

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

Научная статья

УДК 662.741

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-60-69

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВ КАК ПАРАМЕТР, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЙ СВОЙСТВА КОКСУЮЩИХСЯ УГЛЕЙ

Заостровский Анатолий Николаевич

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН

*для корреспонденции: catalys01@rambler.ru



Информация о статье

Поступила:

01 июня 2023 г.

Одобрена после
рецензирования:

15 июня 2023 г.

Принята к публикации:

20 июня 2023 г.

Опубликована:

30 июня 2023 г.

Ключевые слова:

каменный уголь,
петрографический анализ
угля, показатель отражения
витринита, рефлектограмма,
шихта, индекс свободного
вспучивания, спекаемость,
коксуемость угля.

Аннотация.

Выполнен петрографический анализ углей и шихт в рефлектограммном режиме. Показано, что рефлектограммы являются эффективным средством контроля качества углей, поставляемых на коксование, а изменение их формы позволяет прогнозировать возможные изменения в производственном процессе при использовании различных шихт. Рефлектограммный анализ углей для коксования в сочетании с петрографическими показателями и с учётом петрографической неоднородности кузнецких углей, позволяет наиболее точно определять их свойства при составлении угольных шихт, т.е., способствует выбору направления шихтования, что обеспечивает рациональное использование угольных концентратов. Это особенно важно, когда концентраты представлены углями нескольких марок или типов, имеющих близкие между собой показатели качества, но с различными спекающими свойствами. Установлена зависимость индекса свободного вспучивания от отражательной способности витринита. Наиболее высокие значения показателя *SI* характерны для углей с наименьшим показателем отражения витринита. Увеличение вспучиваемости и, следовательно, уменьшение газопроницаемости пластической массы при возрастании содержания в углях витринита объясняется, по-видимому, уменьшением вязкости пластической массы в результате образования дополнительного количества жидких продуктов. При вспучивании пластической массы улучшается контакт между угольными зёрнами, что способствует лучшему их спеканию.

Для цитирования: Заостровский А.Н. Петрографический состав как параметр, характеризующий свойства коксующихся углей // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 3 (157). С. 60-69. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-60-69, EDN: MQVSKV

С развитием и использованием углепетрографии не только для решения геологических вопросов, но и задач прикладного направления появилась настоятельная необходимость в количественных методах оценки вещественного состава угля. В настоящее время количественные методы петрографического анализа проводятся по единой системе,

регламентированной ГОСТ Р 55662–2013 (ИСО 7404-3:2009), ГОСТ Р 55663-2013 (ИСО 7404-2:2009), ГОСТ Р 55659-2013 (ИСО 7404-5:2009) и ГОСТ 12112-78 с использованием автоматизированного анализатора (SIAMS 620) и специализированного программного обеспечения. Содержание микрокомпонентов под микроскопом определяется в аншлиф-брикетах в отражённом свете с масляной иммерсией при увеличении 300 раз.

Таблица 1. Характеристики исследованных углей

Table 1. Characteristics of the studied coals

Марка угля	Технический анализ, %			Спекаемость углей	
	W^a	A^d	V^{daf}	$Y, мм$	SI
Ж	1,4	5,5	34,3	29	9,0
К	0,8	4,9	21,2	13	7,0
КО	0,3	6,3	24,1	13	8,5
КС	1,3	9,5	19,8	17	1,5
ОС	0,5	3,3	21,6	6	4,5

Таблица 2. Петрографический состав углей

Table 2. Petrographic composition of coals

Марка угля	Петрографический состав, %				
	$R_{o,r}$	Vt	Sv	I	ΣOK
Ж	0,97	85	3	12	14
К	1,43	66	12	22	30
КО	1,18	69	7	24	29
КС	1,38	35	15	50	60
ОС	1,40	67	10	23	30

Примечание: R_o, r – отражательная способность витринита; Vt – витринит; Sv – семивитринит; I – инер-тинит; ΣOK – сумма отошающих компонентов.

Петрографический состав углей принято характеризовать по содержанию микрокомпонентов (мацералов), как элементарных составляющих углей. Для количественного определения соотношения марок или типов углей, поступающих на коксование, используют метод рефлектограммного анализа [1-3]. Обычные методы контроля качества концентрата с определением показателей выхода летучих веществ (V^{daf}) и толщины пластического слоя ($Y, мм$), а впоследствии отражательной способности витринита ($R_{o,r}$) и суммы отошающих компонентов (ΣOK) не объясняли причин ухудшения коксующести. При этом число марок углей в товарных концентратах некоторых обогатительных фабрик, поступающих на коксование, может достигать десяти, а число типов углей – порядка пятнадцати. Это относится к углям Кузнецкого бассейна.

Шихты для слоевого процесса коксования обычно имеют узкие пределы значений основных классификационных параметров (выхода летучих веществ и толщины пластического слоя). Марочный состав при этом изменяется в более широких пределах, но он слабо отражает действительный состав углей. Это обусловлено тем, что в ряде случаев под одной маркой на коксохимические заводы поставляют смесь углей шахтопластов, имеющих различный марочный состав. Например, концентрат углей марки К2 Кузнецкого бассейна представляет весьма сложную смесь углей различных марок и технологических групп и её возможно установить только рефлектограммным анализом.

Экспериментальная часть

Объектом исследования выбраны каменные угли коксующихся марок Кузнецкого бассейна, представляющие оптимальный марочный состав шихт для коксования, состоящих из спекающей основы (Ж), коксовой группы (К) и отошающей присадки (КС, КО, ОС).

Подготовка аналитических проб и технический анализ исследованных углей выполнен по стандартным методикам. Определение показателя толщины пластического слоя ($Y, мм$) проводили по единой классификации (ГОСТ 25543-2013), который наиболее пригоден для оценки углей со средней и умеренно высокой спекаемостью. Степень вспучивания угля может быть численно выражена значениями в пределах от 1,0 до 9,0 с шагом 0,5, а также в единицах длины или в процентах от первоначального объёма угольной загрузки. Давление расприания выражается в единицах давления на единицу площади. Существуют угли, сильно

вспучивающиеся, но проявляющие низкое давление расприания и, наоборот, иногда слабо вспучивающиеся угли отличаются высоким давлением расприания. Индекс свободного вспучивания (SI), как показатель спекаемости угля, определяли по виду нелетучего остатка, полученного при быстром нагревании измельчённого угля в закрытом тигле установленных размеров, путём сравнения контура этого остатка со шкалой нумерованных контуров стандартных образцов (ГОСТ 25543-2013). Индекс свободного вспучивания (SI), как показатель спекаемости угля, определяли по виду нелетучего остатка, полученного при быстром нагревании измельчённого угля в закрытом тигле установленных размеров, путём сравнения контура этого остатка со шкалой нумерованных контуров стандартных образцов (ГОСТ 25543-2013).

В таблице 1 приведён технический анализ и спекаемость изученных угольных концентратов, показывающие соответствие качественных характеристик углей требованиям коксохимического производства.

Индекс свободного вспучивания изменяется со стадией метаморфизма, достигая максимума при $R_{o, r} = 0,97-1,18$ % (рис. 1), и существенно зависит от петрографического состава, снижаясь при увеличении содержания инертинита (I) и суммы отошающих компонентов $\sum OK$. Номера профилей, с которыми совпадает профиль нелетучего остатка, показаны в таблице 1.

Петрографический анализ, выполненный в рефлектограммном режиме, является

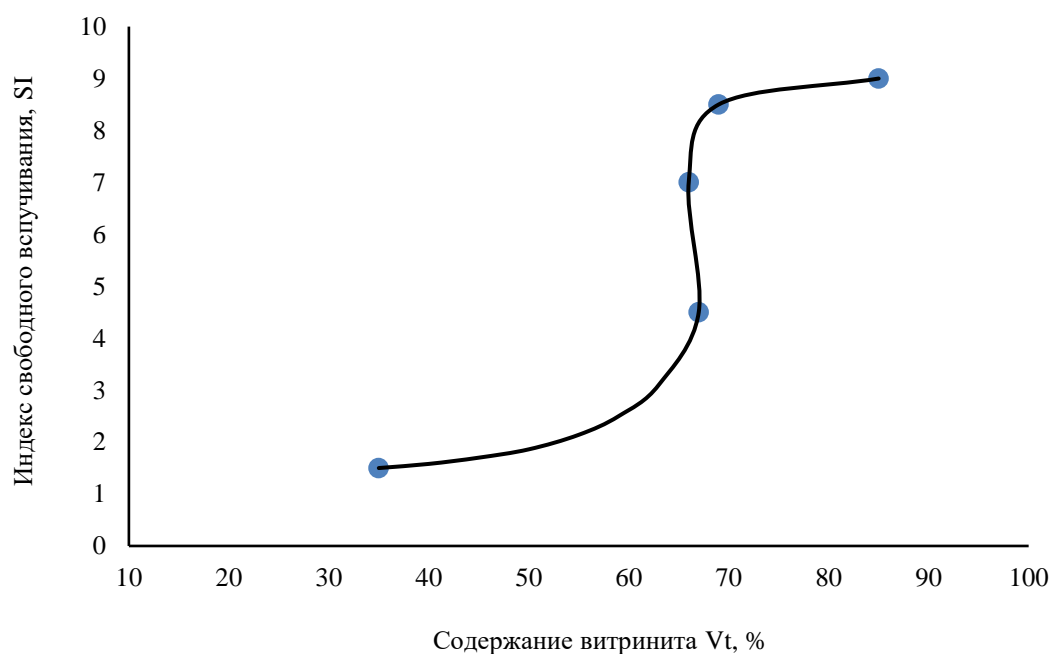


Рис. 1. Изменение вспучиваемости углей в зависимости от содержания в них витринита
Fig. 1. Change in the swelling of coals depending on the content of vitrinite in them

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.

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

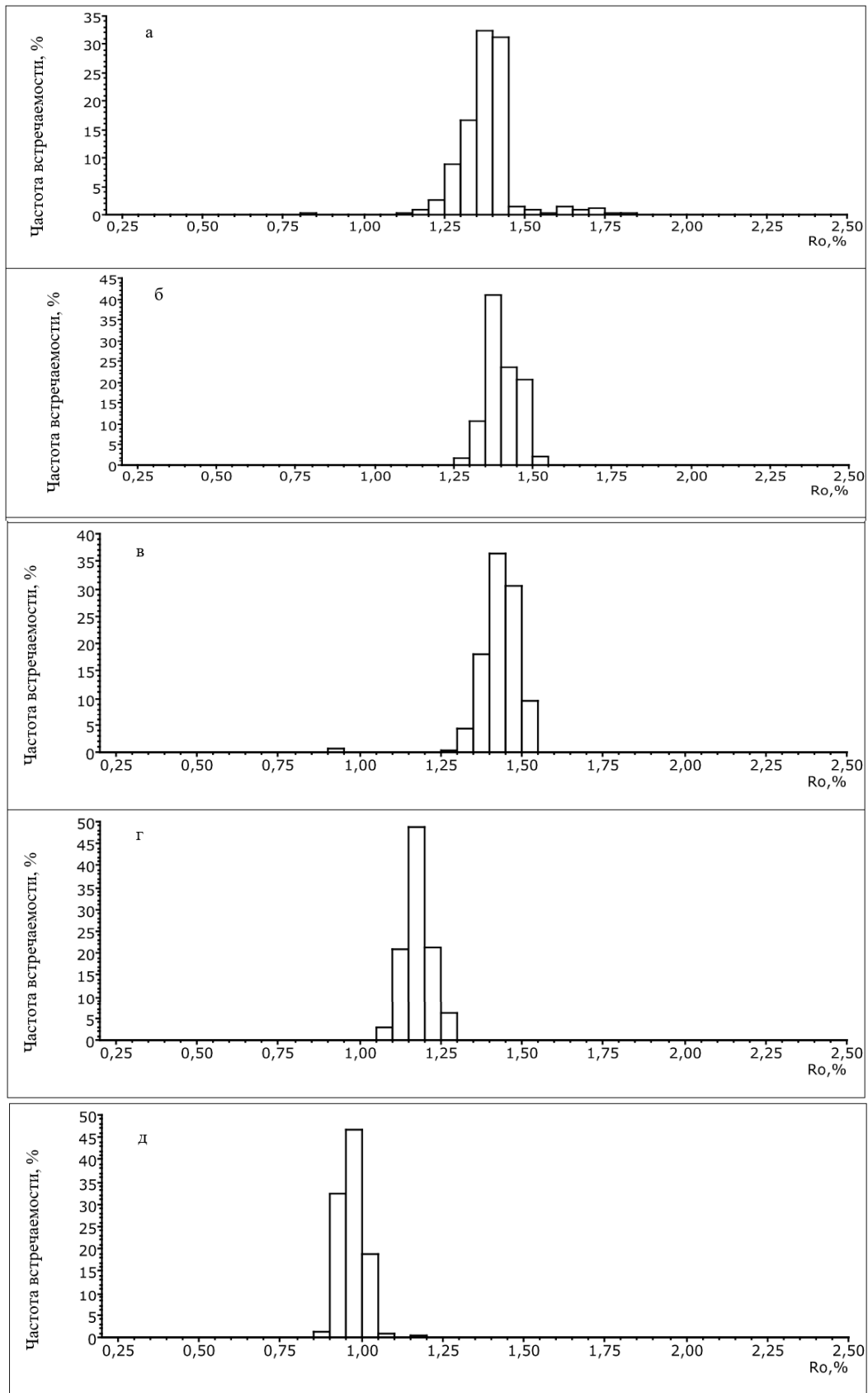


Рис. 2. Рефлектограммы углей: а - уголь КС; участок Коксовый; б - уголь ОС; участок Коксовый; в - уголь К; участок Коксовый; г - уголь КО; ш. Первомайская; д - уголь Ж; ш. им. С.Д. Тихова
 Fig. 2. Reflectograms of coals: a - coal CS; Coke plot; b - coal OS; Coke plot; c - coal K; Coke plot; g - coal CO; sh. Pervomayskaya; d - coal W; sh. im. S.D. Tikhov

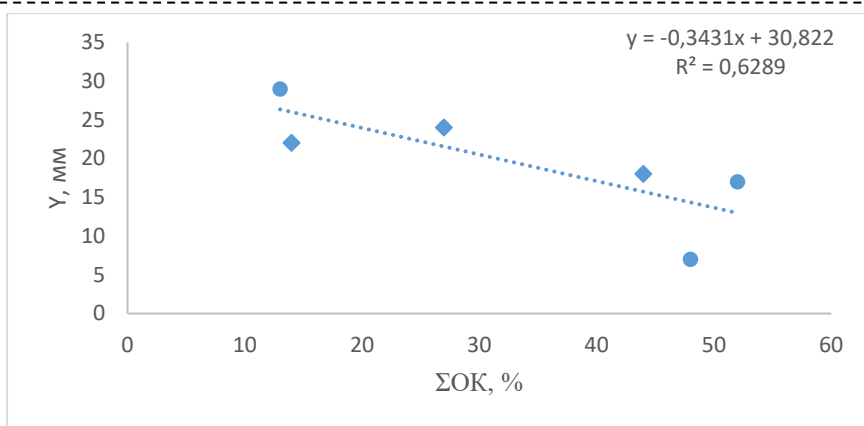


Рис. 3. Зависимость Y от ОК: круги – индивидуальные угли; ромбы – смесь углей [8]
 Fig. 3. Dependence of Y on OK: circles – individual coals; rhombuses – a mixture of coals [8]

Таблица 3. Сумма отощающих компонентов и спекаемость индивидуальных углей
 Table 3. Sum of thinning components and sinterability of individual coals

Марка	ОК (%)	Y (мм)	Литературный источник
Ж	12	30	[8]
Ж	14	29	Настоящая работа
КО	29	13	Настоящая работа
ОС	30	6	[8]
К	30	13	[8]
К	30	13	Настоящая работа
ОС	30	6	Настоящая работа
Г	35	9	[8]
КС	48	7	[9]
К	52	17	[9]
КС	55	8	[8]
КС	60	17	Настоящая работа

Результаты и обсуждение

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

Как показано в работе [8] при расположении углей каждой стадии метаморфизма в порядке увеличения содержания в них отощающих компонентов наблюдалась чёткая закономерность изменения их коксуемости (рис. 3). При переходе угля в пластическое состояние частицы отощающей добавки сорбируют на своей поверхности часть образующихся жидких продуктов, в результате чего повышается вязкость системы и уменьшается её вспучиваемость. Когда же содержание отощающих компонентов в смеси достигает критического для данного угля значения, образующихся жидких продуктов становится недостаточно для того, чтобы охватить поверхность всех твёрдых частиц. При этом повышается гетерогенность пластической массы с одновременным увеличением её газопроницаемости, что создаёт условия для быстрого разложения органической массы угля с выделением газообразных продуктов. Ранее в [8] показана линейная обратная корреляционная зависимость толщины пластического слоя от суммы отощающих компонентов с коэффициентом детерминации 0.63. В данной зависимости учитывались не только отдельные угли, но и их смеси (шихты).

Объединив аналитические данные по техническому и петрографическому анализам составлена таблица 3, учитывающая только индивидуальные угли. В таблице образцы углей приведены в порядке увеличения содержания отощающих компонентов.

Можно заметить, что функция, описывающая зависимость $Y=f(\Sigma OK)$ изменилась с линейной на параболическую с минимумом при $\Sigma OK \approx 41\%$, одновременно с этим значительно увеличился коэффициент детерминации.

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 изменяется не аддитивно, поскольку её изменение зависит от нескольких факторов. Показатель SI и толщина пластического слоя не являются альтернативными параметрами. Они характеризуют свойства, которые неодинаково изменяются в зависимости от стадии метаморфизма, петрографического состава и степени восстановленности, поэтому сопоставление углей на основе различных показателей спекаемости является актуальной и в то же время довольно сложной проблемой.

Для ряда углей Кузнецкого бассейна проведён анализ взаимосвязи показателя свободного вспучивания SI с петрографическим составом и толщиной пластического слоя Y , результаты которых приведены в таблицах 1 и 2 и в работе [8]. Свойства пластической массы угля, в первую очередь, связаны с такими показателями, как вспучивание угля и давление распираания, которые оказывают большое влияние на качество кокса и на поведение угля в процессе коксования. Под термином *вспучивание* понимают увеличение объёма угля, подвергаемого нагреванию при условии, что размягчённый уголь может свободно расширяться в направлении, перпендикулярном поверхности нагрева. Под *распираем*, или *давлением распираания*, принято понимать давление, которое размягчённая угольная масса проявляет в случае, когда она лишена возможности свободно расширяться. Зависимость толщины пластического слоя от суммы отощающих компонентов для широкого круга углей приведена на рис. 4.

В промышленных условиях при коксовании свободному расширению угля препятствуют стенки печи и слой вышележащей угольной загрузки. Только в самом верхнем (в подсводовом пространстве камеры коксования) тонком слое загрузки эти силы не уравновешены, поэтому здесь может проявляться вспучивание, ведущее к образованию так называемого губчатого кокса. Следовательно, при коксовании в промышленных печах не приходится считаться с вспучиванием пластической массы угля, а только с давлением распираания этой массы.

Давление распираания оказывает отрицательное влияние на стенки коксовой камеры, но положительное влияние на качество кокса. При вспучивании пластической массы улучшается контакт между угольными зёрнами, что способствует лучшему их спеканию. Давление распираания обуславливает прочность кокса, так как оно способствует более полному сращиванию размягчённых частиц угля, что приводит к образованию более плотного кокса. Пригодный для коксования уголь должен обладать достаточной спекаемостью и достаточным давлением распираания. Поэтому стремятся понижать его до безопасной нормы (не выше $0,2 \text{ кг/см}^2$) [10], полученной из данных заводской практики. Величина давления распираания зависит от большого числа факторов, а именно: от петрографического состава угля, от свойств пластической массы, выхода летучих веществ и т.д.

Результаты исследования углей, входящих в сырьевую базу коксования, показали, что угли Кузнецкого бассейна крайне разнообразны по петрографическому составу [11-15]. Уголь каждого пласта следует рассматривать как естественную шихту, состоящую из плавких и отощающих компонентов. Содержание отощающих компонентов в углях Кузбасса колеблется от 4 до 60 %. В зависимости от стадии метаморфизма отощающие компоненты по-разному влияют на спекаемость и коксуемость угля. Помимо метаморфизма на плавкость компонентов группы витринита влияет их степень восстановленности и окисленности. Таким образом, спекаемость углей является функцией, зависящей от петрографического состава, стадии метаморфизма и степени восстановленности. Особенно большое значение петрографическая характеристика имеет для слабоспекающихся углей. Толщина пластического слоя для углей различной стадии метаморфизма зависит от содержания носителей спекаемости (микрокомпоненты группы витринита), видна большая разница в спекаемости, характеризуемой через Y (мм), для углей, имеющих одинаковое содержание микрокомпонентов группы витринита.

Заклучение

Индекс свободного вспучивания прямо пропорционален текучести угля и содержанию витринита. Наиболее высокие значения показателя SI характерны для углей с наименьшим показателем отражения витринита. Увеличение вспучиваемости и, следовательно, уменьшение

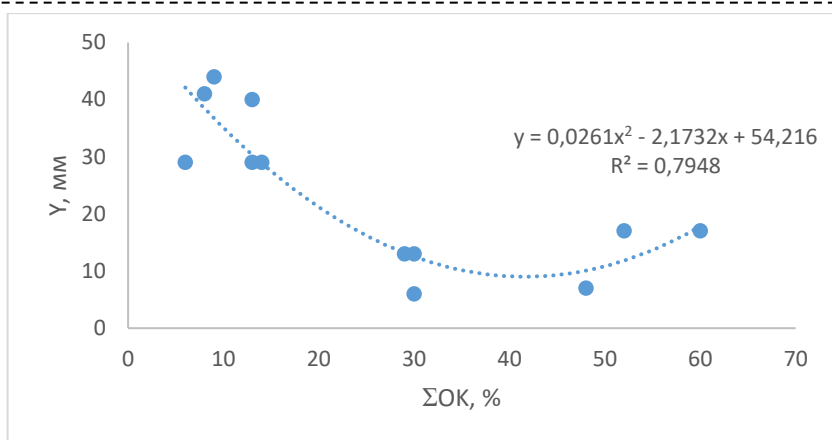


Рис. 4. Зависимость толщины пластического слоя (Y , мм) от содержания в углях отошающих (фюзенизированных) компонентов (ΣOK , %) [8]

Fig. 4. Dependence of the thickness of the plastic layer (Y , mm) on the content of emaciated (fusenized) components in the coals (ΣOK , %) [8]

газопроницаемости пластической массы при возрастании содержания в углях витринита объясняется, по-видимому, уменьшением вязкости пластической массы в результате образования дополнительного количества жидких продуктов. При вспучивании пластической массы улучшается контакт между угольными зёрнами, что способствует лучшему их спеканию.

Отражательная способность витринита как показатель степени метаморфизма имеет преимущества по сравнению с любым другим параметром, однако, технологические классификации углей построены на основе выхода летучих веществ. По-видимому, причиной этого являлось отсутствие стандартизованных методов определения отражательной способности витринита и чёткой градации углей по показателю отражения. К тому же на практике считают, что показатель выхода летучих веществ является технологическим параметром и в какой-то мере даёт сведения о поведении углей при коксовании.

Технологические свойства углей определяются в первую очередь их генетическими особенностями, то есть теми, которые обуславливают различную отражательную способность. По петрографическим особенностям угля (отражательная способность витринита) и сумме отошающих компонентов удаётся более надёжно судить, например, о его коксуемости, чем это можно сделать по выходу летучих веществ и пластометрическим показателям.

Взаимосвязь показателей, 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 даёт полную характеристику пластических свойств углей и практически заменяет все показатели спекаемости и коксуемости, применяемые в классификации углей и их оценки как сырья для производства кокса с учётом того, что в заводских условиях требуется быстрое определение коксуемых свойств углей.

Работа выполнена в рамках гос. задания ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН (проект ЕГЕСУ 121031500512 - 7, 2021-2025). Автор выражает благодарность вед. инженеру Н.А. Грабовой за выполнение петрографического анализа, вед. технологу В.А. Зубакиной за проведение технического анализа и определение спекаемости углей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотухин Ю.А. Применение рефлектограммного анализа при исследовании углей и шихт // Кокс и химия. 2002. № 8. С. 2-13.
2. 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.

3. Заостровский А.Н., Исмагилов З.Р. Рефлектограммный анализ углей и шихт Кузнецкого бассейна // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 3. С. 48-57.

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 коксуемости 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. Заостровский А.Н., Исмагилов З.Р. Петрографический метод оценки технологических свойств углей // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 2. С. 53-61.

9. Заостровский А.Н. Зависимость механической прочности кокса от суммы отошающих компонентов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 6 (148). С. 40-47. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-40-47.

10. Гофтман М.В. Прикладная химия твёрдого топлива. Гос. науч.-техн. изд-во по чёрн. и цвет. мет-гии. М.: 1963. С. 600.

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. Петрографический кодекс России // С.-Петербург, Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 160 с.

14. 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.

15. 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.

© 2023 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:

Заостровский Анатолий Николаевич, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН (650000, Россия, г. Кемерово, Советский пр., 18), канд. техн. наук, доцент, catalys01@ Rambler.ru

Заявленный вклад авторов:

Заостровский А.Н. – 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

PETROGRAPHIC COMPOSITION AS A PARAMETER CHARACTERIZING THE PROPERTIES OF COKING COALS

Anatoly N. Zaostrovsky

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry SB RAS

*for correspondence: catalys01@rambler.ru

**Article info**

Received:

01 June 2023

Accepted for publication:

15 June 2023

Accepted:

20 June 2023

Published:

30 June 2023

Keywords: Coal, petrographic analysis of coal, vitrinite reflection index, reflectogram, charge, free swelling index, sinterability, coking coal

Abstract.

Petrographic analysis of coals and charges was performed in the reflectogram mode. It is shown that reflectograms are an effective means of quality control of coals supplied for coking, and changing their shape makes it possible to predict possible changes in the production process when using various charges. The reflectogram analysis of coking coals in combination with petrographic indicators and taking into account the petrographic heterogeneity of Kuznetsk coals, allows for the most accurate determination of their properties when composing coal charges, i.e., contributes to the choice of the direction of charging, which ensures the rational use of coal concentrates. This is especially important when concentrates are represented by coals of several brands or types having similar quality indicators, but with different sintering properties. The dependence of the free swelling index on the reflectivity of vitrinite is established. The highest values of the SI index are characteristic of coals with the lowest vitrinite reflection index. An increase in the swelling and, consequently, a decrease in the gas permeability of the plastic mass with an increase in the content of vitrinite in the coals is apparently explained by a decrease in the viscosity of the plastic mass as a result of the formation of an additional amount of liquid products. When the plastic mass is expanded, the contact between the coal grains improves, which contributes to their better sintering.

For citation: Zaostrovsky A.N. Petrographic composition as a parameter characterizing the properties of coking coals. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 3(157):60-69. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-60-69, EDN: MQVSKV

REFERENCES

1. Zolotukhin YU.A. Primeneniye reflektogrammnogo analiza pri issledovanii ugley i shikht // Koks i khimiya. 2002. № 8. S. 2-13.
2. Zolotukhin YU.A. O vzaimosvyazi pokazatelya otrazheniya vitrinita ugley, smesey ugley i shchikht s nekotorymi kharakteristikami ikh kachestva // Koks i khimiya. 2018. № 4. S. 14-28.
3. Zaostrovskiy A.N., Ismagilov Z.R. Reflektogrammnyy analiz ugley i shikht Kuznetskogo basseyna // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2021. № 3. S. 48-57.
4. Zaostrovskiy, A.N. Petrograficheskiy analiz ugley Pechorskogo basseyna / A.N. Zaostrovskiy, N.V. Zhuravleva, R.R. Potokina, N.A. Grabovaya, Z.R. Ismagilov // Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. 23 (2015), s. 131-134.
5. Zaostrovskiy, A.N. Petrograficheskiy sostav koksovykh ugley Kuznetskogo basseyna / A.N. Zaostrovskiy, N.A. Grabovaya, Z.R. Ismagilov Z.R. // Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. 24 (2016), s. 363-367.
6. Zaostrovskiy, A.N. Otsenka koksuyemosti ugley po pokazatelyam petrograficheskogo sostava / A.N. Zaostrovskiy, N.A. Grabovaya, N.I. Fedorova, Ye.S. Mikhaylova, Z.R. Ismagilov // Khimiya ust. razv. 2018. T. 26, № 6. S. 589-595.
7. Zaostrovskiy, A.N. Petrograficheskaya kharakteristika gazovykh ugley Kuzbassa / A.N. Zaostrovskiy, N.A. Grabovaya, Ye.S. Mikhaylova, Z.R. Ismagilov // Koks i khimiya. 2017. № 11. S. 25-30.
8. Zaostrovskiy A.N., Ismagilov Z.R. Petrograficheskiy metod otsenki tekhnologicheskikh svoystv ugley // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2021. № 2. S. 53-61.
9. Zaostrovskiy A.N. Zavisimost' mekhanicheskoy prochnosti koksa ot summy otoshchayushchikh komponentov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2021. № 6 (148). S. 40-47. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-40-47.
10. Gofman M.V. Prikladnaya khimiya tvordogo topliva. Gos. nauch.-tekhn. izd-vo po chorn. i tsvet. met-gii. M.:

1963. S. 600.

11. Zhemchuzhnikov, YU.A. Osnovy petrologii ugley / YU.A. Zhemchuzhnikov, A.I. Ginzburg // М., Izd. AN SSSR. 1960. 400 s.

12. Shtakh, E. Petrologiya ugley / E. Shtakh, M.-T. Makovski, M. Teykhmyuller, G. Teylor, D. Chandra, R. Teykhmyuller / Per. s angl. Glushneva S.V., Dubrovskogo V.V., Khasinoy A.I. // М., «Mir». 1978. 554 s.

13. Petrograficheskiy kodeks Rossii // S.-Peterburg, Izd-vo VSEGEI, 2009. 160 s.

14. Artser, A.S. Ugli Kuzbassa: proiskhozhdeniye, kachestvo, ispol'zovaniye / A.S. Artser, S.I. Protasov // Kn. 1. Kemerovo: Izd. Kuzbass. gos. tekhn. un-ta, 1999. 177 s.

15. Artser, A.S. Ugli Kuzbassa: proiskhozhdeniye, kachestvo, ispol'zovaniye / A.S. Artser, S.I. Protasov // Kn. 2. Kemerovo: Izd. Kuzbass. gos. tekhn. un-ta, 1999. 168 s.

© 2023 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:

Anatoly N. Zaoostrovsky, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry SB RAS (650000, Russia, Kemerovo, Sovetsky pr., 18), Ph. D. tech. Sciences, Associate Professor, catalys01@rambler.ru

Contribution of the authors:

Anatoly N. Zaoostrovsky – statement of the research problem, scientific management; review of relevant literature; conceptualization of the study; data collection and analysis; conclusions, text writing

All authors have read and approved the final manuscript.

