

УДК662.741.3.004.12

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ  
ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО  
НИЗКОРЕАКЦИОННОГО  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОКСА  
В УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ  
УГОЛЬНОЙ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ УКРАИНЫ**

© 2010 Ковалев Е.Т., д.т.н.,  
Дроздник И.Д., к.т.н. (УХИН)

*В статье дан анализ состояния и перспективы развития угольной сырьевой базы коксования предприятий Украины с точки зрения возможности получения высококачественного низкореакционного металлургического кокса, в том числе с использованием технологии вдувания пылеугольного топлива в доменные печи.*

*The analysis of the state and prospect of development of coal source raw of materials of coking of enterprises of Ukraine is given from point of possibility of receipt of high-quality metallurgical coke of low reactivity, including with the use of technology of insufflation of coal-dust fuel in high furnaces.*

Ключевые слова: уголь, запасы, добыча, реакционная способность, «горячая» прочность, технологические свойства, качество кокса.

Коксохимическое производство Украины до 1986 г. обеспечивалось собственной угольной сырьевой базой, позволявшей производить доменный кокс со следующими показателями качества, %:

- содержание серы – 1,60-1,80;
- механическая прочность по показателям:
- дробимости  $M_{25}$  – 86-87;
- истираемости  $M_{10}$  – 7,5-8,0.

Такие понятия, как «низкая реакционная способность» и «высокая послереакционная (горячая) прочность» в требованиях доменного производства, предъявляемых к металлургическому коксу, отсутствовали. При этом, расход доменного кокса на тонну чугуна находился в пределах 550-600 кг.

Со второй половины 80<sup>х</sup> годов прошлого столетия добыча украинских углей, в том числе и коксующихся, начала снижаться (табл. 1).

Таблица 1

Динамика изменения добычи углей в Украине

Годы	Общая добыча		В т.ч. коксующихся	
	тыс. т	в % к 1975 г.	тыс. т	в % к 1975 г.
1975	200296	100,0	84655	100,0
1980	215131	107,4	88363	104,4
1985	180517	90,1	73481	86,8
1990	155533	77,6	66917	79,0
1995	81310	40,6	37875	44,7
2000	79176	39,5	38097	45,0
2005	77247	38,6	32334	38,2
2007	75538	37,7	28480	33,6
2008	77309	38,6	24218	28,6
2009	72751	36,3	22065	26,1

Данное положение объясняется, в основном, двумя основными причинами:

Донбасс, оставаясь длительное время основным угледобывающим бассейном коксующихся углей СССР, отработал верхние горизонты запасов с более спокойными горно-геологическими условиями (до 600 м); дальнейшая разработка запасов этих углей связана с глубинами 1000 м и более. Так, к 2009 г. глубина разработки очистных работ достигла: шахта им. Засядько – 1340 м, ГП «Макеевуголь» – 1322 м, ГП «ДУЭК» – 1298 м, ГП «Артемуголь» – 1190 м, ОАО «Краснодонуголь» – 1170 м и т.д.

Глубокие горизонты потребовали совершенно другого подхода к выемке угля, т.к. этим глубинам соответствуют более сложные горно-геологические условия: повышенное давление горных пород, чреватое внезапными выбросами угля и породы, а также повышенная загазованность. В данных условиях существенно увеличивается продолжительность подготовки пластов к выемке угля (дегазация, ослабление горного давления и т.д.), что приводит к значительному росту себестоимости добываемого угля. При этом большое значение приобретает фактор рабочей температуры в очистных забоях, (до 38–40 °С), что осложняет работу людей на таких глубинах.

Таким образом, переход на добычу угля на глубоких горизонтах потребовал дополнительных капитальных вложений, определяемых в программе «Украинский уголь» на уровне 7-10 млрд. грн. ежегодно, а ввод

новых шахт в эксплуатацию возможен только через 10-15 лет.

Второй причиной является длительная добыча коксующихся углей марок Ж и К в количествах, существенно превышающих их долевое участие в запасах. Так, например, при долевом участии углей марок Ж и К в разведанных запасах 6,0 и 4,4 % (по состоянию на 01.01.2007 г) их долевое участие в добыче составило соответственно 14,2 и 12,6 % [1]. Таким образом, данный разрыв в перспективе будет изменяться до тех пор, пока долевое участие углей этих марок в добыче не приблизится к их долевым участию в имеющихся в Украине запасах углей.

Постоянное увеличение объемов производства кокса и дефицит отечественных коксующихся углей привели к импорту недостающего количества угля – прежде всего из стран СНГ (Россия, Казахстан), а в последние годы и из дальнего зарубежья (табл. 2). Основным экспортером коксующегося угля в Украину, как в настоящий период, так и в перспективе, является Россия. Однако, ввиду ограниченности ресурсов российских углей марок Ж и К, их импорт будет постепенно замещаться такими же углями дальнего зарубежья.

Таким образом, уже длительное время импорт коксующихся углей осуществляется в связи с острым дефицитом отечественных ресурсов. Последний вызван снижением их добычи в связи со старением действующего шахтного фонда и выбытием его из эксплуатации.

Таблица 2

Угольная сырьевая база заводов Украины

Страна-поставщик	Долевое участие по годам, %						
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Украина	79,8	73,0	72,9	68,3	63,6	65,2	70,6
Россия	19,8	26,8	25,9	28,1	29,0	24,8	22,8
Казахстан	0,4	0,3	1,1	3,5	5,1	4,0	4,2
США	-	-	-	-	1,7	5,8	2,2
Канада	-	-	-	0,1	0,3	0,1	0,1
Австралия	-	-	-	-	0,3	-	-
Польша	-	-	0,1	-	-	0,1	0,1
Всего по импорту	20,2	27,0	27,1	31,7	36,4	34,8	29,4

Обновление шахтного фонда для добычи коксующихся углей практически не проводится. Так, за последние годы прошлого столетия построена единственная шахта «Суходольская Восточная» ОАО «Краснодонуголь» (марка К) и ведется в настоящее время строительство второго блока шахты «Красноармейская Западная №1».

Анализ качественных характеристик углей детально разведанных марок Ж, К и ОС в Донбассе показывает, что их количество весьма ограничено, сосредоточены они в основном, в Луганской области, на глубине более 1000 м. Наиболее перспективен участок «Мионовский Глубокий» (марки Ж, К) с глубиной залегания продуктивных пластов на глубине 1540 м и с содержанием серы 2,0-3,5 %. По имеющимся оценкам

специалистов института Южгипрошахт стоимость строительства шахты на данном участке в ценах 2002 г. составляла 2,5-3,5 млрд. грн.

Исходя из изложенного, следует заключить, что существенное сокращение добычи коксующихся углей и отсутствие финансирования строительства новых шахт при высокой потребности в коксующихся углях обусловило их импорт в Украину, достигший более 30 % от потребности коксохимических заводов.

В конце XX – в начале XXI веков доменщики существенно изменили свои требования к качеству металлургического кокса [2, 3] и четко определили роль кокса в доменном производстве:

- источник тепла (энергоноситель);
- поставщик углерода для газификации, восстановления оксидов и науглероживания чугуна (восстановитель);
- «каркас» для переноса твердых материалов, фильтрации газов и жидких продуктов плавки (разрыхлитель);
- собиратель дисперсных пылевидных частиц и паров, образующихся в фурменных очагах (адсорбент);
- источник мелочи и «мусора», понижающих жидкоподвижность шлаков в горне.

Тепло от горения кокса частично замещается теплом нагретого воздушного дутья и других топливных добавок.



Восстановительные возможности кокса определяются его реакционной способностью. Уровень реакционной способности промышленного кокса влияет на прямое восстановление.

Роль механической и термической прочности кокса возрастает по мере снижения его удельного расхода. Поэтому для достижения уровня ниже 400 кг/т чугуна

первостепенное внимание следует уделять свойствам кокса как разрыхлителя, обеспечивающего достаточную газопроницаемость и дренаж жидких продуктов плавки.

Значение кокса как «каркаса» шихтовых материалов обуславливает повышенные требования к его качеству и, прежде всего, к механической и термомеханической прочности. Показатели механической прочности (показатели дробимости  $M_{25}$  и истираемости  $M_{10}$ ) используются в практике работы стран СНГ и Украины в течение достаточно длительного периода. Показатели термомеханической прочности были предложены фирмой «Nippon Steel» в конце 90<sup>х</sup> годов XX столетия и включали реакционную способность ( $CRI$ ) и послереакционную или «горячую» прочность ( $CSR$ ) кокса [4]. Ориентированные на эти показатели зарубежные производители металла имеют существенно меньший, чем в Украине, расход кокса в доменном производстве. Так, еще в 1998-1999 гг. на 21 % доменных печей Европейского сообщества уровень расхода кокса был стабильно ниже 340 кг/т чугуна, а в Северной Америке (США, Канада, Мексика) в этот же период средний расход кокса составлял менее 400 кг/т.

Мировой опыт показывает, что наиболее эффективно доменные печи работают на коксе, имеющем низкую реакционную способность ( $CRI < 30-35$  %) и высокую «горячую» прочность ( $CSR > 60-65$  %). Особенно эффективно кокс такого качества проявляет себя при внесении в доменные печи топливных добавок – в частности, пылеугольного топлива (ПУТ).

Негативный мировой опыт выплавки чугуна на коксе низкого качества выражаются в следующем:

- рабочий профиль доменных печей и горны подвергаются более ускоренному износу;
- сокращаются межремонтные периоды работы и растут расходы на поддерживающие ремонты;
- увеличивается количество мусора в горне, что влечет за собой сбои производства, колебания нагрева и повышенные расходы кокса на поддержание подвижности более вязких шлаков;
- уменьшаются коэффициенты замены кокса топливными добавками;
- производство теряет устойчивость, что приводит к разбалансировке процесса и потере выплавки чугуна.

Многочисленными исследованиями, проведенными как у нас в стране, так и за рубежом [5-8], показано, что если на уровень механической прочности кокса влияют свойства органической части углей (спекаемость, коксуюемость, дилатация, петрографический состав), то на уровень реакционной способности максимальное влияние оказывает химический состав их минеральной части, а именно содержание оксидов металлов:  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ . Кроме того, существенное значение имеет уровень содержания серы. В численном

выражении последний не должен превышать 1 %, а индекс основности  $I_0 < 2,5$ .

Исходя из этих требований проанализированы угольные ресурсы коксующихся углей Украины и ряда фирм ведущих угледобывающих стран мира (Австралия, США, Канада). Установлено, что участие в шихтах для коксования малометаморфизованных углей марок ДГ и Г повышает реакционную способность кокса и заметно увеличивает его расход в доменной печи. Следствием этого стало существенное сокращение доли таких углей в сырьевой базе коксования украинских производителей кокса. Так, если в 2000-2004 гг. долевое участие в шихте газовой группы углей составляло около 35 %, то в 2007 г этот

показатель составил 13,4 %, в 2008 г – 12,9 %, а в 2009 г – 14,8 %. Таким образом, становится очевидным, что так или иначе замещение этих углей в сырьевой базе украинских заводов (а это 20-25 % от потребности) может производиться за счет углей марок Ж, К и ОС. Из данных табл. 3 видно, что угли этих марок имеют значения показателей, определяющих уровень термомеханических свойств кокса (содержание серы и индекс основности) существенно ниже требуемого.

Технологические свойства продукции лучших зарубежных производителей коксующихся углей (австралийская компания BHP-Billiton, американская UNITED COAL COMPANY LLC (UCC), канадские производители) представлена в табл. 4.

Таблица 3

Технологические свойства украинских углей

Марка	Технологические свойства*				$R_0$ , %	Индекс основности, $I_0$
	$A^d$ , %	$S_t^d$ , %	$V^{daf}$ , %	$y$ , мм		
Ж	$\frac{8,0-8,4}{8,3}$	$\frac{0,80-3,00}{2,23}$	$\frac{31-35}{33}$	$\frac{17-28}{22}$	$\frac{0,89-1,07}{0,97}$	$\frac{2,19-8,58}{5,70}$
К	$\frac{8,0-8,5}{8,5}$	$\frac{0,70-2,40}{1,09}$	$\frac{21-29}{27}$	$\frac{13-24}{16}$	$\frac{1,08-1,37}{1,14}$	$\frac{1,70-5,82}{3,97}$
ОС	$\frac{8,2-8,5}{8,5}$	$\frac{1,20-2,80}{2,11}$	$\frac{17-19}{18}$	$\frac{10-12}{11}$	$\frac{1,48-1,65}{1,51}$	$\frac{3,24-6,08}{3,91}$

Таблица 4

Технологические свойства зарубежных коксующихся углей

Страна (фирма)	Технологические свойства**				$R_0$ , %	$I_0$
	$A^d$ , %	$S_t^d$ , %	$V^{daf}$ , %	$y$ , мм		
Австралия, BHP-Billiton	$\frac{9,0-10,0}{9,5}$	$\frac{0,3-0,8}{0,5}$	$\frac{24-28}{26}$	$\frac{18-24}{22}$	$\frac{1,20-1,30}{1,25}$	$\frac{0,70-1,60}{1,25}$
	$\frac{6,5-8,5}{7,7}$	$\frac{0,5-1,3}{0,8}$	$\frac{17-31}{28}$	$\frac{10-26}{22}$	$\frac{1,18-1,67}{1,32}$	$\frac{1,70-3,50}{2,30}$
США, UCC	$\frac{7,5-9,0}{8,5}$	$\frac{0,5-1,0}{0,6}$	$\frac{22-25}{24}$	$\frac{10-18}{16}$	$\frac{1,30-1,56}{1,50}$	$\frac{1,90-3,30}{2,11}$
	$\frac{7,5-9,0}{8,5}$	$\frac{0,5-1,0}{0,6}$	$\frac{22-25}{24}$	$\frac{10-18}{16}$	$\frac{1,30-1,56}{1,50}$	$\frac{1,90-3,30}{2,11}$

\* В числителе – диапазон значений, в знаменателе – средние значения

\*\* В числителе – диапазон значений, в знаменателе – средние значения

Сопоставляя показатели свойств, обеспечивающих высокую термомеханическую прочность украинских (табл. 3) и зарубежных (табл. 4) углей, следует отметить, что украинские угли имеют соответственно большее содержание серы и весьма высокий индекс основности по сравнению с импортными аналогами. Именно этим обусловлены более высокие показатели «горячей» прочности, достигаемые зарубежными производителями кокса (табл. 5).

Анализ геологических данных о разведанных украинских запасах углей категорий А+В+С<sub>1</sub>

показывает, что большинство углей спекающихся марок (Ж, К) сосредоточено в Луганской области Донбасса на глубине более 800 м. Они относятся к средне- и высокосернистым ( $S_t^d = 2,0-3,8 \%$ ) и имеют в химическом составе минеральной части 17-35 % наиболее вредного для «горячей» прочности оксида железа ( $Fe_2O_3$ ) – обычное количество, характерное для украинских углей. Для сравнения, содержание этого оксида в австралийских углях находится в пределах 1-5 %, а в большинстве американских и канадских углей – до 10 %.

Таблица 5

Средние уровни показателей «горячей» прочности (CSR) и реакционной способности (CRI) кокса различных производителей

Страна, производитель	CSR, %	CRI, %
Австралия, BHP Steel	74,1	17,7
Великобритания, BSC (Корус)	73,5	18,2
Германия, Тиссен Крупп	65,4	23,1
Финляндия, Коверхар	70,1	22,2
Голландия, Корус	64,5	18,4
Франция, Дюнкерге	55,5	19,0
Швеция, Сааб	62,4	24,1
Япония (в среднем)	65,2	25,7
Австрия, Фест-Альпине	62,0	29,7
Бельгия, Сидмар	65,3	23,0
Италия, Гаранто	66,4	24,7
Южная Корея, Поско	68,9	22,1
Индия, Тата Стил	64,1	24,3
Китай, экспортный кокс	>60	<25
Польша, экспортный кокс	>56	<32
Испания, экспортный кокс	>60	<30
Чехия, экспортный кокс	>56	<35
Египет, экспортный кокс	>58	<30
США, Акме Стил	68,0	18,6
Россия, «Алтайкокс», экспорт	61,0	29,0
Казахстан, Испат Кармет	>52	<35
Украина, Ясиновский КХЗ	>50	<35
Украина (в среднем)	42,0	40,0

В 2005-2009 гг. в Украине проведен целый ряд промышленных исследований по коксованию шихт с разным уровнем значений индекса основности и, следовательно, с разными значениями показателей реакционной способности (CRI) и послереакционной прочности (CSR). В частности, установлено влияние реакционной способности и послереакционной прочности кокса на его расход и производительность доменной печи для условий ОАО «МК «Азовсталь».

Следует отметить, что в настоящее время влияние изменения отдельных показателей качества кокса на его расход и производительность доменной печи оцениваются в соответствии с руководящим документом «Доменные печи. Нормативы расхода

кокса. Руководящий документ. МЧМ СССР. 1987 г.». Этот документ содержит методику расчета влияния таких параметров качества кокса, как зольность ( $A^d$ ), содержание серы ( $S_t^d$ ), прочность ( $M_{25}$ ), истираемость ( $M_{10}$ ), содержание фракции +80 мм, на расход кокса и производительность доменной печи. Как видно из приведенных факторов, в данном документе отсутствуют такие показатели, как реакционная способность (CRI) и послереакционная прочность (CSR). Однако, многие исследователи показывают роль этих параметров [9]. Например, результаты работы доменной печи Швельгерн-2 показали, что при увеличении «горячей» прочности кокса по показателю CSR с 54,2 до 68,0 % происходит снижение суммарного

расхода кокса и ПУТ с 510 до 470-486 кг на тонну чугуна (при этом расход ПУТ увеличился со 132 до 188 кг/т) [10].

В условиях работы доменной печи № 5 ОАО «МК «Азовсталь» в 2005 г. был испытан кокс с близкими качественными характеристиками и разным уровнем «горячей» прочности [11]. В результате было определено, что при увеличении CSR на 1 % удельный расход кокса снижается на 0,25 %, а производительность доменной печи возрастает на 0,63 %.

В апреле-июле 2008 г. на ОАО «АКХЗ» была изготовлена опытная партия кокса улучшенного качества класса «Премиум» (CRI > 55 %, CSR < 30 %). Полученная партия была испытана доменными плавками в условиях Енакиевского металлургического завода. Замена производственного кокса коксом класса «Премиум» позволила сократить расходный коэффициент доменного кокса на 5 % и на столько же увеличить производительность доменной печи [12].

Следует отметить, что в мировом объеме производства чугуна около 85 % доменных печей эксплуатируются с применением ПУТ, что удешевляет продукцию – в первую очередь за счёт значительного сокращения расхода доменного кокса. Расход кокса на металлургических предприятиях Украины составляет 480-550 кг/т чугуна, в то время, как у зарубежных производителей чугуна этот показатель лежит в пределах 350-420 кг/т. Данное обстоятельство является следствием серьезного отставания наших металлургических предприятий во внедрении технологии вдувания ПУТ: действующие установки имеются только на Донецком МЗ и Алчевском МК (ДП-1 и ДП-5) [13].

Анализ работы доменных печей, работающих с использованием технологии прямого вдувания ПУТ, показал острую необходимость её широкого внедрения на отечественных предприятиях. Так, в настоящее время в завершающей стадии строительства находятся установки по вдуванию ПУТ на ОАО «Запорожсталь», а в стадии проработки и проектирования – подобные установки для ОАО «МК им. Ильича», ОАО «Азовсталь» и других предприятиях. Это предопределяет высокие требования к реакционной способности и послереакционной прочности доменного кокса при сохранении его высокой механической прочности.

#### Выводы

1. Ресурсы украинских коксующихся углей позволяют произвести всего лишь 3,2 млн. тонн металлургического кокса с требуемым уровнем реакционной способности (CRI < 35 %) и «горячей» прочности (CSR > 50-55 %).

2. Запасы разведанных углей Донбасса категорий А+В+С<sub>1</sub> не смогут обеспечить получение мало-

сернистого кокса с требуемым уровнем «горячей» прочности без привлечения ресурсов углей ближнего и дальнего зарубежья.

3. В настоящее время украинские угли спекающихся марок (Ж, К) добываются на глубинах 800 м и более в сложных горно-геологических и социальных условиях. Исходя из этого, наиболее целесообразным следует считать поддержание имеющегося действующего шахтного фонда и сохранение существующего объема добычи основных марок коксующихся углей.

4. Для компенсации предприятий, выбывающих из действующего шахтного фонда, необходимо ежегодное выделение 7-10 млрд. гривен на строительство новых шахт. При этом их ввод в эксплуатацию может ожидаться через 10-15 лет.

5. Угольная сырьевая база коксования заводов Украины носит многолетний дефицитный характер. Особенно это касается углей марок Ж и К (спекающая основа шихты), а также ОС (весьма ценный высокометаморфизованный отошающий компонент шихты). Если отошенная спекающаяся марка может быть восполнена российскими углями марок КО, ОС и КС, то угли спекающихся марок Ж и К, ввиду отсутствия их экспортных ресурсов в России, может импортироваться только из США, Канады, Австралии и др. стран дальнего зарубежья.

6. Использование металлургического кокса с низкой (CRI < 30 %) реакционной способностью и высокой (CSR > 60%) послереакционной прочностью позволяет снизить на 5-7 % его расход на тонну чугуна, а использование такого кокса в сочетании с технологией вдувания ПУТ позволяет снизить расход кокса с 500-550 кг/т до 350-450 кг/т чугуна.

#### Библиографический список

1. Державний баланс запасів корисних копалин України. Вип. 22. Т. Вугілля. – Київ: Геоінформ України, 2007. – 652 с.
2. Shorrocks K.R., Cunningham R.B., Ellison J.E., Nightingale R.J. / 4-th European Coke and Ironmaking congress Proceeding – Paris, 2000. – V. 1. – P. 167-173.
3. Дьмилевич І.І., Изюмский Н.Н., Журавлев В.А. Доменное производство Украины: новый подход к оценке качества кокса / Сборник докладов 8-го международного семинара «Уголь в металлургии и энергетике», Ялта, 2002 г.
4. ISO 18894:2006, MOD. Кокс. Метод визначення індексу реакційної здатності коксу (CRI) і міцності залишку коксу після реакції (CSR).
5. Ухмылова С.Г. Влияние качества сырьевых материалов и эксплуатационных параметров коксовых печей на показатели качества кокса CSR и CRI // Новости черной металлургии в России и за рубежом. – 1998. – № 1. – С. 103-110.

6. Мірошніченко Д.В. Оптимізація реакційної здатності як інтегрального показника якості коксу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.17.07 «Хімічна технологія палива, горючих та змащувальних матеріалів». – Харків, 2006. – 20 с.
7. Кафтан Ю.С., Дроздник И.Д., Мирошніченко Д.В., Бидоленко Н.Б., Рыщенко А.И. Взаимосвязь органической и минеральной частей угольной шихты с «холодной» и «горячей» прочностью кокса // Углехимический журнал. – 2007. – № 3-4. – С. 3-13.
8. Ковалев Е.Т., Шульга И.В., Рыщенко А.И., Дроздник И.Д., Мирошніченко Д.В. Влияние качества угольной шихты на реакционную способность, послереакционную прочность кокса и технико-экономические показатели доменного процесса // Углехимический журнал. – 2008. – № 3-4. – С. 41-48.
9. Todoshuk T.W., Price I.P., Gransden I.F. increasing coke strength after reaction with CO<sub>2</sub> (index CSR) in Dofasco // Iron and Steel Technology. – 2004. – March. – P. 73-84.
10. Изменение качества кокса, обусловленное требованиями доменного процесса. Реф. Цикарев Д.А. // Кокс и химия. – 2001. – № 7. – С. 39-40.
11. Ковальчик Р.В., Томаи А.А., Тарасов В.П. и др. Повышение горячей прочности кокса (CSR) за счет изменения состава угольной шихты КХП ОАО «МК «Азовсталь» / Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна. Труды международной научно-технической конференции. – Донецк: УНИТЕХ, 2006. – С. 117-126.
12. Подкорытов А.Л., Кузнецов А.М., Падалка В.П. и др. Опыт освоения и оптимизация технологии на доменной печи № 5 Енакиевского металлургического завода // Бюл. Черная металлургия. – 2008. – № 11. – С. 59-70.
13. Рыженков А.Н., Гордиенко А.И., Ковалев Е.Т., Шульга И.В. Требования к качеству кокса для доменной плавки с использованием пылеугольного топлива и промышленный опыт производства такого кокса в Украине / Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна. Труды международной научно-технической конференции. – Донецк: УНИТЕХ, 2006. – С. 65-76.

Рукопись поступила в редакцию 11.03.2010

