. DOI: 10.3103/S1068364X21030108.
10. Stepanov Ju.V., Giljazetdinov R.R., Popova N.K., Mahortova L.A. Vlijanie optimizacii sostava shihty i ejo zol'nosti na pokazateli kachestva koksa. *Koks i himija*. 2005; 7:14–18.
11. Kiselev, B.P. Klassifikacionnye marki uglej. Ih rol' v formirovanii syr'evoj bazy koksovaniya. *Koks i himija*. 2008; 5:2–6.
12. Miroshnichenko D.V., Ulanovskij M.L. Reakcionnaja sposobnost' koksa: sposoby izmerenija i faktory vlijaniya (Obzor). *Koks i himija*. 2004; 5:21–31.
13. Gajnieva G.R., Najmak M.M., Zavalishin D.A. Marochnyj sostav ugol'noj shihty. Ego vlijanie na reakcionnuju sposobnost' domennogo koksa. *Koks i himija*. 2005; 11:10–12.
14. Karunova E.V., Kal'ko A.A., Volkov E.A., Kal'ko O.A. Formirovanie ugol'noj shihty PAO «Severstal'» dlja poluchenija koksa s zadannymi harakteristikami «gorjachej» prochnosti. *Koks i himija*. 2021; 5:7–11. DOI: 10.52351/00232815-2021-05-7.
15. Minin S.I., Mironov K.V., Koshkarov D.A., Mihalev V.A., Polovec M.V., Gileva L.Ju. Uchet vlijaniya granulometricheskogo sostava koksa na ego metallurgicheskiju cennost'. *Koks i himija*. 2022; 9:10–14. DOI: 10.52351/00232815_2022_09_10.
16. Sen D., Ghosh S., Varma A.K. Functional group chemistry and its functions in coal carbonization: a scientific intelligence from infrared spectroscopy. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022; 15:406–410. DOI: 10.1007/s12517-022-09719-7

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Natalia I. Fedorova, C. Sc. in Chemistry, leading researcher, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS, (650000, Kemerovo, 18, pr. Sovietsky, Russian Federation), e-mail: FedorovaNI@iccms.sbras.ru

Contribution of the authors:

Natalia I. Fedorova – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, data collection and analysis, conclusions, writing a text.

All authors have read and approved the final manuscript.

