

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

DOI: 10.26730/1999-4125-2020-6-58-65

УДК 662.741.3.022.001.5

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕЙ

PETROGRAPHIC METHOD FOR ESTIMATING THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF COALS

Заостровский Анатолий Николаевич¹, канд. техн. наук, доцент,
ведущий научный сотрудник, e-mail: catalys01@rambler.ru
Anatoly N. Zaostrovsky¹, C. Sc., Leading Researcher, Associate Professor
Исмагилов Зинфер Ришатович^{1,2}, академик РАН, профессор,
директор Института¹, заведующий кафедрой², e-mail: zinfer1@mail.ru
Zinfer R. Ismagilov^{1,2}, Academician of RAS, Professor,
Director of Institute, Head of the Department

¹Институт углехимии и химического материаловедения Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН» (ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН); Россия, 650000, г. Кемерово, пр-т Советский, 18

¹Institute of Coal Chemistry and Materials Science of the Federal Research Centre of Coal and Chemistry Siberian Branch of the Russian Academy of Science; Russia, 650000, Kemerovo, Soviet Avenue, 18

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:

Проведен анализ взаимосвязей показателей спекаемости и коксующести с толщиной пластического слоя и петрографическим составом углей. Установлено существенное влияние петрографического состава на характер взаимосвязей между показателями спекаемости в классификации углей.

Совокупность показателей толщины пластического слоя находится в тесной количественной зависимости от петрографического состава, дает полную характеристику пластических свойств углей и практически заменяет показатели спекаемости и коксующести, применяемые в классификации углей. Полученные результаты, которые в значительной мере определяются петрографическим составом углей, могут быть использованы с достаточной точностью для расчета показателей спекаемости и коксующести при оценке качества углей.

Ключевые слова: каменный уголь, петрографический анализ, показатель отражения витринита, шихта, спекаемость, коксующесть угля.

Abstract:

The analysis of the relationship between the indicators of sintering and coking properties with the thickness of the plastic layer and the petrographic composition of coals is carried out. A significant influence of the petrographic composition on the nature of the relationship between the indicators of sintering capacity in the classification of coals was established.

The set of indicators of the thickness of the plastic layer are in close quantitative dependence on the petrographic composition, gives a complete characterization of the plastic properties of coals and practically replaces the indicators of sintering and coking properties used in the classification of coals. The results obtained,

Таблица 1. Технический анализ углей

Table 1. Technical analysis of coal

Предприятие, шахта, разрез, пласт	Марка	Технический анализ, %		
		W^a	A^d	V^{daf}
Ш. Чертинская-Коксовая; пласт 4	Ж	1,4	7,4	37,7
Участок Коксовый; пл. II внутренний	К	0,8	4,9	21,2
ООО «Инвест-Углесбыт»	Г	2,2	6,2	34,0
Участок Коксовый; пл. Горелый	КС	1,0	4,2	20,4
Участок Коксовый; пл. III внутренний	ОС	1,1	4,1	21,6
Разрез Киселевский	СС	4,2	9,6	18,6

Таблица 2. Петрографический состав и пластометрический анализ углей

Table 2. Petrographic composition and plastometric analysis of coals

Предприятие, шахта, разрез, пласт	Марка	Петрографический состав					Пластометрический анализ
		$R_{o,r}$, %	V_t , %	S_v , %	I , %	$\sum OK$, %	
Ш. Чертинская-Коксовая; пласт 4	Ж	0,88	88	1	11	12	30
Участок Коксовый; пл. II внутренний	К	1,43	66	12	22	30	13
ООО «Инвест-Углесбыт»	Г	0,71	64	5	31	35	9
Участок Коксовый; пл. Горелый	КС	1,33	40	14	46	55	8
Участок Коксовый; пл. III внутренний	ОС	1,40	67	10	23	30	6
Разрез Киселевский	СС	1,60	49	16	35	46	-

which are largely determined by the petrographic composition of the coals, can be used with sufficient accuracy to calculate the caking and coking properties when assessing the quality of coals.

Key words: coal, petrographic analysis, vitrinite reflectance, charge, caking capacity, coking capacity of coal.

Введение

Химико-технологические показатели и марки углей определяются в известной мере степенью метаморфизма, сглаживающего влияние петрографического состава на качество углей. Между тем значение петрографических составляющих в формировании технологических свойств углей, особенно их спекаемости, весьма существенно.

Способность углей переходить при нагревании без доступа воздуха в расплавленное или размягченное состояние относится к числу важнейших свойств, имеющих решающее значение при оценке их как сырья для коксования и в ряде других производств. Сложность процессов спекания углей обусловила появление большого многообразия методов оценки указанного свойства. Каждый из методов характеризует определенные стороны процесса перехода угля в пластическое состояние и применим в определенной области изменения генетических особенностей углей.

Попытка установить взаимосвязь между петрографическим составом углей и их технологическими особенностями впервые была предпринята З. В. Ергольской [1]. Помимо известных параметров спекаемости углей, т.е. толщины пластического слоя и выхода летучих

веществ, был предложен новый параметр – содержание гелифицированных веществ ($\sum V$) [2].

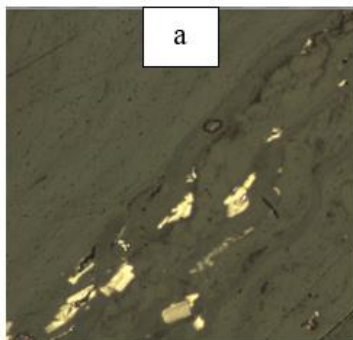
«Гелифицированное вещество» – собирательное понятие, охватывающее многообразные формы растительных остатков, которые подверглись остудневанию в стадии биохимического их превращения в условиях изменчивого окислительно-восстановительного потенциала. Однако установить функциональную зависимость между свойством коксуемости углей и количественным содержанием отдельных форм гелифицированного вещества достаточно трудно ввиду невозможности индивидуализировать эти формы для раздельного изучения. Поэтому в качестве классификационного параметра берется общее содержание гелифицированного вещества как связанная с ним мера коксуемости.

Толщина пластического слоя Y (мм) – параметр, характеризующий спекаемость угля (в данной работе не делается принципиальное различие между понятиями «коксуемость» и «спекаемость», они считаются эквивалентными). Этот показатель за время (~90 лет) своего существования прочно вошел в исследовательскую и заводскую практику. Следует отметить, что пластический слой угля, нагретого без доступа воздуха до определенных температур, представляет собой массу, насыщенную

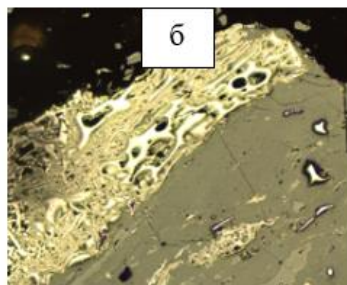
пузырьками газа; таким образом, величину Y нельзя представлять себе как меру количества плавкого вещества в плотном виде.

Коксуемость угля в первую очередь зависит от его физико-химических свойств, но также и от технологических факторов: размер частиц (степень помола) и объемная плотность, т.е. масса разовой загрузки угольной шихты в камеру коксования. Вслед за решением проблемы определения коксуемости мацералов или групп мацералов как функции метаморфизма предпринимались различные попытки прогнозировать или

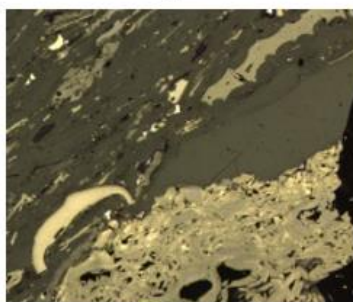
рассчитывать свойства высокотемпературного кокса по результатам микроскопических анализов. Во всех предложенных методах данные по содержанию мацералов или микролитотипов (используемые в дополнение к наиболее важным определениям степени метаморфизма) суммировались и группировались на две категории – реактивные (группа витринита) и инертные (группа инертинита) микрокомпоненты. Основные свойства витринита, преобладающего в гумусовых углях, хорошо определяют место угля (марки) в ряду метаморфизма. В отличие от инертных



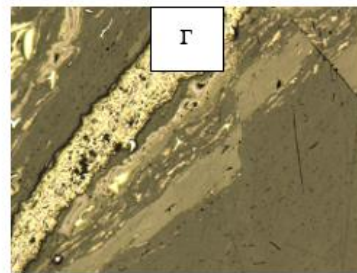
а
Коллинит с линзами инертинита



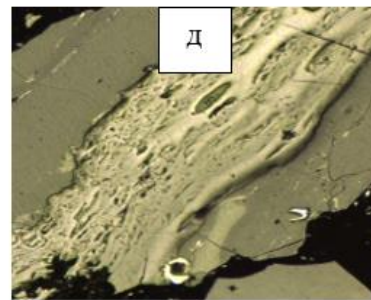
б
Макринит, фюзинит, инертодетринит
в витрините



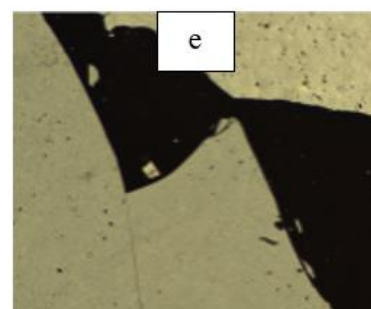
в
Фюзинит, семифюзинит в витрините



г
Телинит структурный



д
Телинит в контакте с инертинитом,
коллинитом и липтинитом



е
Телинит

Рис. 1. Микрофотографии проб углей: а – ш. Чертинская-Коксовая; пласт 4 (марка Ж); б – Участок Коксовый; пл. II внутренний (марка К); в – ООО «Инвест-Углесбыт» (марка Г); г – Участок Коксовый; пл. Горелый (марка КС); д – Участок Коксовый; пл. III внутренний (марка ОС); е – Разрез Киселевский (марка СС). Отраженный свет, масляная иммерсия, ув. 300

Fig. 1. Micrographs of coal samples: a – w. Chertinskaya-Koksovaya; layer 4 (grade Zh); b – Site Koksovy; pl. II internal (grade K); c – LLC "Invest-Uglesbyt" (grade G); d – Site Koksovy; pl. Gorely (KS brand); e – Plot Koksovy; pl. III internal (OS brand); f – Open-pit mine Kiselevsky (grade SS). Reflected light, oil immersion, uv. 300

компонентов все реактивные микрокомпоненты углей, пригодных для коксования, проходят стадию пластического состояния при нагреве без доступа воздуха.

Цель работы – установить взаимосвязь толщины пластического слоя как показателя коксуемости с показателями петрографического состава с точки зрения оценки свойств углей как сырья для коксования.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования были отобраны пластово-промышленные пробы каменных углей Кузнецкого бассейна [3]. Образцы углей малозольные (для приготовления аншлиф-брикета зольность угля должна быть $\leq 10\%$). Технический анализ (таблица 1) углей был выполнен по стандартным методикам. Первичная качественная оценка углей по данным технического и пластометрического (таблица 2) анализов позволяет в общих чертах определить пригодность углей для коксования.

Петрографический анализ играет важную роль при изучении генезиса угля, определении его положения в ряду углефикации, для оценки стадии метаморфизма, а также для перспективы развития сырьевой базы коксохимической отрасли.

Для сравнительной оценки петрографических характеристик и технологических свойств (таблица 2) исследуемые угли были предварительно обогащены по удельному весу 1,4 в растворе четыреххлористого углерода и бензола.

Петрографический анализ проводился по ГОСТ Р 55662-2013 (ИСО 7404-2:2009), ГОСТ Р 55663-2013 (ИСО 7404-2:2009), ГОСТ Р 55659-2013 (ИСО 7404-5:2009) и ГОСТ 12112-78 [10-13]. В работе использовался автоматизированный анализатор петрографических свойств углей SIAMS 620 в автоматическом и ручном (экспертном) режимах.

Петрографический анализ индивидуальных углей дает информацию о стадии метаморфизма угля, о его мацеральном и микролитотипном составе, а также о распределении минеральных веществ в угле. Показатель отражения витринита R_o, r , являющийся одним из основных генетических параметров, определяли в иммерсионном масле (для увеличения контрастности картины, что улучшает диагностику отдельных мацералов) при фиксированной длине волны, равной 546 нм. В качестве иммерсионной жидкости использовали масло по ГОСТ 13739 с показателем преломления $n_e = 1,5180 \pm 0,0004$ при температуре 23 ± 3 °С.

Сущность петрографического метода заключается в определении количественного содержания групп мацералов в углях точечным методом под микроскопом в отраженном (практически под прямым углом от полированной поверхности аншлиф-брикета) свете при увеличении в 300 раз. По показателю отражения мацералы углей различаются между собой. Самый

высокий показатель отражения характерен для мацералов группы инертинита, минимальный – для мацералов группы липтинита; витринит в этом ряду занимает промежуточное положение [4-7].

В углях подсчитывается содержание групп (в %): витринита – Vt , семивитринита – Sv , инертинита – I , сумма отошающих компонентов ΣOK . Некоторое представление об облике микрокомпонентов, объединяемых в перечисленные группы, могут дать микрофотографии (рис. 1). Под микроскопом заметна выраженная структура угля: среди витринизированного вещества наблюдается обилие мелких обрывков фюзинизированных растительных тканей. Мацералы группы витринита однородные и обычно количественно преобладают, поэтому их показатель принят как основной (оценочный) в определении класса угля и соответствующей стадии метаморфизма [8].

Рефлектограммный анализ является единственно эффективным средством контроля качества углей, поставляемых на коксование. Изменение формы рефлектограммы позволяет сразу же выявить и прогнозировать возможные изменения в производственном процессе при дальнейшем применении той или иной шихты. Классические лабораторные методы не позволяют осуществлять подобный контроль [9-12].

На рис. 2 представлены рефлектограммы исследованных углей, которые показывают, что все образцы пластовых проб являются однородными, т.е. все точки группируются вокруг определенного значения отражательной способности витринита. Отсутствие разрывов между основными пиками рефлектограммы свидетельствует о петрографической однородности углей, что обеспечивает хорошую спекаемость и дает наиболее прочный кокс. Более точно можно сказать, что уголь, отобранный из пласта, всегда является очень однородным, в противном случае рефлектограмма принимает форму более или менее растянутую.

Результаты и обсуждение

Петрографический и рефлектограммный анализ позволяет дифференцировать кузнецкие угли по технологическим свойствам, что является важнейшим условием рационального их использования в коксохимическом производстве.

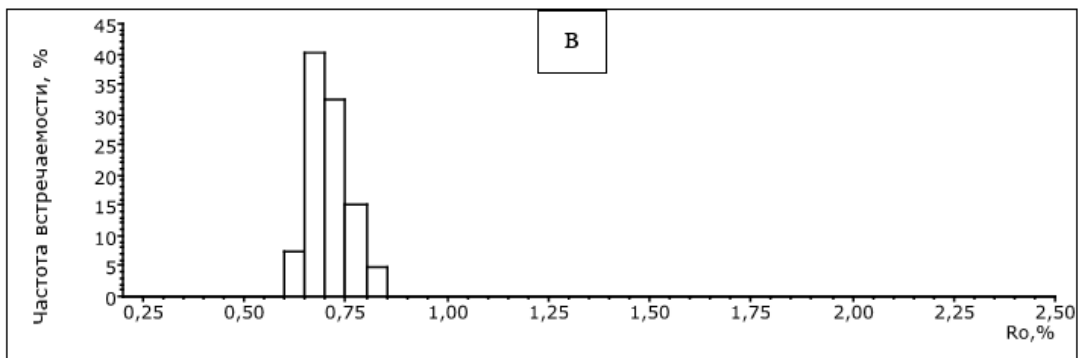
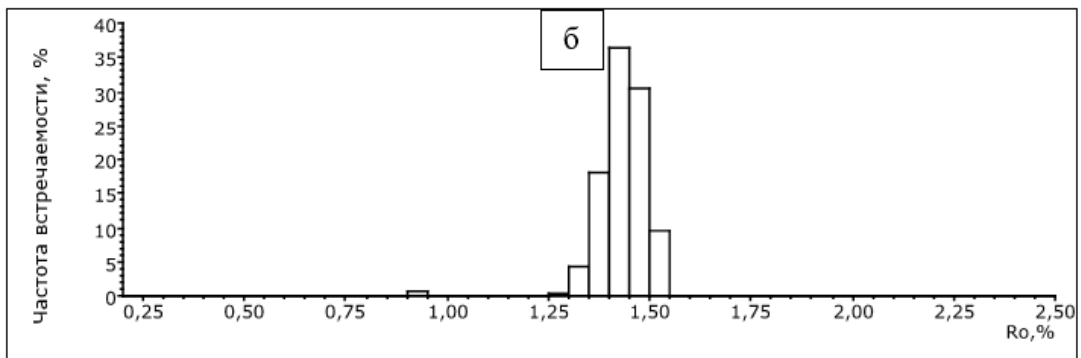
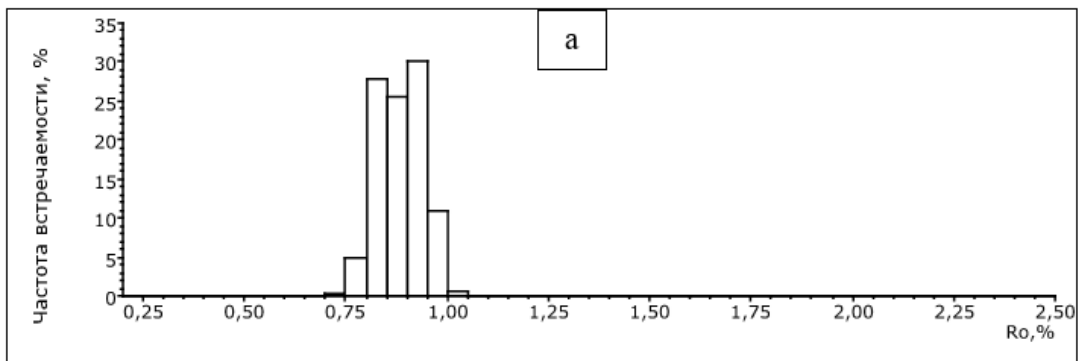
При расположении углей каждой стадии метаморфизма в порядке увеличения содержания в них отошающих компонентов наблюдалась четкая закономерность изменения их коксуемости (рис. 3) [13-15]. При переходе угля в пластическое состояние частицы отошающей добавки сорбируют на своей поверхности часть образующихся жидких продуктов, в результате чего повышается вязкость системы и уменьшается ее вспучиваемость. Когда же содержание отошающих компонентов в смеси достигает критического для данного угля значения,

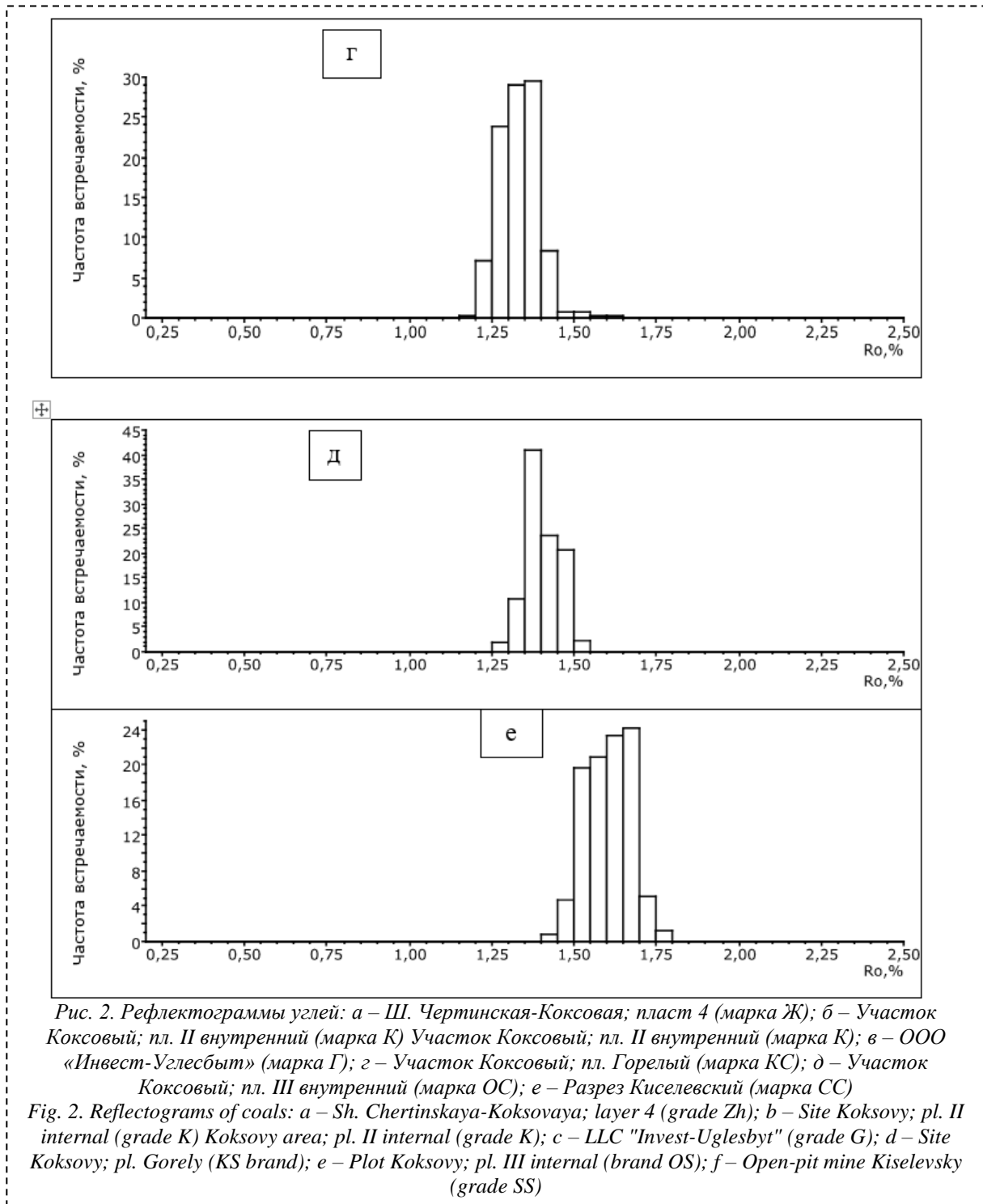
образующихся жидких продуктов становится недостаточно для того, чтобы охватить поверхность всех твердых частиц. При этом повышается гетерогенность пластической массы с одновременным увеличением ее газопроницаемости, что создает условия для быстрого разложения органической массы угля с выделением газообразных продуктов [16-17].

Показателем свойств углей в пластическом состоянии является толщина пластического слоя, которая зависит в первую очередь от количества и качества жидкоподвижных веществ, образующихся при термической деструкции и остающихся в угольной загрузке. Отощающие компоненты уменьшают толщину пластического слоя углей, поскольку они не образуют жидкоподвижных продуктов. Известно, что вспучивание углей при прочих равных условиях приводит к некоторому увеличению толщины

пластического слоя. Поэтому толщина пластического слоя при увеличении в изометаморфных углях отощающих компонентов изменится не аддитивно, поскольку ее изменение зависит от нескольких факторов [18-21].

Из опыта известно, что для получения металлургического кокса высокой механической прочности необходимо иметь шихту с пластическим слоем не менее 17 мм. Для исследованных углей, из которых может быть получен кокс с максимальным показателем прочности, отвечают угли с содержанием суммы отощающих компонентов до 30% (рис. 3). Для прогноза коксующести угольных шихт необходимо иметь ряд дополнительных характеристик углей. Наиболее важной из них является величина оптимального соотношения спекающихся (содержание витринита) и суммы отощающих компонентов, которое для данной стадии





метаморфизма составляет 2,34. Следовательно, при содержании отощающих компонентов 30% содержание спекающихся компонентов должно быть 70%.

Заключение

Показатели спекаемости и коксуюмости находятся в тесной количественной зависимости от толщины пластического слоя, показателей петрографического состава и могут быть с достаточной точностью применены для прогноза

прочности металлургического кокса.

Показатели, используемых в качестве альтернативных в классификации, в действительности не являются таковыми, поэтому зависимость между ними в значительной мере определяется петрографическим составом углей.

Совокупность показателей толщины пластического слоя и петрографического состава дает полную характеристику пластических свойств углей и практически заменяет все показатели спекаемости и коксуюмости, применяемые в

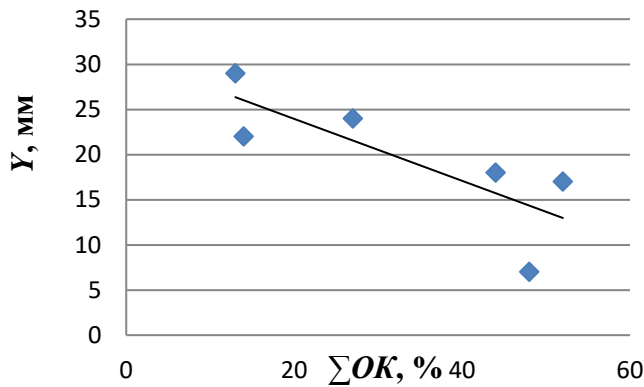


Рис. 3. Зависимость толщины пластического слоя (Y , мм) от содержания в углях отощающих (фюзенизированных) компонентов (ΣOK , %)

Fig. 3. Dependence of the thickness of the plastic layer (Y , mm) on the content of lean (fusinized) components in coals (ΣOK , %)

классификации углей и их оценки как сырья для производства кокса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ергольская З. В. Химико-пластометрическое и петрографическое исследование углей Кузбасса // Химия твердого топлива. 1937. Том VIII. Выпуск 2. С. 97-108.
2. Петрология палеозойских углей СССР (VIII Международный конгресс по стратиграфии и геологии карбона) / Отв. редактор И. В. Еремин // М.: Недра, 1975. 215 с.
3. Ископаемые угли Сибири и методы их изучения / Отв. редактор И.Н. Звонарев // Изд. «Наука». Сиб. отд-ние, Новосибирск, 1971. С. 275.
4. Заостровский, А. Н. Петрографический анализ углей Печорского бассейна / А. Н. Заостровский, Н. В. Журавлева, Р. Р. Потокина, Н. А. Грабовая, З. Р. Исмагилов // Химия в интересах устойчивого развития. 23 (2015), с. 131-134.
5. Заостровский, А. Н. Петрографический состав коксовых углей Кузнецкого бассейна / А. Н. Заостровский, Н. А. Грабовая, З. Р. Исмагилов З. Р. // Химия в интересах устойчивого развития. 24 (2016), с. 363-367.
6. Заостровский, А. Н. Оценка коксуетости углей по показателям петрографического состава / А. Н. Заостровский, Н. А. Грабовая, Н. И. Федорова, Е. С. Михайлова, З. Р. Исмагилов // Химия уст. разв. 2018. Т. 26, № 6. С. 589-595.
7. Заостровский, А. Н. Петрографическая характеристика газовых углей Кузбасса / А. Н. Заостровский, Н. А. Грабовая, Е. С. Михайлова, З. Р. Исмагилов // Кокс и химия. 2017. № 11. С. 25-30.
8. Травин, А. Б. Атлас верхнепалеозойских углей Кузнецкого бассейна / А. Б. Травин, Э. М. Сендерзон, В. П. Шорин, Т. А. Громова, Е. Е. Иванькова, К. С. Пермина, Е. М. Попова, В. Ф. Шугуров, Т. С. Юсупов // Под ред. И. Н. Звонарева. Новосибирск: Наука. 1966. 368 с.
9. Еремин, И. В. Петрография и физические свойства углей / И. В. Еремин, В. В. Лебедев, Д. А. Цикарев // М., Недра. 1980. 263 с.
10. Еремин, И. В. Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса / И. В. Еремин, А. С. Арцер, Т. М. Броневец // Кемерово: Притомское, 2001. – 399 с.
11. Жемчужников, Ю. А. Основы петрологии углей / Ю. А. Жемчужников, А. И. Гинзбург // М., Изд. АН СССР. 1960. 400 с.
12. Штах, Э. Петрология углей / Э. Штах, М.-Т. Маковски, М. Тейхмюллер, Г. Тейлор, Д. Чандра, Р. Тейхмюллер / Пер. с англ. Глушнева С. В., Дубровского В. В., Хасиной А. И. // М., «Мир». 1978. 554 с.
13. Тайц, Е. М. Методы анализа и испытания углей / Е. М. Тайц, И. А. Андреева // М., Недра, 1983. 301 с.
14. Августевич, И. В. Стандартные методы испытания углей. Классификация углей // М: НТК «Трек», 2008. 367 с.
15. Петрографический кодекс России // С.-Петербург, Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 160 с.
16. Арцер, А. С. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование / А. С. Арцер, С.И. Протасов // Кн. 1. Кемерово: Изд. Кузбасс. гос. техн. ун-та, 1999. 177 с.
17. Арцер, А. С. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование / А. С. Арцер, С. И. Протасов // Кн. 2. Кемерово: Изд. Кузбасс. гос. техн. ун-та, 1999. 168 с.
18. Лялюк В. П., Учитель А. Д., Ляхова И. А. и др. Качество подготовки шихты для коксования // Кокс и химия. 2011. № 8. С. 2-19.
19. Станкевич А. С., Круглов В. Н., Ворсина Д. В., Золотухин Ю. А. Модель оптимизации показателей качества кокса на основе химико-петрографических параметров углей и нелинейного программирования // Кокс и химия. 2010. № 7. С. 21-29.

20. Попова Н. К., Степанов Ю. В. Еще раз об оптимизации состава угольной шихты // Кокс и химия. 2013. № 5. С. 10 – 12.

21. Штарк П. В., Степанов Ю. В., Попова Н. К., Ворсина Д. В. Об оценке оптимальности состава угольной шихты// Кокс и химия. 2007. № 3. С. 2-6.

REFERENCES

1. Ergol'skaya Z. V. Himiko-plastometricheskoe i petrograficheskoe issledovanie uglej Kuzbassa // Himiya tverdogo topliva. 1937. Tom VIII. Vypusk 2. S. 97-108.
2. Petrologiya paleozojskih uglej SSSR (VIII Mezhdunarodnyj kongress po stratigrafii i geologii karbona) / Otv. redaktor I. V. Eremin // M.: Nedra, 1975. 215 s.
3. Iskopaemye ugli Sibiri i metody ih izucheniya / Otv. redaktor I.N. Zvonarev // Izd. «Nauka». Sib. otd-nie, Novosibirsk, 1971. S. 275.
4. Zaostrovskij, A. N. Petrograficheskij analiz uglej Pechorskogo bassejna / A. N. Zaostrovskij, N. V. Zhuravleva, R. R. Potokina, N. A. Grabovaya, Z. R. Ismagilov // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. 23 (2015), s. 131-134.
5. Zaostrovskij, A. N. Petrograficheskij sostav koksovyh uglej Kuzneckogo bassejna / A. N. Zaostrovskij, N. A. Grabovaya, Z. R. Ismagilov Z. R. // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. 24 (2016), s. 363-367.
6. Zaostrovskij, A. N. Ocenka koksuemosti uglej po pokazatelyam petrograficheskogo sostava / A. N. Zaostrovskij, N. A. Grabovaya, N. I. Fedorova, E. S. Mihajlova, Z. R. Ismagilov // Himiya ust. razv. 2018. T. 26, № 6. S. 589-595.
7. Zaostrovskij, A. N. Petrograficheskaya karakteristika gazovyh uglej Kuzbassa / A. N. Zaostrovskij, N. A. Grabovaya, E. S. Mihajlova, Z. R. Ismagilov // Koks i himiya. 2017. № 11. S. 25-30.
8. Travin, A. B. Atlas verhnepaleozojskih uglej Kuzneckogo bassejna / A. B. Travin, E. M. Senderzon, V. P. Shorin, T. A. Gromova, E. E. Ivan'kova, K. S. Permina, E. M. Popova, V. F. Shugurov, T. S. Yusupov // Pod red. I. N. Zvonareva. Novosibirsk: Nauka. 1966. 368 s.
9. Eremin, I. V. Petrografiya i fizicheskie svoystva uglej / I. V. Eremin, V. V. Lebedev, D. A. Cikarev // M., Nedra. 1980. 263 s.
10. Eremin, I. V. Petrologiya i himiko-tekhnologicheskie parametry uglej Kuzbassa / I. V. Eremin, A. S. Arcer, T. M. Bronovec // Kemerovo: Pritomskoe, 2001. – 399 s.
11. Zhemchuzhnikov, Yu. A. Osnovy petrologii uglej / Yu. A. Zhemchuzhnikov, A. I. Ginzburg // M., Izd. AN SSSR. 1960. 400 s.
12. Shtah, E. Petrologiya uglej / E. Shtah, M.-T. Makovski, M. Tejhmyuller, G. Tejlor, D. Chandra, R. Tejhmyuller / Per. s angl. Glushneva S. V., Dubrovskogo V. V., Hasinoj A. I. // M., «Mir». 1978. 554 s.
13. Tajc, E. M. Metody analiza i ispytaniya uglej / E. M. Tajc, I. A. Andreeva // M., Nedra, 1983. 301 s.
14. Avgushevich, I. V. Standartnye metody ispytaniya uglej. Klassifikaciya uglej // M: NTK «Trek», 2008. 367 s.
15. Petrograficheskij kodeks Rossii // S.-Peterburg, Izd-vo VSEGEI, 2009. 160 s.
16. Arcer, A. S. Ugli Kuzbassa: proiskhozhdenie, kachestvo, ispol'zovanie / A. S. Arcer, S.I. Protasov // Kn. 1. Kemerovo: Izd. Kuzbass. gos. tekhn. un-ta, 1999. 177 s.
17. Arcer, A. S. Ugli Kuzbassa: proiskhozhdenie, kachestvo, ispol'zovanie / A. S. Arcer, S. I. Protasov // Kn. 2. Kemerovo: Izd. Kuzbass. gos. tekhn. un-ta, 1999. 168 s.
18. Lyalyuk V. P., Uchitel' A. D., Lyahova I. A. i dr. Kachestvo podgotovki shihty dlya koksovaniya // Koks i himiya. 2011. № 8. S. 2-19.
19. Stankevich A. S., Kruglov V. N., Vorsina D. V., Zolotuhin Yu. A. Model' optimizacii pokazatelej kachestva koksa na osnove himiko-petrograficheskikh parametrov uglej i nelinejnogo programmirovaniya// Koks i himiya. 2010. № 7. S. 21-29.
20. Popova N. K., Stepanov Yu. V. Eshche raz ob optimizacii sostava ugol'noj shihty // Koks i himiya. 2013. № 5. S. 10 – 12.
21. Shtark P. V., Stepanov Yu. V., Popova N. K., Vorsina D. V. Ob ocenke optimal'nosti sostava ugol'noj shihty// Koks i himiya. 2007. № 3. S. 2-6.

Поступило в редакцию 10.12.2020
Received 10 December 2020