

Научный журнал

ВЕСТНИК

Сибирского
государственного
индустриального
университета

№ 3 (29), 2019

Основан в 2012 году
Выходит 4 раза в год

Учредитель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

Редакционная коллегия

М.В. Темлянецв
(главный редактор)
А.В. Новичихин
(отв. секретарь)

П.П. Баранов

Е.П. Волынкина
Г.В. Галевский
В.Ф. Горюшкин
В.Е. Громов
Л.Т. Дворников
Жан-Мари Дрезет
Стефан Золотарефф
Пенг Као
С.В. Коновалов
С.М. Кулаков
А.Г. Никитин
Е.Г. Оршанская
Т.В. Петрова
Е.В. Протопопов
В.И. Пантелеев
Арвинд Сингх
А.Ю. Столбоушкин
И.А. Султангузин
А.В. Феокистов
В.Н. Фрянов
В.П. Цымбал
Си Чжан Чен

СОДЕРЖАНИЕ

Коротков С.Г., Темлянецв М.В., Стерлигов В.В. 85 лет в системе высшего образования. К юбилею кафедры теплоэнергетики и экологии СибГИУ.....3

Павловец В.М. Использование порообразующих добавок растительного происхождения при производстве железосодержащего окискованного сырья.....14

Темлянецв М.В., Коротков С.Г., Темлянцева Е.Н. Развитие теории и практики малоокислительных и малообезуглероживающих технологий нагрева стали.....21

Михайличенко Т.А., Алшынбаев С.Д. Оценка возможности замены ископаемого топлива на пеллеты из древесных отходов (биотопливо) в условиях Кемеровской области.....25

Павловец В.М. Обсуждение механизма порообразования зародышей, сформированных принудительным зародышеобразованием в производстве окатышей.....29

Достов Е.С., Коротков С.Г., Анищенко И.В. Влияние фракционного состава угля на качество кокса.....36

Медиокритский Е.Л. Решение проблемы утилизации твердых бытовых отходов в Польше и не только.....41

Рефераты.....46

К сведению авторов.....50

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-52991 от 01.03.2013 г.

Адрес редакции:

654007, Кемеровская обл., г. Ново-
кузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский
государственный
индустриальный университет
каб. 433 М
тел. 8-3843-74-86-28
http: www.sibsiu.ru
e-mail: vestnicsibgiu@sibsiu.ru

Адрес издателя:

654007, Кемеровская обл., г. Ново-
кузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский
государственный
индустриальный университет
каб. 336 Г
тел. 8-3843-46-35-02
e-mail: rector@sibsiu.ru

Адрес типографии:

654007, Кемеровская обл., г. Ново-
кузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский
государственный
индустриальный университет
каб. 280 Г
тел. 8-3843-46-44-02

Подписные индексы:

Объединенный каталог «Пресса
России» – 41270

Подписано в печать

30.09.2019 г.

Выход в свет

30.09.2019 г.

Формат бумаги 60×88 1/8.

Бумага писчая.

Печать офсетная.

Усл.печ.л. 3,06.

Уч.-изд.л. 3,3.

Тираж 300 экз.

Заказ № 226.

Цена свободная.

*Е.С. Достов¹, С.Г. Коротков², И.В. Анищенко¹*¹ООО «Прокопьевский горно-проектный институт»²Сибирский государственный индустриальный университет**ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА УГЛЯ НА КАЧЕСТВО КОКСА**

Кокс является важнейшим компонентом для работы доменных печей. Сгорая в доменной печи, кокс дает тепло, т.е. является топливом, а также восстанавливающим агентом. Для получения кокса хорошего качества используют, в основном, высококачественные коксующиеся угли [1]. Качество кокса зависит от содержания в нем углерода, условий коксования и предварительной обработки, а также от качества угля. Во всем мире на многих коксовых заводах в промышленных масштабах применяются методы предварительной обработки материалов для получения кокса, такие как предварительный нагрев, смешивание брикетов, загрузка шихты с трамбованием, групповое дробление и другие [2].

К концентратам для коксования предъявляют следующие требования: спекаемость (коксующая способность) должна быть достаточной для участия данного концентрата в общей шихте; зольность – находиться в пределах, допустимых для данной марки угля; содержание серы должно быть минимально допустимым.

Коксующиеся угли в отличие от других при нагревании без доступа воздуха переходят в пластическое состояние и спекаются [3]. Поскольку угли Кузнецкого бассейна очень разнообразны по своим технологическим свойствам и генетическим характеристикам, особое внимание должно уделяться методам их предварительной обработки на различных металлургических комбинатах с целью оптимизации потребления [4, 5].

Добываемые в шахтах и разрезах угли представляют собой многокомпонентную смесь органических и неорганических частей угольных пластов и различных примесей, попадающих в эту смесь из прослоек угольного пласта вмещающих его пород в процессе добычи и транспортировки. Компоненты в составе угля имеют различную твердость, поэтому при измельчении, как правило, в мелкие фракции выделяются менее твердые компоненты, а в крупные фракции – более твердые [6, 7].

Коксуемость материала различных фракций отличается, поэтому данный фактор является одним из основных в исследовании методом

«дифференцированного (выборочного) грохочения». Метод основан на принципе селективного (выборочного) дробления и направлен на контроль степени раздробленности различных компонентов угля, а также степени раскрытия сростков полезного компонента.

Дифференцированное (выборочное) грохочение является инновационным методом, при помощи которого смешиваемый уголь подвергается нетрадиционному процессу грохочения с выделением ряда фракций. За счет улучшения свойств угольных фракций возможно улучшить качество кокса.

Для проведения исследования в качестве сырья были отобраны 6 проб угля различных угледобывающих предприятий Кузнецкого бассейна. Многообразие свойств и качественных отличий углей определяет необходимость учета и диагностики его свойств для выбора рациональных способов его подготовки и использования [8]. Для всех углей определялись зольность и содержание летучих веществ (индекс вспучивания в тигле (CSN), максимальная текучесть и температурные границы пластичности), петрографические свойства (содержание реактивных (витринит и полувитринит) и инертных компонентов) [3, 6]:

Образец угля.....	1	2	3	4	5	6
Зольность, %.....	17,9	10,1	14,1	14,2	9,8	8,8
Содержание летучих, %.....	18,57	21,90	24,60	22,71	20,78	30,90
Макс. текучесть, кд/мин.....	405	721	3420	95	54	5
CSN.....	4,5	9,0	5,0	8,0	8,0	4,5

Затем каждая проба проходила стадию дробления. После дробления уголь просеивали через сито с различными размерами ячеек: +3,2, –3,2 +1,6, –1,6 +0,8, –0,8 +0,5, –0,5 +0,2 и –0,2 мм (рис.1). Каждую пробу готовили отдельно, после чего осуществляли анализ коксуемости каждой пробы (фракции) с целью выделения фракции, имеющей наиболее высокий показатель коксуемости, с последующим добавлением ее в шихту.

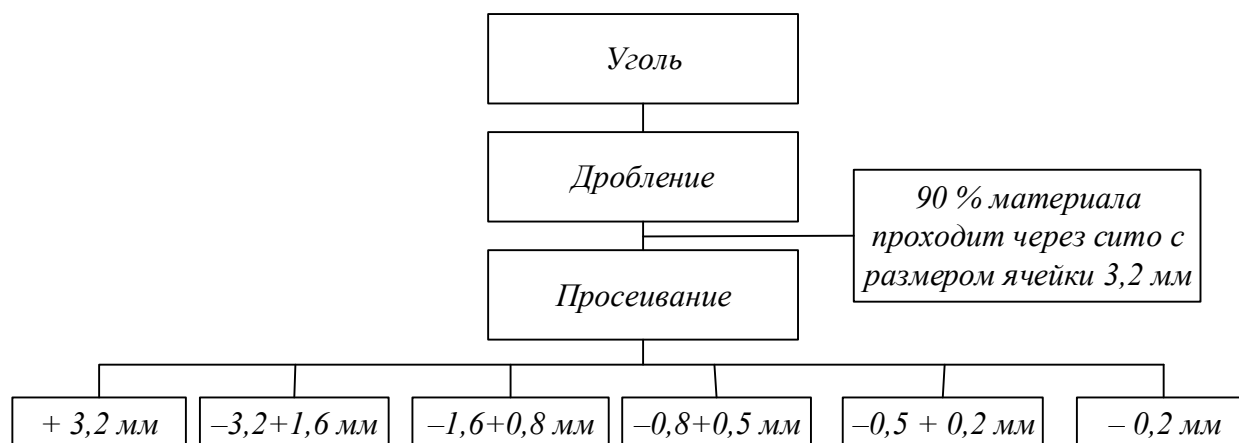


Рис. 1. Дробление и дифференцированное грохочение угля

Из каждой пробы угля выделяли по шесть фракций различной крупности, которые далее отправляли на анализ их свойств.

Технический анализ фракций проводился в соответствии с ГОСТ 33625 – 2015. Вспучиваемость углей оценивали по индексу вспучивания в тигле (CSN) по ГОСТ 20330 – 91. Текучесть определяли в пластометре Гизелера с постоянным крутящим моментом (ГОСТ 32561 – 2013). Петрографический состав определяли по ГОСТ 9414 – 74 [3, 5].

Рис. 2 и 3 показывают колебания зольности и содержания летучих веществ в зависимости от фракции проб угля. Видно, что в общем зольность уменьшается при уменьшении крупности фракции. Это объясняется сосредоточением более твердых минеральных частиц и более инертных компонентов во фракциях большей крупности. Установлено, что при увеличении крупности фракции содержание летучих веществ уменьшается.

Рис. 4 показывает изменение индекса вспучивания в тигле в различных фракциях различных типов углей. Было отмечено, что индекс CSN имеет максимальное значение в самой мелкой фракции (–0,2 мм).

В табл. 1 отражена максимальная текучесть для различных фракций шести типов углей. Установлено, что значение максимальной текучести возрастает по мере снижения крупности фракций до определенного момента, а затем начинает снижаться.

По анализам состава петрологическим методом для большинства типов углей, а именно для проб 1, 3, 4 и 6, максимальное содержание реактивных частиц достигается во фракции –0,5 +0,2 мм. Для двух других проб углей (2 и 5) это значение максимально в самых мелких фракциях. По инертным компонентам ситуация прямо противоположная. В целом сделан вывод, что по мере снижения крупности фракций (от крупных до мелких) свойства большинства типов углей улучшаются. При нагревании реактивные мацеральные витринит и экзинит размягчаются, связывают инертные компоненты, а затем повторно затвердевают в кокс. Поскольку содержание реактивных компонентов в мелких фракциях выше, соответственно и их пластические характеристики улучшаются [7].

Ряд испытаний на коксуюемость проводился в лабораторной печи (емкостью 7 кг), работающей с трамбованием загрузочной шихты. Подготовку шихты проводили двумя способами.

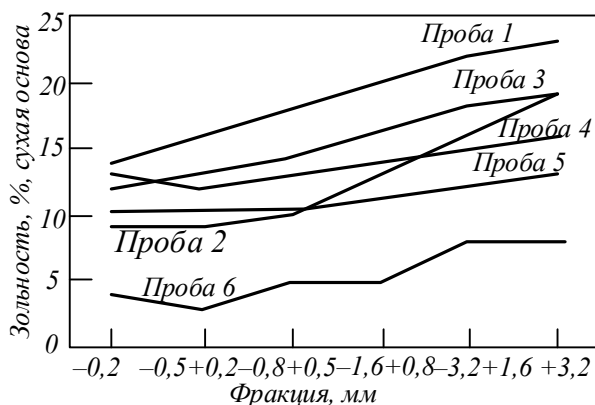


Рис. 2. Изменение зольности в различных фракциях шести проб углей

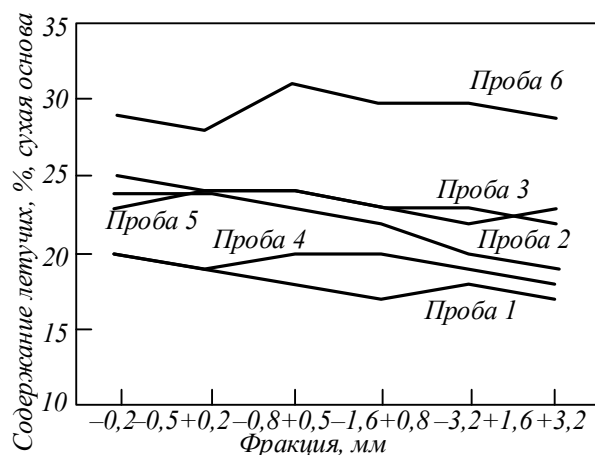


Рис. 3. Изменение содержания летучих веществ в различных фракциях шести проб угля

В первом случае использовали шихту, полученную традиционным грохочением, при котором материал дробится и затем смешивается. Во втором случае часть угля/угольной шихты заменяли определенной фракцией, полученной в ходе проведения дифференцированного (раздельного) грохочения. Воду добавляли в шихту для получения материала определенной влажности. Угольные брикеты прессовали до объемной плотности 1150 кг/м^3 . Печь разогревали до температуры $900 \pm 5^\circ\text{C}$, затем в нее загружали готовую шихту. После 5 ч коксования горячий кокс выталкивался и остужался водой. Испытания на коксование проводились для изучения влияния отдельных фракций угля в условиях загрузки шихты. Для проб кокса в основном проводился анализ на его горячую прочность (CSR) и реакционную способность (CRI). Качество полученного кокса сравнивали исходя из результатов анализа его свойств.

Индексы CSR и CRI отобранных проб кокса определяли в соответствии с ГОСТ Р 54250 – 2010 (ИСО 18894:2006). Подготовленная для испытаний порция кокса массой 200 г крупностью 19 – 22 мм нагревалась в камере реактора

до 1100°C в атмосфере азота. Для проведения испытания атмосферу азота заменяли на диоксид углерода на 2 ч. После испытания реакционную камеру остудили приблизительно до 50°C в атмосфере азота. В течение двух часов выделялся диоксид углерода со скоростью 5 л/мин.

Показателем реакционной способности является разность масс порций кокса до и после реакции с диоксидом углерода, выраженная в процентах от массы порции до реакции. Оставшийся (непрореагировавший) кокс помещали на 30 мин в барабан специальной конструкции, делающий 600 оборотов за 30 мин. После этого кокс просеивали через сито с размером ячейки 10 мм, а процентная доля фракции +10 мм принималась за показатель прочности кокса CSR.

Исходя из свойств фракций были разработаны испытания на коксуюемость. При исследовании коксуюемости каждый тип угля коксовался отдельно, а качество полученного кокса оценивалось по индексу прочности CSR. Затем часть угля этого же типа замещалась наиболее качественными фракциями, выделенными из него, и выполнялось коксование полученной шихты. Качество кокса анализировалось в обоих случаях.

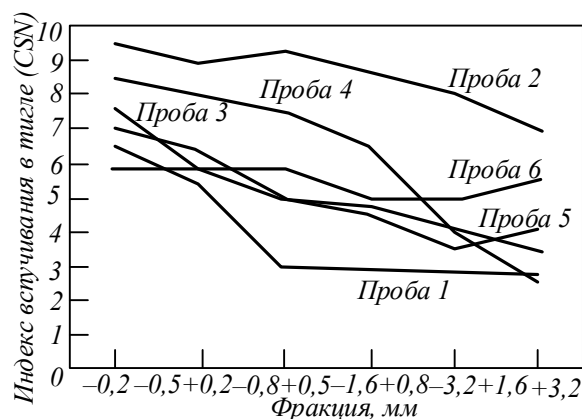


Рис. 4. Изменение индекса вспучивания в тигле (CSN) в различных фракциях шести проб угля

Т а б л и ц а 1

Текущность различных фракций углей						
Крупность фракции, мм	Значение текущести, кд/мин, для пробы					
	1	2	3	4	5	6
+3,2	8	31	1602	202	3	25
–3,2+1,6	10	71	1473	178	8	30
–1,6+0,8	89	243	3105	371	10	15
–0,8+0,5	85	157	3420	275	45	28
–0,5+0,2	723	201	5437	491	349	32
–0,2	438	41	1830	131	51	7

Для проведения испытаний использовали пробы угля 1 и 6, относящегося к маркам коксовые и жирные [9]. Результаты испытаний внесены в табл. 2. Коксование пробы 1 проводилось с трамбованием загрузочной шихты (в табл. 2 шихта 1). Затем 10 % пробы 1 замещалось выделенной из угля этой пробы фракцией –0,5 +0,2 мм, и полученная шихта (в табл. 2 шихта 2) коксовалась. После проведения анализа выявлено, что индекс CSR кокса шихты 2 повысился. Схожее испытание проводилось с пробой 6. Было установлено, что при замещении определенной доли угля фракцией –0,8 +0,5 мм качество кокса улучшалось (в табл. 2 шихта 3 и 4).

Шихта 5 является рыночным продуктом, используемым на коксовом заводе. В его состав входит 10 % угля из пробы 1. В шихте 6 уголь пробы 1 замещался выделенной из него фракцией –0,5 +0,2 мм, в результате чего наблюдалось улучшение коксующести шихты.

Все испытания проводились неоднократно, средние значения регистрировались. Получен-

ные результаты говорят о том, что предварительная подготовка угольной шихты является важным фактором для ее гомогенизации – уменьшения степени неоднородности. Также установлено, что необходимое значение индекса прочности кокса CSR возможно достигнуть путем замещения части определенного угля выделенной из него фракцией определенной крупности, что позволяет улучшить индекс CSR той же шихты.

Выводы. Коксовый уголь является очень ценным продуктом. Он имеет определенный химический состав и свойства, что придает ему способность спекаться и коксоваться. При этом коксующесть различных фракций угля отличается, что обусловлено колебаниями содержания реактивных и инертных компонентов в составе фракций [9]. Метод дифференцированного (раздельного) грохочения позволяет улучшить качество кондиционного металлургического кокса за счет использования в шихте угольных фракций с наилучшими свойствами.

Т а б л и ц а 2

Результаты испытаний на коксующесть

Шихта	Содержание	Свойства шихты		Свойства кокса			
		Зольность, %	Содержание летучих веществ, %	CSR	CRI	Зольность (сухая основа), %	Содержание летучих веществ (сухая основа), %
1	100 % пробы 1	17,90	18,57	50,1	29,8	22,1	0,60
2	90 % пробы 1 и 10 % выделенной фракции из пробы 1 (–0,5 + 0,2 мм)	16,54	18,89	54,1	27,6	19,9	0,70
3	100 % пробы 6	8,80	30,90	43,8	41,1	9,3	0,3
4	90 % пробы 6 и 10 % выделенной фракции из пробы 6 (–0,8 + 0,5 мм)	4,85	31,50	48,7	37,9	6,88	0,11
5	Коммерческая шихта + 10 % пробы 1	17,70	21,05	54,9	33,7	19,5	0,5
6	Коммерческая шихта + 10 % выделенной фракции из пробы 1	16,90	22,10	56,8	31,2	18,3	0,52

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Техника и технология углей. Справочное руководство / В.В. Беловолов, Ю.Н. Бочков, М.В. Давыдов и др.; под ред. В.А. Чантурия, А.Р. Молявко. – М.: Наука, 1995. – 622 с.
2. Шмельцер Е.О., Лялюк В.П., Соколова В.П. Исследование влияния подготовки угольных шихт на качество металлургического кокса // Вестник Приазовского государственного технического университета. 2015. Т. 1. Вып. 30. С. 26 – 36.
3. Стандартные методы испытания углей. Классификация углей / И.В. Авгушкевич, Т.М. Броневец, Г.С. Головин, Е.И. Сидорук, Л.В. Шуляковская. – М.: НТК «ТРЕК», 2008. – 368 с.
4. Антипенко Л.А. Технологические регламенты обогатительных фабрик Кузнецкого бассейна. – Новокузнецк: Сибирский научно-исследовательский институт углеобогащения, 2003. – 427 с.
5. Федорова Н.И., Заостровский А.Н., Зубакина В.А., Исмагилов З.Р. Химико-технологические свойства каменных углей Кузбасса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 5. С. 121 – 125.
6. Ерёмин И.В., Арцер А.С., Броневец Т.М. Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса. – Кемерово: Притомское, 2001. – 399 с.
7. Scot A.C. Coal petrology and the origin of coal macerals: a way ahead? // International Journal of Coal Geology. 2002. No. 50. P. 119 – 134.
8. Антипенко Л.А., Кирюхин Ю.Е., Кириченко А.В., Силютин С.А. Техника и технология обогащения углей. – Прокопьевск: Прокопьевское полиграфическое производственное объединение, 2008. – 330 с.
9. Федорова Н.И., Заостровский А.Н., Исмагилов З.Р. Физико-химические свойства низко-метаморфизованных длиннопламенных углей Кузбасса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 5. С. 126 – 130.

© 2019 г. *Е.С. Достов, С.Г. Коротков,
И.В. Анищенко*
Поступила 12 сентября 2019 г.

На д н о м е р о м р а б о т а л и

Темлянцев М.В., *главный редактор*

Новичихин А.В., *ответственный секретарь*

Бащенко Л.П., *ведущий редактор*

Запольская Е.М., *ведущий редактор*

Олендаренко Н.П., *ведущий редактор*

Темлянцева Е.Н., *верстка*

Олендаренко Е.В., *менеджер по работе с клиентами*