

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УГОЛЬНОЙ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ КОКСОХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ УКРАИНЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

© Е.Т. Ковалев<sup>1</sup>, \*И.Д. Дроздник<sup>2</sup>, Ю.С. Кафтан<sup>3</sup>

Государственное предприятие «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт (УХИИ)» 61023, г. Харьков, ул. Веснина, 7, Украина

<sup>1</sup> Ковалев Евгений Тихонович, директор, доктор техн. наук, профессор, e-mail: kovalov@ukhin.org.ua

<sup>2</sup> Дроздник Игорь Давидович, заведующий угольным отделом, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, e-mail: yo@ukhin.org.ua

<sup>3</sup> Кафтан Юрий Степанович, вед. науч. сотр., канд. техн. наук, старший научный сотрудник: yo@ukhin.org.ua

Долевое участие украинских углей в сырьевой базе коксования продолжает сокращаться и в 2014 году составило 45,8 %. Импортная составляющая расширяется за счет привлечения, помимо российских и американских, углей Канады и Австралии. В целом, сырьевая база должна обеспечивать производство кокса улучшенного качества, который необходим для расширения объемов внедрения технологии вдувания ПУТ в доменные печи.

Долевое участие украинских углей могло бы быть увеличено за счет освоения Любельского месторождения Львовско-Волынского бассейна, малосернистые и низкоосновные угольные пласты которого относятся к марке К. В 2019 году планируется ввод в эксплуатацию шахты Любельская № 1-2, уголь которой по качественным характеристикам соответствует лучшим отечественным и зарубежным образцам.

Ключевые слова: уголь, кокс, реакционная способность, импортная составляющая, долевое участие, качественная характеристика.

\*\*\*\*\*

**Ф**ормирование угольной сырьевой базы коксования в современных условиях характеризуется следующими основными факторами:

- возросшими требованиями к качеству доменного кокса в связи с широким внедрением технологии вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи на металлургических заводах Украины;
- сокращением использования украинских углей в сырьевой базе заводов в связи с событиями в Донбассе;
- расширением географии поставки импортных углей хорошо спекающихся марок из стран дальнего зарубежья.

Расширение внедрения ПУТ на металлургических предприятиях Украины базируется как на результатах опыта металлургических предприятий Европы, так и на результатах отечественного опыта использования ПУТ на Донецком металлургическом заводе. На ПрАО «Макеевкокс» и ПАО «Ясиновский КХЗ» был организован выпуск кокса улучшенного качества, который был испытан на этом заводе в условиях доменной печи № 1 с применением пылеугольного топлива. Свойства шихты, кокса и основные показатели работы доменной печи представлены в табл. 1 [1].

Особо следует отметить, что улучшенные показатели работы доменной печи были достигнуты в опытном периоде без использования природного газа.

Анализируя представленные в табл. 1 данные, можно сделать следующие основные выводы:

- технология доменной плавки с использованием ПУТ требует применения кокса повышенного качества, включая «горячую» прочность;
- при расходе пылеугольного топлива в количестве более 150 кг/т чугуна и подборе соответствующего режима работы доменных печей возможно обеспечить высокие показатели производства без использования природного газа.

\* Автор для корреспонденции

Таблица 1

## Свойства шихты, кокса и основные показатели работы доменной печи с использованием ПУТ

Показатели и единицы измерения	Сопоставительный период	Опытный период
<i>Свойства шихты:</i>		
Зольность $A^d$ , %	8,2	8,0
Содержание серы $S_t^d$ , %	1,15	1,09
Выход летучих веществ $V^{daf}$ , %	32,2	29,0
Толщина пластического слоя, у, мм	15	15
Индекс основности $I_0$	2,64	2,44
<i>Свойства кокса:</i>		
Зольность $A^d$ , %	11,0	10,4
Содержание серы $S_t^d$ , %	1,08	0,83
Выход летучих веществ $V^{daf}$ , %	0,9	0,8
Механическая прочность $M_{25}$ , %	86,6	88,3
Истираемость $M_{10}$ , %	7,5	6,8
Реакционная способность CRI, %	39,6	29,5
Послереакционная прочность CSR, %	45,7	56,8
Расход ПУТ кг/т	168	171
<i>Основные показатели работы доменной печи:</i>		
Производство чугуна, т/сутки	2004	2347
Расход кокса, кг/т чугуна	441	390

Международный и отечественный опыт применения ПУТ в доменном производстве дал толчок развитию этой прогрессивной технологии на большинстве металлургических предприятий Украины. Данная технология уже освоена на ПАО «Алчевский МК», ПАО «МК «Запорожсталь», ПАО «Енакиевский металлургический завод» и планируется к внедрению до 2020 года на ПАО «МК «Азовсталь» и ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Учитывая данное обстоятельство, переход на использование доменного кокса улучшенного качества вполне обоснован.

В этой связи, интересно проследить эволюцию изменения требований к качеству доменного кокса (табл. 2) [2-4].

Таблица 2

## Эволюция требований к основным показателям качества доменного кокса

Показатели	ТУ У 322-00190443-114:1996			ТУ У 23.1-00190443-086:2006			ТУ У 19.1-00190443-65:2012	
	КД-1	КД-2	КД-3	КДП-1	КДП-2	КДП-3	КДМ-1	КДМ-2
Зольность $A^d$ , %, не более	11,0	12,0	13,0	10,7	11,0	11,5	11,4	11,4
Массовая доля общей серы $S_t^d$ , %, не более	2,00	1,60	1,30	0,85	1,00	1,20	0,80	1,20
Показатель прочности $M_{25}$ , %, не менее	86,0	84,0	82,0	88,0	87,0	86,0	88,5	88,0
Показатель истираемости $M_{10}$ , %, не более	7,5	8,0	9,0	7,2	7,5	7,6	7,2	7,6
Индекс реакционной способности кокса CRI, %, не более	-	-	-	29,0	34,0	35,0	35	40
Прочность кокса после реакции CSR, %, не менее	-	-	-	56,0	48,0	45,0	45	40

Сопоставляя приведенные данные, можно судить о существенном повышении требований к показателям качества доменного кокса за последние 15-20 лет. Так, зольность кокса снизилась с диапазона 11-13 % до 10,7-11,5 %; содержание серы снизилось с уровня 1,3-2,0 % до 0,8-1,2 %; показатель механической прочности  $M_{25}$  с уровня 82,0-86,0 % повысился до 87,0-88,5 %, а истираемость  $M_{10}$  с 7,5-9,0 % снизилась до 7,2-7,6 %.

Начиная с 2006 года, в технических условиях появились новые показатели качества доменного кокса – реакционная способность (CRI) и послереакционная или «горячая» прочность (CSR), характеризующие его поведение в доменном процессе при высоких температурах с участием  $CO_2$  [5].

Как уже отмечалось во многих работах [6-11], сырьем для получения кокса улучшенного качества могут быть низкосернистые угли с индексом основности  $I_o \leq 2,5$ . Из углей действующего шахтного фонда Украины, как показали исследования, требуемыми свойствами обладают угли всего двух шахт: «им. Скочинского», марка Ж, и шахтоуправление «Покровское» (бывшая ш.

«Красноармейская Западная № 1»), марка К. Общие годовые ресурсы углей этих двух предприятий в 2010-2012 гг. составляли 7-8 млн. т, а в 2014 году из-за известных событий в Донбассе суммарный объем добычи углей двух шахт снизился до 5,5 млн., в том числе марки Ж – до 300 тыс. и марки К – до 4,2 млн. т.

Исходя из этого, становится очевидной необходимость привлечения в сырьевую базу коксования предприятий Украины импортных углей с низким содержанием серы и невысоким индексом основности.

Увеличение доли импортных углей в шихте украинских заводов связано также с существенным сокращением добычи отечественных коксующихся углей из-за военных действий в Донецкой и Луганской областях, которые сделали невозможным обеспечение нормальной работы шахт и доставку углей на коксохимические предприятия Украины.

В табл. 3 отображено изменение долевого участия украинских и импортных углей в сырьевой базе заводов в 2010-2014 гг.

Таблица 3

Динамика изменения долевого участия украинских и импортных углей в сырьевой базе заводов в 2010-2014 гг.

Год	Украина	Россия	Казахстан	США	Канада	Австралия	Другие*)	США+Австралия+ Канада
2010	65,7	25,2	3,0	5,7	-	0,1	0,3	5,8
2011	62,0	24,3	2,6	11,0	-	-	0,1	11,0
2012	52,3	30,3	3,3	13,2	-	-	0,9	13,2
2013	50,9	32,5	2,5	11,9	1,2	-	1,0	13,1
2014	45,8	33,0	3,9	11,9	1,9	2,6	0,9	16,4

\*) Другие: Польша, Чехия, Колумбия, Индонезия, Иран, Абхазия.

Из приведенных данных видно, что доленое участие украинских углей в сырьевой базе коксования за последние 5 лет снизилось с 65,7 до 45,8 % или на 19,9 %; доля российских углей возросла с 24,3 до 33,0 % или на 8,7 %; доля американских углей увеличилась с 5,7 до 13,2 % или на 7,5 %. Начиная с 2013 года, в сырьевой базе коксования используются угли Канады, а с 2014 года – Австралии. В целом доленое участие углей дальнего зарубежья за рассматриваемый период возросло с 5,8 до 16,4 % или на 10,6 %.

Марочная структура и качественная характеристика импортных углей основных поставщиков представлена в табл. 4.

Анализируя данные табл. 4, видно, что российские угли представлены газовыми, коксовыми и коксовыми отощенными углями. Все угли являются малосернистыми и низкоосновными. Маркетинговые исследования в области наличия ресурсов российских коксующихся углей для поставки в Украину подтверждают возмож-

ность получения углей этих марок и даже поставщиков и в дальнейшем [12, 13].

Американские угли представлены двумя основными марками Ж и ОС (в соответствии с ГОСТ 25543-88 «Угли бурые каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам»), которых не хватает в шихтах украинских заводов.

Группа жирных углей характеризуется хорошей спекаемостью ( $y = 19-25$  мм), но несколько повышенными значениями выхода летучих веществ ( $V^{daf} = 31,8-34,7$  %). Отощенные спекающиеся угли характеризуются невысокими значениями выхода летучих веществ ( $V^{daf} = 18$  %), хорошей спекаемостью ( $y = 9-10$  мм) и весьма низкой основностью ( $I_o = 1,26-1,44$ ).

Канадские угли представлены двумя основными поставщиками марок К и КО. Угли имеют повышенную зольность (8,9-9,5 %), высокое значение содержания мацералов группы витринита ( $V_t = 60-68$  %), низкие значения содержания серы и индекса основности.

Таблица 4

Марочная структура и качественная характеристика основных поставщиков импортных коксующихся углей в Украину

Наименование поставщика	Марка по ГОСТ 25543-88	Показатели качества						
		A <sup>d</sup> , %	S <sup>d</sup> , %	V <sup>daf</sup> , %	у, мм	R <sub>90</sub> , %	V <sub>t</sub> , %	I <sub>0</sub>
Россия								
ОФ «Щедрухинская»	Г	6,8	0,39	39,7	10	0,71	81	2,04
р-з «Талдинская»	Г	6,3	0,39	41,6	10	0,66	71	1,80
р-з «Ерунаковский»	Г	7,6	0,55	37,7	10	0,70	76	1,69
ОФ «Кушеяковская»	Г	4,5	0,32	39,0	10	0,68	90	1,83
ООО «Промутольсервис»	Г	7,6	0,47	36,0	10	0,75	75	1,62
р-з «Берёзовский»	К	8,4	0,40	23,4	13	1,23	55	2,35
шахта № 12	К	9,0	0,42	23,7	13	1,23	70	1,86
р-з «Юньгинский»	К	6,0	0,69	22,4	16	1,33	77	2,00
ОФ «Бочатская»	КО	8,0	0,31	24,8	10	1,14	60	1,96
США								
Wellmore	Ж	8,5	1,03	33,8	19	0,98	62	2,42
Carter Roag	Ж	9,5	0,69	31,8	19	1,09	92	2,29
Leer mine	Ж	7,5	1,02	34,7	25	1,05	68	1,50
Pocahontas	ОС	8,9	0,94	18,0	10	1,54	69	1,26
Kepler Low Vol	ОС	6,8	0,90	18,0	9	1,63	70	1,29
Beckley	ОС	7,0	0,82	18,0	10	1,68	71	1,44
Канада								
Teck premium	К	8,9	0,57	27,0	15	1,13	68	1,30
Teck standart	КО	9,5	0,39	23,2	12	1,32	60	1,69
Австралия								
Goonyella	Ж	8,2	0,56	25,7	14	1,07	74	1,16
Oaky North	КЖ	9,5	0,60	24,5	22	1,23	90	1,86
Peak Downs Nort	К	9,9	0,52	25,7	14	1,24	63	1,21
Saraji	ОС	10,6	0,61	20,9	10	1,50	65	1,10

Австралийские угли представлены четырьмя марками, три из которых относятся к группе спекающихся – Ж, КЖ, К и хорошим присадочным отощенным спекающимся углем.

Все угли спекающей группы обладают высокой коксующестью, хорошими пластично-вязкими свойствами. Угли марок Ж и КЖ позволяют использовать в шихте повышенное количество отощающих компонентов без ухудшения качества кокса. Всем австралийским углям присущи низкие значения индекса основности ( $I_0 = 1,10-1,86$ ).

Есть ли возможность хотя бы несколько уменьшить импортную составляющую сырьевой базы заводов Украины? По нашему мнению такая возможность может появиться при нормализации процесса добычи, обогащения и перевозки украинских коксующихся углей в Донбассе.

В табл. 5 представлен возможный усредненный состав шихты с участием украинских и импортных углей при нормализации обстановки в Донбассе. В группу украинских углей вошли мало- и среднесернистые угли как приватизированных (ш/у «Покровское», ПАО «Краснодонуголь», ш. им. Засядько), так и шахт государственной формы собственности (ш. «Краснолиманская», ГП «Макеевуголь», ш. «им. Скочинского»).

Исходя из представленных данных, долевое участие украинских и импортных углей может составить 50 : 50 %, в том числе импортная составляющая: Россия – 10 %; США – 35 %; Австралия – 5 %.

Следует отметить, что Украина обладает разведанными запасами хорошо спекающихся малосернистых низкоосновных углей, которые могли бы существенно снизить долю импортной составляющей в сырьевой базе украинских коксохимических предприятий.



Таблица 5

## Усредненный марочный состав шихты

Страна	Марка	% участия	Качественные характеристики					
			$A^d$ , %	$S_t^d$ , %	$V^{daf}$ , %	$y$ , мм	$I_0$	
Россия	Г	10	7,5	0,5	38	10	1,80	
Украина	Г	5	7,5	1,4	38	10	3,80	
Украина	Ж	15	8,0	1,6	32	20	3,90	
США	Ж	25	8,5	0,7	32	19	2,10	
Австралия	КЖ	5	9,5	0,5	24	22	1,50	
Украина	К	25	8,5	0,8	27	15	1,90	
Украина	ОС	5	6,5	1,6	19	10	3,80	
США	ОС	10	9,0	0,5	18	10	1,26	
Шихта			100	8,3	0,89	29,2	15,6	2,35
Кокс, %				11,0	0,80	$M_{25} \geq 88,5; M_{10} \leq 7,2; B_k^* = 76,1$		

\*) Выход кокса рассчитан по формуле:  $B_k = 94,86 - 0,7 V^d$

Имеется в виду Любелское месторождение, расположенное во Львовской области. В пределах этого месторождения обозначено поле шахты Любелская № 1-2 с промышленными запасами углей марок Ж и К – 153,1 млн. т (протокол ГКЗ Украины № 1505, 2008 г) [14].

Планируется, что первая очередь этой шахты будет разрабатывать угольные пласты марки К, имеющей

очень хорошие технологические характеристики. В табл. 6 представлены для сопоставления основные технологические параметры углей этой марки шахты Любелская № 1 (марка К), ш/у «Покровское» (марка К) и австралийского угля Oaky North (марка КЖ).

Таблица 6

## Основные технологические характеристики сравниваемых углей

Технологические характеристики	Ед. изм.	ш. Любелская № 1	ш/у «Покровское»	Австралийский уголь Oaky North
Зольность, $A^d$ , %	%	6,3	8,4	9,5
Содержание серы, $S_t^d$ , %	%	0,72	0,80	0,60
Выход летучих веществ, $V^{daf}$ , %	%	24,0	27,5	24,5
Толщина пластического слоя, $y$ , мм	мм	21	15	22
Отражательная способность витринита, $R_o$ , %	%	1,25	1,12	1,23
Содержание витринита, $V_t$	%	68	89	90
Индекс основности, $I_0$	ед.	2,31	1,94	1,86
<i>Ожидаемые показатели*</i>				
CRI, %		32,6	29,8	29,2
CSR, %		52,7	56,2	57,0

\*) Рассчитывается по формулам:  $CRI = 13,4 + 9,35 I_0 - 0,45 I_0^2$ ,  $CSR = 94,23 - 1,275 CRI$

Сопоставляя величину значений представленных параметров, можно отметить, что зольность концентрата, полученного из угля шахты Любелская № 1, самая низкая при невысоком содержании серы. По выходу летучих веществ, спекаемости и отражательной способности витринита уголь близок к австралийскому. По содержанию мацералов группы витринита и по величине

индекса основности уголь ш. Любелская № 1 уступает обоим сопоставляемым углям.

Тем не менее, все его характеристики позволяют производить малосернистый, низкорреакционный кокс из шихт с участием этого угля. Он вполне может заменить в шихтах канадские угли марок К – КО, увеличить доленое участие украинских углей в сырьевой базе

коксования и способствовать снижению заготовительной стоимости шихт коксохимических предприятий Украины.

На основании изложенного, можно сделать следующие основные выводы:

1. Сырьевая база коксования предприятий Украины, как и раньше, носит многобассейновый характер, вызванный рядом основных причин:

- повышением требований к качеству доменного кокса, вызванного широким внедрением технологии вдувания ПУТ в доменные печи на металлургических предприятиях Украины;

- отсутствием украинских коксующихся углей требуемых технологических параметров в нужном количестве;

- снижением долевого участия украинских углей в сырьевой базе коксования из-за известных событий в Донбассе.

2. Современная сырьевая база коксования постоянно характеризовалась увеличением долевого участия в ней углей как ближнего (Россия, Казахстан), так и дальнего зарубежья. При этом география поставок импортных углей расширилась за счет включения, помимо американских, канадских и австралийских углей. Такое положение может иметь средне- и даже долгосрочную перспективу.

3. При нормализации добычи, обогащения и логистики в Донбассе долевое участие украинских углей может увеличиться до 50 % при производстве всего кокса только улучшенного качества. Если сохранится производство кокса рядового качества (до внедрения технологии вдувания ПУТ на ПАО «МК «Азовсталь» и ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог») в объеме 15-20 % от общего производства, то доля украинских углей может увеличиться до 58-60 %.

4. Необходимо уделить внимание скорейшему освоению Любельского месторождения, уголь которого по своим технологическим свойствам весьма близок к лучшим отечественным и зарубежным производителям. Включение этого угля в сырьевую базу коксования заводов Украины позволит снизить долевое участие импортных углей на 5-7 % без ухудшения качества металлургического кокса и снизить заготовительную стоимость шихты.

#### Библиографический список

1. Дроздник И.Д. Угли для коксования и пылеугольного топлива / И.Д.Дроздник, А.Г.Старовойт, В.Г.Гусак [и др.]. – Харьков: ИПЦ «Контраст», 2011. – 187 с.

2. ТУ У 322-00190443-114-96. Кокс доменный.

3. ТУ У 23.1-00190443-086:2006. Кокс доменный марки «Преміум».

4. ТУ У 19.1-00190443-065:2012. Кокс доменный ООО «Метинвест Холдинг». Опытная партия.

5. Кокс. Метод визначення індексу реакційної здатності коксу (CRI) і міцності залишку коксу після реакції (CSR): ДСТУ 4703-2006 (ISO 18894:2006, MOD [діючий від 2008-01-01]). – Київ: Держпотребстандарт, 2008. – 27 с.

6. Золотухин Ю.А. Требования к качеству кокса для доменных печей, работающих с различным удельным расходом пылеугольного топлива / Ю.А.Золотухин, Н.С.Андрейчиков, Я.Б.Куколев // Кокс и химия. – 2009. – № 3. – С. 25-30.

7. Буланов Е.А. Прогноз горячей прочности (CSR) и реакционной способности (CRI) кокса / Е.А.Буланов, В.Н.Зайнутдинов, В.Я.Кузнецов [и др.] // Кокс и химия. – 2005. – № 5. – С. 23-26.

8. Буланов Е.А. Прогноз показателей послереакционной прочности (CSR) и реакционной способности (CRI) металлургического кокса сухого тушения с учетом дилатометрии по Одиберу-Аржу / Е.А.Буланов, В.Г.Крутенков, А.В.Шуляков // Кокс и химия. – 2009. – № 10. – С. 14-19.

9. Давидзон А.Р. Содержание и состав минеральных компонентов угля – важный фактор формирования качества кокса / А.Р.Давидзон, М.Т.Улановский // Кокс и химия. – 2008. – № 5. – С. 18-21.

10. Гайниева Г.Р. Влияние свойств шихты, условий ее подготовки и коксования на технологические характеристики кокса // Г.Р.Гайниева. – Кокс и химия. – 2008. – № 10. – С. 8-13.

11. Гайниева Г.Р. Оценка угольного сырья. Его влияние на качество кокса и ход доменной плавки / Г.Р.Гайниева, В.И.Бызова, Н.Н.Назаров [и др.]. – Кокс и химия. – 2008. – № 10. – С. 14-19.

12. Гусак В.Г. О марочной структуре и технологических свойствах углей, импортируемых в Украину для коксования / В.Г.Гусак, И.Д.Дроздник Углехимический журнал. – 2011. – № 1-2. – С. 3-11.

13. Ковалев Е.Т., Дроздник И.Д. Возможность получения высококачественного низкорекционного металлургического кокса в условиях существующей угольной сырьевой базы Украины / Е.Т.Ковалев, И.Д.Дроздник Углехимический журнал. – 2010. – № 3-4. – С. 11-17.

14. Державний баланс запасів корисних копалин України на 01.01.2011 р. Вугілля // Геоінформ України. – Вип. 22. – С. 132-133.

Рукопись поступила в редакцию 03.03.2015.



---

**THE FEATURES OF THE FORMATION OF COAL RESOURCE BASE OF UKRAINIAN COKE-CHEMICAL ENTERPRISES IN MODERN CONDITIONS**

© Kovalev E.T., Doctor of Technical Sciences, Drozdник I.D., PhD in technical sciences, Kaftan Yu, PhD in technical sciences (SE "UKHIN")

*The content of the Ukrainian coals in resource base of coking coals permanently decreases and in 2014 reached 45,8 %. The part of the imported coals grows by involving of Canadian and Australian coals in addition to Russian and American one. In general, resource base of coking coals should provide the production of the coke of improved quality, which is needed for the expansion of the volume of the implementation of technology pulverized coal injection into blast furnaces.*

*Content of Ukrainian coals in the coal blends may be increased through the development of Lubelya deposit of Lviv-Volyn basin, low-sulfur and low-ash coal seams of which relates to the mark K. In 2019 it is planned commissioning of the mine Lubelska № 1-2, the coal of which by its quality characteristics corresponds to the best domestic and foreign samples.*

Keywords: coal, coke, reactivity, import content, equity participation, quality characteristics.

---