

УДК 662.74

## ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАМЕННЫХ УГЛЕЙ КУЗБАССА

Федорова Наталья Ивановна<sup>1</sup>,  
канд. хим. наук, вед. науч. сотр., e-mail: [fedorovani@iccms.sbras.ru](mailto:fedorovani@iccms.sbras.ru)

Заостровский Анатолий Николаевич<sup>1</sup>,  
канд. техн. наук, доцент, вед. науч. сотр., e-mail: [catalys01@rambler.ru](mailto:catalys01@rambler.ru)

Зубакина Валентина Андреевна<sup>1</sup>,  
вед. технолог

Исмагилов Зинфер Ришатович<sup>1,2</sup>,  
чл.-корр. РАН, профессор, e-mail: [IsmagilovZR@iccmc.sbras.ru](mailto:IsmagilovZR@iccmc.sbras.ru)

<sup>1</sup>Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, 650000, Россия, г.Кемерово,  
Советский пр., 18

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

**Аннотация.** Исследованы технологические свойства некоторых углей Кузнецкого бассейна и оценена их возможность использования в шихтах высокотемпературного коксования.

**Ключевые слова:** каменный уголь, шихта, кокс, спекаемость, коксуемость

В настоящее время вопросы повышения качества кокса приобретают особую актуальность из-за снижения удельного расхода кокса на выплавку чугуна, увеличения объема доменных печей и внедрения технологических мероприятий для интенсификации процесса доменной плавки. Значение этих проблем еще более усугубляются в связи с ухудшением сырьевой базы коксования, связанной с нестабильностью как марочного состава поставляемых углей и концентратов, так и непостоянством показателей их качества. Отрицательный эффект ухудшения марочного состава углей можно компенсировать повышением уровня управления качеством угольных шихт, которое прежде всего основывается на показателях химико-технологических свойств сырья. Следовательно, исследование углей с применением комплекса методов оценки их качества представляется актуальным.

Цель проведенной работы – исследовать технологические свойства углей Кузбасса, используемых в процессе высокотемпературного коксования.

В качестве объектов исследования использовались товарные пробы углей с различных угледобывающих предприятий Кузбасса: шахты Бутовская, Талдинская-Южная, им. Тихова, им. Дзержинского.

Технический анализ углей проводили стандартными методами. Химический состав золы углей определяли стандартными методами в соответствии с ГОСТ 10538-87. Зольные остатки получали при 815<sup>0</sup>C согласно ГОСТ 11022-95. Золу для анализа получали медленным озолением аналитических проб углей в муфельной печи при темпера-

туре 815<sup>0</sup>C согласно ГОСТ 11022-95. Микроанализ золообразующих элементов осуществляли с использованием растрового электронного микроскопа *JSM-6390 LA "JEOL"*, имеющего в качестве аналитической приставки рентгеноспектральный анализатор *JED-2300*.

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.

Толщину пластического слоя определяли по ГОСТ 1186-87, индекс свободного вспучивания – по ГОСТ 20330-91, тип кокса по Грей-Кингу – по ГОСТ 16126-91, пластичность угля по методу Гиззера согласно американскому промышленному стандарту ASTM-D 2639-96.

Результаты технического анализа приведены в таблице 1. Видно, что наименьшей зольностью обладает образец угля № 2 (4.3%), максимальной – образец № 4 (12.7%). Выход летучих веществ изменяется в широких пределах от 41.5% из образца № 1 до 19.0% из образца № 4.

Химический состав проб зольных остатков исследованных углей приведен в таблице 2. Анализ показывает, что в составе золы преобладают оксиды кремния и алюминия. Величина отношения ( $I_o$ ), рассчитанная по формуле:  $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ , для всех образцов углей меньше единицы, что указывает на низкую основность их золы.

Все образцы углей являются среднеглиноземными (содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в золе в пределах 15-28%). Во всех образцах углей соотношение  $\text{SiO}_2 /$

$\text{Al}_2\text{O}_3$  имеет достаточно высокие значения от 1,55 в образце № 2 до 4,53 в образце № 3, что указывает о присутствии в их минеральной части в составе глинистого материала наряду с каолинитом и гидрослюд. В зольных остатках образцов № 2 и № 3 содержатся достаточно значимые количества оксидов кальция.

Характеристика петрографического состава исследованных образцов углей приведена в таблице 3. Совокупность проанализированных технологических параметров (показатель отражения витринита  $R_{o,r}$ , сумма отщающих компонентов  $\Sigma\text{OK}$ , выход летучих веществ  $V^{daf}$ ) позволил определить марочную принадлежность исследуемых углей.

Образец № 1 ( $R_{o,r} = 0,72\%$ ) можно отнести к технологической марки Г, который относится к группе слабоспекающихся углей. Образец № 2 – уголь технологической марки Ж, спекающаяся группа. Образец № 3 – технологическая марка КО, коксовая группа. Образец № 4 – марка КС, отщающая группа углей при составлении шихт для коксования. Наибольшее количество витринизированных компонентов содержится в углях марок Г и Ж. Угли марок КО и КС содержат наибольшее количества отщающих компонентов (57 и 47% соответственно).

Технологические показатели спекаемости исследованных углей приведены в таблице 4. Толщина пластического слоя ( $Y$ ) является одними из основных классификационных показателей в единой классификации углей [1, 2]. Для определения пластометрических характеристик используют навеску угля массой 100 г с измельчением менее 1,6 мм. Пробу угля подвергают медленному нагреву при постоянном давлении до конечной температуры 730°C в специальном металлическом стакане стандартной формы. В интервале температур 359–650°C, проводят измерения уровней пластического слоя.

В результате проведенных исследований уста-

новлено, что толщина пластического слоя для исследованных углей изменяется в широких пределах, но, однако, согласно их марочной принадлежности. Максимальной толщиной пластического слоя (22 мм) обладает образец № 2 технологической марки Ж.

Индекс свободного вспучивания ( $SI$ ) является показателем спекаемости угля. В соответствии с ГОСТ 20330-91 для проведения испытаний уголь измельчают до крупности 0,2 мм. Навеску угля массой в 1 г помещают в кварцевый тигель, накрывают крышкой и вносят в электропечь, нагретую до 850°C. Нагревание проводят в течение 150 с. Далее тигель вынимают и охлаждают. Нелетучий остаток сравнивают со шкалой стандартных профилей, каждому из которых присвоен определенный номер. Индекс свободного вспучивания есть номер шкалы, с которым совпадает профиль нелетучего остатка. Шкала включает 17 профилей от 1 до 9 с интервалом в 0,5 единицы. В углях Кузбасса индекс свободного вспучивания изменяется в пределах от нулевых значений до максимума, т.е. до 9 единиц.

Результаты проведенного анализа приведены в таблице 4. Видно, что индекс свободного вспучивания тесно связан с толщиной пластического слоя. Графический анализ фактического материала показал (рисунок 1), что величина  $SI$  практически линейно увеличивается с ростом толщины пластического слоя.

Спекаемость углей можно определять по методу Грей-Кинга. Установка для определения типа кокса включает электрическую трубчатую печь, кварцевую реторту, запаянную с одного конца, и приёмник для жидких продуктов разложения. Навеску угля, измельчением менее 0,2 мм в количестве 20 г, помещают в реторту, затем её устанавливают горизонтально в печь, предварительно нагретую до 325°C. Далее продолжают медленное нагревание до температуры 600°C со скоростью 5 °/мин и выдерживают при этой температуре 15

Таблица 1 – Техническая характеристика исследованных угольных образцов

№ образца	Место отбора, Шахта	Технический анализ, %		
		$W^d$	$A^d$	$V^{daf}$
1	Талдинская-Южная	1,8	7,4	41,5
2	им. Тихова	0,7	4,3	32,4
3	Бутовская	0,7	10,7	23,2
4	им. Дзержинского	1,0	12,7	19,0

Таблица 2 – Химический состав золы исследованных проб угля (масс. %)

№ образца	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SO}_3$	$I_0$
1	61,7	27,4	2,2	0,9	1,8	0,7	1,7	2,3	0,7	0,8	0,10
2	34,0	21,9	6,4	14,0	6,4	0,7	1,3	1,2	0,1	14,0	0,52
3	53,4	11,8	3,5	19,3	1,1	0,3	0,7	1,6	0	8,3	0,39
4	64,9	26,2	2,0	1,2	1,4	0,7	0,8	1,6	0,5	0,6	0,07

$$I_0 = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$

Таблица 3 – Характеристика петрографического состава исследованных образцов углей

№ образца	Петрографические параметры, %				Показатель отражения витринита		Марка угля согласно ГОСТ 25543-88
	$V_t$	$Sv$	$I$	$\Sigma\text{OK}$	$R_{o,r}$ , %	$\sigma_R$	
1	87,0	3,0	10,0	12,0	0,72	0,06	Г
2	81,0	2,0	17,0	19,0	0,98	0,05	Ж
3	38,0	16,0	46,0	57,0	1,11	0,09	КО
4	48,0	14,0	38,0	47,0	1,42	0,11	КС

$V_t$  – витринит,  $Sv$  – семивитринит,  $I$  – инертинит,  $\Sigma\text{OK}$  – сумма отощающих компонентов

Таблица 4 – Технологические параметры исследованных образцов углей

Наименование параметра	Значение параметра			
	№ образца угля			
	1	2	3	4
<b>Пластометрические показатели:</b>				
толщина пластического слоя, $Y$ , мм	10	22	7	6
<b>Индекс свободного всучивания <math>SI</math></b>	3,0	8,5	1,5	1,0
<b>Тип кокса по Грей-Кингу (<math>GK</math>)</b>	$G$	$G_{10}$	$C$	$B$
<b>Пластичность по методу Гизелера:</b>				
максимальная текучесть, кд/мин;	132	107124	45	1
температура размягчения, °C;	399	364	433	464
температура максимальной текучести, °C;	430	455	460	471
температура затвердевания, °C;	453	496	474	483
температурный интервал пластичности, °C.	54	132	41	19

мин. По аналогии с индексом свободного всучивания полученный нелетучий остаток сравнивают со шкалой эталонных образцов, каждому из которых присвоено определенное буквенное обозначение. Буквенным обозначениям параметра  $GK$  присвоены определенные числа с шагом в одну единицу. Например,  $A=1$ ,  $B=2$ ,  $C=3$ ,  $D=4$ ,  $E=5$  ...,  $G_{10}=17$ .

Известно, что тип кокса, определяемый по методу Грей-Кинга для углей Кузбасса колеблется во всем диапазоне от  $A$  до  $G_{10}$  [3]. Как и другие характеристики качества углей, показатель  $GK$  зависит от основных генетических факторов и корре-

ляционно связан с ними. На основе математической обработки показателей  $GK$ ,  $y$  и  $\Sigma\text{OK}$  в углях Кузбасса было получено уравнение следующего вида [3, 4]:

$$GK = 0,58y + 0,028y^2 + 0,106\Sigma\text{OK} - 0,01028y\Sigma\text{OK} - 4,81,$$

где  $GK$  – тип кокса по Грей-Кингу;  $y$  – толщина пластического слоя, мм;

$\Sigma\text{OK}$  – сумма фузенизированных компонентов, %.

Анализ приведенного уравнения показывает, что с повышением толщины пластического слоя показатель  $GK$  увеличивается. Однако, имеющие-

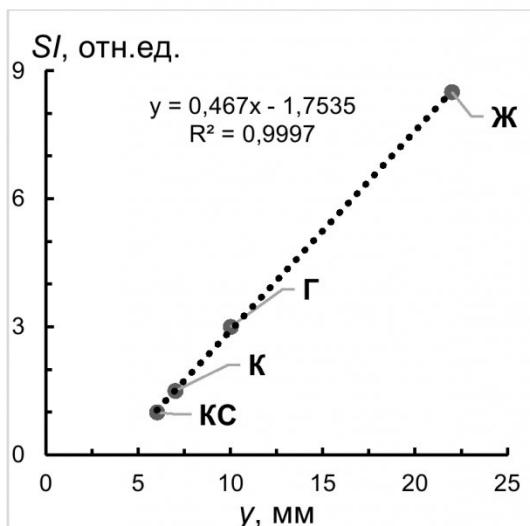


Рис. 1. Зависимость индекса свободного всучивания ( $SI$ ) от толщины пластического слоя ( $Y$ )

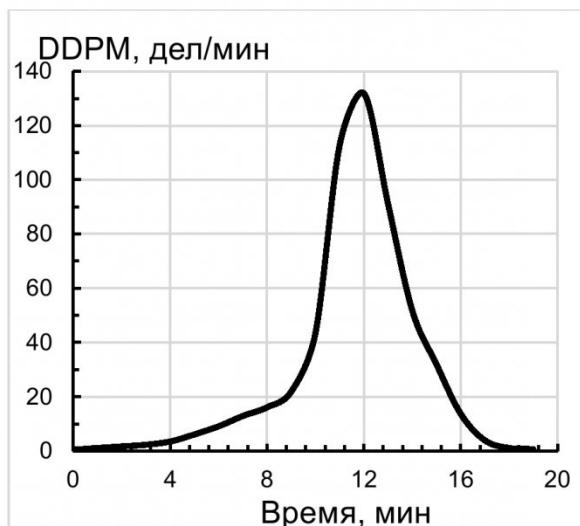


Рис. 2. Пластометрическая кривая угля марки Г, полученная по методу Гизелера.

ся фюзенизированные компоненты в составе органической массы угля, оказывают отрицательное влияние на тип кокса.

По приведенному уравнению для каждого исследованного угля были рассчитаны показатели  $GK$ , которые имели следующие значения: образец № 1 – 4 ( $D$ ), образец № 2 – 19 ( $G_{10}$ ), образец № 3 – 3 ( $C$ ), образец № 4 – 2 ( $B$ ). Расчетные значения типа кокса полностью совпадают с фактически полученными значениями (таблица 4).

Каменные угли как сырье для коксования обладают различной способностью переходить в пластическое состояние и спекаться. Угольная пластическая масса – сложная гетерогенная (трехфазная) система, состоящая из парогазовых, жидких и твердых продуктов, образующихся и непрерывно изменяющихся при нагревании без доступа воздуха спекающихся углей в интервале 300–550°C. Особую роль в процессе кокообразования принадлежит жидкой фазе. Кинетику перехода углей в пластическое состояние и процесса отверждения угольной пластической массы изучали с применением вискозиметра Гизелера.

Суть метода заключается в том, что пробу угля измельчением менее 425 мкм и массой 5 г, в которую помещена стержень-мешалка с лопастями, нагревают до температуры 500–550°C со скоростью 3 %/мин. Мешалка находится под воздействием постоянного крутящего момента. С увеличением температуры нагрева наступает момент, когда уголь переходит в пластическое состояние. При этом мешалка начинает вращаться, и максимальная скорость вращения достигается в период образования наибольшего количества пластической массы (восходящая ветвь пластометрической кривой на рисунке 2). В результате сложных процессов поликонденсации пластическая масса при дальнейшем нагревании начинает затвердевать с образованием твердого остатка. Скорость вращения уменьшается практически до нуля при температуре 470–500°C (нисходящая ветвь пластометрической кривой на рисунке 2) [5, 6].

Результаты оценки испытуемых углей по методу Гизелера приведены в таблице 4. Анализ полученных данных показывает, что максимальная пластичность углей повышается с увеличением толщины пластического слоя. Вероятно, это связано с тем, что с повышением количества пластической массы угля растет соответственно толщина пластического слоя и уменьшается (вследствие снижения вязкости) сопротивление массы враще-

нию мешалки пластометра, другими словами повышается скорость вращения последней. Из этого вытекает, что пластичность по Гизелеру, аналогично толщине пластического слоя, имеет большое значение при оценке пригодности углей для коксования.

В работе исследованы технологические свойства углей с различных угледобывающих предприятий Кузбасса (шахта Бутовская, шахта Талдинская-Южная, шахта им. Тихова, шахта им. Дзержинского) с применением комплекса методов анализа. Петрографический анализ позволил определить марочную принадлежность исследуемых углей. Образец с шахты Талдинская-Южная относится к технологической марки Г (газовый), шахты им. Тихова – к технологической марки Ж (жирный), шахты Бутовская – к марки К (коксовый) и с шахты им. Дзержинского – к технологической марки КС.

Результаты технического анализа показывают, что наименьшей зольностью обладает образец угля марки Ж (4.3 %), максимальная зольность выявлена в образце марки КС (12.7 %). Установлено, что во всех образцах в составе зольных остатков преобладают оксиды кремния и алюминия. Индекс основности золы меньше единицы.

По ГОСТ 1186-87 определены пластометрические показатели по методу Л.М. Сапожникова. Установлено, что толщина пластического слоя для исследованных углей изменяется согласно их марочной принадлежности. Максимальной толщиной пластического слоя ( $Y = 22$  мм) обладает образец угля технологической марки Ж. Наименьший показатель зафиксирован в образце угля марки КС ( $Y = 6$  мм).

Оценка спекаемости углей проведена по индексу свободного вслучивания (ГОСТ 20330-91) и методу Грэй-Кинга (ГОСТ 16126-91, ИСО 502:1982). Технологические показатели спекаемости указывают на возможность использования исследуемых углей в коксохимическом производстве, как в рядовом, так и в обогащенном виде.

Таким образом, технологические характеристики показывают, что из кузнецких углей может быть получен кокс с высокими показателями механической прочности. Полученные при этом показатели петрографической характеристики и неоднородности концентрата можно использовать для расчёта соответствующих показателей угольной шихты с целью оценки и прогноза качества кокса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемьев В.Б., Петрография углей и их эффективное использование / В.Б. Артемьев, И.В. Еремин, С.Г. Гагарин. – М.: Недра коммюникейшнс ЛТД, 2000. – 334 с.
2. Ерёмин, И.В. Марочный состав углей и их рациональное использование / И.В. Ерёмин, Т.М. Броновец. М.: Недра, 1994. – 256 с.
3. Ерёмин И.В. Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса / И.В. Ерёмин, А.С. Арцер, Т.М. Броновец. – Кемерово: Притомское, 2001. – 399 с.

4. Добронравов В.Ф. Взаимосвязь показателей спекаемости и петрографического состава для углей Кузбасса / В.Ф. Добронравов, Т.А. Вертикова, М.П. Ганова //Химия твердого топлива, 1982. - № 2. – С. 24-39.

5. Склляр М.Г. О механизме перехода углей в пластическое состояние / М.Г. Склляр, И.В. Нестеренко // Кокс и химия, 2000. - № 11-12. – С. 2-4.

6. Никитин Н.И. О кинетике образования угольной пластической массы / Н.И. Никитин, И.Н. Никитин // Кокс и химия, 2004. - № 3. – С. 12-17.

Поступило в редакцию 11.08.2015

**UDC 662.74**

## **CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF COKING COAL IN KUZBASS**

**Fojdorova Natalya I.<sup>1</sup>,**

C.Sc. (Chemical), Leading researcher, e-mail: [fedorovani@iccms.sbras.ru](mailto:fedorovani@iccms.sbras.ru)

**Zaostrovsky Anatoliy N.<sup>1</sup>,**

C.Sc. (Engineering), Associate Professor, Leading researcher, e-mail: [catalys01@rambler.ru](mailto:catalys01@rambler.ru)

**Zubakina Valentina A.<sup>1</sup>,**

lead technologist

**Ismagilov Zinfer R.<sup>1,2</sup>,**

Corresponding member of RAS, Professor, e-mail: [IsmagilovZR@iccmc.sbras.ru](mailto:IsmagilovZR@iccmc.sbras.ru)

<sup>1</sup>Institute of coal chemistry and chemical physics and materials science SB RAS, 18 av. Soviet, Kemerovo, 650000, Russia

<sup>2</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

**Abstract.** The technological properties of some coals of Kuznetsk basin are studied and their ability for using in the high-temperature coking charge is estimated.

**Keywords:** coal, charge, coke, caking, coking

## **REFERENCES**

1. Artem'ev, V.B., Petrografija uglej i ih effektivnoe ispol'zovanie / V.B. Artem'ev, I.V. Eremin, S.G. Gagarin. – M.: Nedra kommjuniikejshens LTD, 2000. – 334 s.
2. Erjomin, I.V. Marochnyj sostav uglej i ih raciona'l'noe ispol'zovanie / I.V. Erjomin, T.M. Bronovec. M.: Nedra, 1994. – 256 s.
3. Erjomin, I.V. Petrologija i himiko-tehnologicheskie parametry uglej Kuzbassa / I.V. Erjomin, A.S. Arcer, T.M. Bronovec. – Kemerovo: Pritomskoe, 2001. – 399 s.
4. Dobronravov, V.F. Vzaimosvjaz' pokazatelej spekaemosti i petrograficheskogo sostava dlja uglej Kuzbassa / V.F. Dobronravov, T.A. Vertikova, M.P. Ganova //Himija tverdogo topliva, 1982. - № 2. – S. 24-39.
5. Skljjar, M.G. O mehanizme perehoda uglej v plasticheskoe sostojanie / M.G. Skljjar, I.V. Nesterenko // Koks i himija, 2000. - № 11-12. – S. 2-4.
6. Nikitin, N.I. O kinetike obrazovaniija ugol'noj plasticheskoy massy / N.I. Nikitin, I.N. Ni-kitin // Koks i himija, 2004. - № 3. – S. 12-17.

Received: 11.08.2015