

УДК 662.73 : 552

DOI: 10.15372/KhUR20160313

## Исследование спекающихся свойств коксующихся углей

Н. И. ФЕДОРОВА<sup>1</sup>, А. Н. ЗАОСТРОВСКИЙ<sup>1</sup>, З. Р. ИСМАГИЛОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт углехимии и химического материаловедения  
Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения РАН,  
проспект Советский, 18, Кемерово 650000 (Россия)

E-mail: FedorovaNI@iccms.sbras.ru

<sup>2</sup>Институт катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения РАН,  
проспект Академика Лаврентьева, 5, Новосибирск 630090 (Россия)

### Аннотация

Исследованы спекающие свойства 22 образцов каменных углей с целью определения взаимосвязи индекса свободного вспучивания SI со стадией их метаморфизма ( $R_{o,r}$ ). Установлено, что показатель SI в ряду метаморфизма исследованных углей изменяется по кривой с максимумом в области  $R_{o,r} = 0.81 - 1.00$  %. Показано, что SI линейно увеличивается с ростом толщины пластического слоя в интервале значений  $y = 4 - 22$  мм. Полученное корреляционное уравнение можно использовать для определения расчетных значений индекса свободного вспучивания SI для углей с  $y < 22$  мм.

**Ключевые слова:** каменные угли, элементный состав, спекаемость, индекс свободного вспучивания, пластометрия, толщина пластического слоя

### ВВЕДЕНИЕ

Спекаемость относится к числу важнейших свойств углей, которые в значительной мере определяют направление их промышленного использования. В особенности это касается процессов коксования. Известно [1, 2], что спекание углей представляет собой сложный комплекс химических, физико-химических и физических процессов, сопровождающих две группы явлений: 1) переход в пластическое состояние, структурирование и отверждение пластической массы; 2) собственно спекание, иными словами, физическое и химическое сращивание остаточного материала угольных зерен. Для количественной оценки спекаемости углей имеются разнообразные методики, базирующиеся в основном на пластометрических и дилатометрических методах исследования. Отдельные методики оценки спекаемости, как правило, характеризуют различные аспекты указанных явлений, поэтому взаимо-

связи между различными оценками в ряду разных углей выявляются в виде корреляций.

Показателями спекаемости углей по ГОСТ 25543–88 и в Международной системе кодификации углей служат толщина пластического слоя  $y$  и показатель свободного вспучивания SI. При этом следует отметить, что ни  $y$  [3], ни SI [4] не являются альтернативными показателями спекаемости, так как определяются в различных условиях термического воздействия. Условия проведения пластометрических испытаний позволяют в определенной степени воспроизводить условия термических превращений угля при коксовании в промышленной коксовой печи. Определение SI проводят при быстром нагревании (“тепловой удар”) навески угля в условиях свободного расширения образующейся пластической массы в тигле с крышкой. Вспучиваемость характеризует качество пластической массы углей и определяется в основном ее вязкостью и выходом летучих веществ и, как след-

ствии, должна быть связана со стадией метаморфизма и петрографическим составом. Следовательно, представляется целесообразным исследовать зависимость индекса свободного вспучивания SI от стадии метаморфизма углей и их толщины пластического слоя  $y$ .

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объектов исследования выбраны 22 образца каменных углей с различных угледобывающих предприятий Кузбасса.

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

Петрографический анализ выполнен 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  $y$  определяли по ГОСТ 1186–87. Для определения пластометрических характеристик использовали навеску угля массой 100 г, измельчение частиц менее 1.6 мм. Пробу угля медленно нагревали при постоянном давлении до конечной температуры 730 °С в специальном металлическом стакане стандартной формы. В интервале температур 359–650 °С измеряли уровень пластического слоя.

Индекс свободного вспучивания SI определяли по ГОСТ 20330–91, предварительно измельчая уголь до крупности менее 0.2 мм. Навеску угля массой 1 г помещали в кварцевый тигель, накрывали крышкой и вносили в электропечь, нагретую до 850 °С. Нагревание проводили в течение 150 с. Далее тигель вынимали и охлаждали. Нелетучий остаток сравнивали со шкалой стандартных профилей, каждому из которых присвоен определенный номер. Индекс свободного вспучива-

ТАБЛИЦА 1

Характеристики петрографического состава исследованных образцов углей

Номер образца	Петрографические параметры, %				Показатель отражения витринита	
	Vt	Sv	I	ΣOK	$R_{0,r}$ , %	$\sigma_R$
1	92	2	6	7	0.58	0.02
2	91	2	7	8	0.59	0.03
3	91	2	7	8	0.60	0.03
4	88	3	9	11	0.61	0.04
5	88	2	10	12	0.63	0.04
6	90	2	8	10	0.81	0.05
7	90	1	9	10	0.83	0.04
8	88	1	11	12	0.88	0.05
9	68	1	31	32	0.89	0.07
10	78	3	19	21	0.96	0.04
11	86	3	11	13	0.96	0.03
12	85	3	12	14	0.97	0.04
13	39	14	47	57	1.01	0.11
14	31	14	55	64	1.14	0.08
15	35	15	50	60	1.15	0.06
16	33	14	53	62	1.18	0.07
17	35	17	48	59	1.21	0.12
18	38	15	47	57	1.31	0.11
19	40	14	46	55	1.33	0.06
20	65	11	24	32	1.37	0.05
21	35	15	50	60	1.38	0.10
22	45	17	38	49	1.39	0.10

Примечание. Vt – витринит, Sv – семивитринит, I – инертинит, ΣOK – сумма отошающих компонентов,  $R_{0,r}$  – показатель отражения витринита,  $\sigma_R$  – стандартное отклонение.

ТАБЛИЦА 2

Характеристика исследованных образцов углей

Номер образца	Технический анализ, %				Элементный состав, % на daf			Атомное отношение	
	$W^a$	$A^d$	$V^{daf}$	$S_t^d$	C	H	(O + N + S)	H/C	O/C
1	5.2	8.4	44.1	0.2	78.6	5.9	15.5	0.90	0.15
2	1.2	3.9	39.8	0.1	77.7	5.7	16.6	0.88	0.16
3	1.3	2.1	41.2	0.1	78.8	6.0	15.2	0.91	0.14
4	1.4	10.1	46.7	0.1	76.4	6.0	17.6	0.94	0.17
5	1.1	4.4	38.7	0.3	79.5	5.7	14.8	0.86	0.14
6	0.8	9.3	36.7	0.6	85.1	5.9	9.0	0.83	0.08
7	0.8	3.9	38.6	0.7	85.3	6.1	8.6	0.86	0.08
8	1.4	7.4	37.7	0.3	85.7	6.2	8.1	0.87	0.07
9	0.6	9.3	37.6	0.5	86.0	6.1	7.9	0.85	0.07
10	0.8	9.4	37.7	0.5	85.6	6.2	8.2	0.87	0.07
11	1.3	7.6	33.4	0.6	87.3	5.7	7.0	0.78	0.06
12	1.4	6.5	34.3	0.6	86.3	5.7	8.0	0.79	0.07
13	0.5	4.5	22.4	0.6	88.3	4.8	6.9	0.67	0.06
14	0.7	4.9	21.4	0.4	89.5	4.9	5.6	0.66	0.05
15	0.7	5.3	21.0	0.4	88.9	4.7	6.4	0.63	0.05
16	0.5	6.3	19.9	0.3	89.5	4.7	5.8	0.63	0.05
17	0.5	5.3	19.5	0.6	90.2	4.9	4.9	0.65	0.04
18	1.4	5.5	18.7	0.4	88.8	4.6	6.6	0.62	0.05
19	0.6	4.2	20.4	0.5	88.1	5.0	6.9	0.68	0.06
20	1.0	4.7	20.8	0.4	89.3	5.0	5.7	0.67	0.05
21	1.3	9.5	19.8	0.3	88.6	4.6	6.8	0.62	0.06
22	1.3	3.7	19.9	0.3	89.4	4.6	6.0	0.62	0.05

Примечание.  $W^a$  – влага аналитическая,  $A^d$  – зольность,  $V^{daf}$  – выход летучих веществ,  $S_t^d$  – общая сера, daf – сухое беззольное состояние образца.

ния соответствует номеру шкалы, с которым совпадает профиль нелетучего остатка. Шкала включает 17 профилей от 1 до 9 с интервалом в 0.5 ед. Для углей индекс свободного вспучивания SI изменяется в пределах 0–9 ед.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты петрографического анализа исследованных образцов углей приведены в табл. 1. Видно, что показатель отражения витринита  $R_{o,r}$  изменяется от 0.58 до 1.39 %, что указывает на различные стадии метаморфизма исследуемых углей. Анализ петрографического состава показывает, что наибольшее количество витринизированных компонентов Vt содержится в углях с показателем отражения витринита  $R_{o,r} = 0.58–0.97$  %. Образцы углей № 13–22 характеризуются максимальным содержанием отощающих компонентов  $\Sigma OK$ .

Результаты технического анализа и элементный состав углей приведены в табл. 2. Видно, что исследованные угли обладают различной зольностью, величина которой изменяется от 2.1 до 10.1 %. Выход летучих веществ и величина атомного отношения H/C изменяются согласно генетической зрелости углей. С ростом стадии метаморфизма (увеличение показателя  $R_{o,r}$ ) уменьшается выход летучих веществ и атомное отношение H/C и O/C.

Технологические показатели спекаемости исследованных углей приведены в табл. 3. Видно, что толщина пластического слоя для исследованных углей изменяется в широких пределах – от 4 до 32 мм (образец № 9).

Графический анализ полученных данных позволил определить основные особенности взаимосвязи индекса свободного вспучивания с параметрами  $y$  и  $R_{o,r}$ . Видно (рис. 1), что индекс свободного вспучивания SI практически линейно увеличивается с ростом толщины

ТАБЛИЦА 3

Технологические параметры исследованных образцов углей

Код образца	Пластометрические показатели, мм		SI
	$y$	$x$	
1	4	49	0.5
2	4	49	0.5
3	4	46	1
4	4	47	1
5	4	49	1
6	23	25	8.5
7	21	32	8.5
8	30	36	9
9	32	21	9
10	18	20	8
11	29	23	8.5
12	29	15	8.5
13	11	33	4.5
14	9	38	2
15	7	48	1
16	9	39	1
17	7	48	1
18	9	8	1.5
19	8	41	1.5
20	8	33	1.5
21	8	22	1.5
22	8	27	1

Примечание.  $y$  – толщина пластического слоя,  $x$  – пластометрическая усадка, SI – индекс свободного вспучивания.

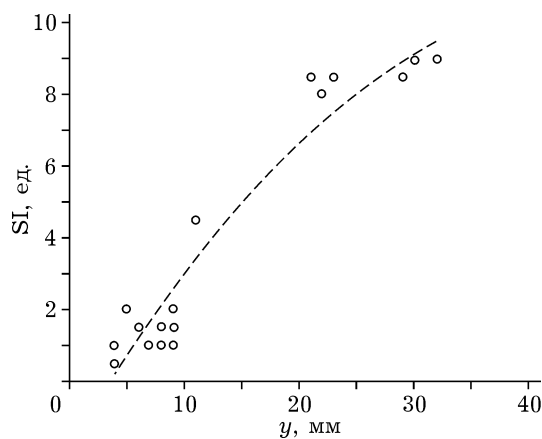


Рис. 1. Взаимосвязь между индексом свободного вспучивания SI и толщиной пластического слоя  $y$  для углей различной стадии метаморфизма и петрографического состава.

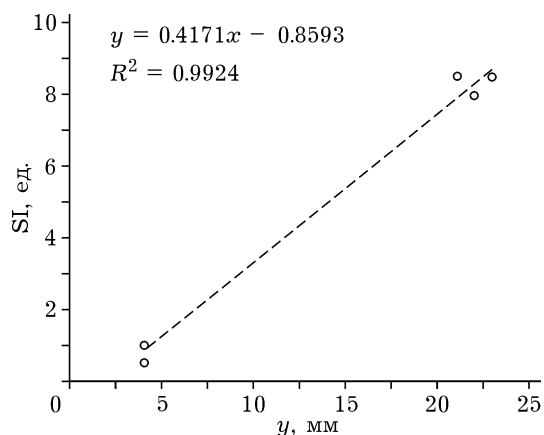


Рис. 2. Взаимосвязь между индексом свободного вспучивания SI и толщиной пластического слоя для углей с  $y = 4-22$  мм.

пластического слоя. Однако такое изменение наблюдается лишь в интервале значений  $y = 4-22$  мм (рис. 2). При  $y > 20$  мм индекс свободного вспучивания остается неизменным (SI = 8–9 ед.), поэтому с его помощью сложно идентифицировать угли с повышенной спекаемостью ( $y = 25-30$  мм). Однако практическая полезность полученной линейной зависимости SI от толщины пластического слоя для углей с  $y = 4-22$  мм очевидна (см. рис. 2), так как данное уравнение можно использовать для получения расчетных значений величины SI для углей с  $y < 22$  мм.

Диаграмма зависимости параметра SI исследованных углей от степени их метаморфизма  $R_{o,r}$  приведена на рис. 3. Наблюдается отчетливо выраженный максимум SI в области углей среднего участка генетического

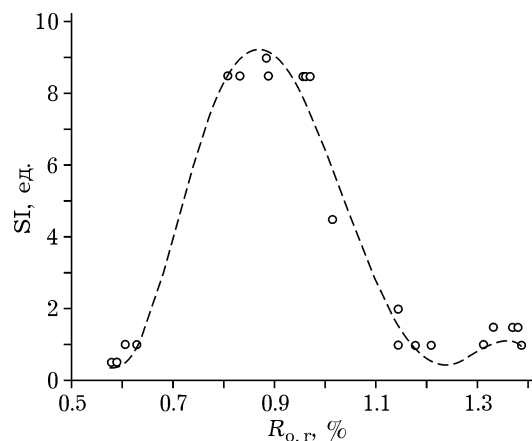


Рис. 3. Влияние степени метаморфизма углей  $R_{o,r}$  на их показатель свободного вспучивания SI.

ряда ( $R_{o,r} = 0.81-1.00 \%$ ), тогда как при переходе к менее или более зрелым углям значения SI быстро уменьшаются. Это может быть связано с петрографическим составом, так как для углей с  $R_{o,r} > 1.01 \%$  характерны максимальное содержание отощающих компонентов ( $\Sigma OK$ ), в частности инертинита I (см. табл. 1). Известно, что микрокомпоненты группы инертинита при термическом воздействии не переходят в пластическое состояние и наличие их фрагментов в пластической массе угля способствует повышению ее газопроницаемости и снижению вспучивания [1, 2, 5-7].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы 22 образца каменных углей с различных добывающих предприятий Кузбасса с применением различных методов анализа (технический и элементный анализы, петрографический анализ, пластометрические показатели по методу Сапожникова, индекс свободного вспучивания) с целью установления взаимосвязей индекса свободного вспучивания SI со стадией метаморфизма  $R_{o,r}$  и толщиной пластического слоя  $y$ . Установлено, что для исследованных образцов величина SI изменяется от 0.5 до 9 ед. Наиболее сильная связь выявлена между SI и толщиной пластического слоя  $y$ . Показано, что SI линей-

но увеличивается с ростом толщины пластического слоя в интервале значений  $y = 4-22$  мм. Полученное корреляционное уравнение можно использовать для получения расчетных значений SI для каменных углей Кузнецкого бассейна с  $y < 22$  мм. Показатели SI в ряду метаморфизма исследованных углей изменяются по кривой с характерным максимумом в области  $R_{o,r} = 0.81-1.00 \%$ . Содержание фюзенизированных компонентов в составе углей отрицательно влияет на величину SI.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН за помощь в выполнении и обсуждении результатов анализов: Н. А. Грабовой (петрографический анализ), Т. Г. Вычковой (элементный состав), В. А. Зубакиной (спекающие свойства углей).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Грязнов Н. С. Основы теории коксования. М.: Металлургия, 1976. 312 с.
- 2 Скляр М. Г. Физико-химические основы спекания углей. М.: Металлургия, 1984. 200 с.
- 3 ГОСТ 1186-87. Угли каменные. Метод определения пластометрических показателей. М.: Госстандарт, 1988. 21 с.
- 4 ГОСТ 20330-91. Уголь. Метод определения показателя вспучивания в тигле. М.: Госстандарт, 1991. 11 с.
- 5 Гагарин С. Г., Головин Г. С., Гюльмалиев А. М. // ХТТ. 2006. № 1. С. 12.
- 6 Федорова Н. И., Семенова С. А., Исмагилов З. Р. // ХТТ. 2013. № 4. С. 51.
- 7 Федорова Н. И., Лырщиков С. Ю., Хицова Л. М., Исмагилов З. Р. // Химия уст. разв. 2015. Т. 23, № 2. С. 111.

