

**В.Г. ГУСАК**

(Україна, Донецьк, ООО "Метинвест Холдинг"),

**И.Д. ДРОЗДНИК**, канд. техн. наук,

**Н.И. ТОПОРКОВА, О.Н. СЕРБИН**

(Україна, Харків, УХИН)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОГАТИМОСТИ АМЕРИКАНСКИХ  
КОКСУЮЩИХСЯ УГЛЕЙ**

Известно, что дефицитность сырьевой базы коксования заводов Украины как в настоящее время, так и в перспективе имеет постоянный характер, в связи с чем ожидается увеличение импортной составляющей с 30...35% в 2011 году до 50...55% в 2015 году. При этом, как указывалось ранее [1], потребность в углях основных спекающих марок (Ж, К, ОС) может быть обеспечена только странами дальнего зарубежья и, прежде всего, Соединенными Штатами Америки.

В этой связи ООО "Метинвест Холдинг" проводится определенная работа по приобретению угольных активов и мощностей по обогащению.

В процессе этой работы УХИНОм проведены исследования десяти образцов рядовых углей американских шахт, технологические свойства которых представлены в табл. 1.

*Таблица 1*

Технологические свойства углей США (товарный концентрат)

Наименование угля	Марка по ДСТУ 3472-96	Технический анализ, %			Пластомет- рический по- казатель, мм		Средний произволь- ный показатель от- ражения витринита, R <sub>0</sub> , %
		A <sup>d*</sup>	S <sup>d*t</sup>	V <sub>daf</sub>	X	Y	
"Advantage"	Г	9,1	1,49	42,4	43	16	0,89
"Uz2"	Г	8,5	1,53	41,8	46	15	0,74
"PAW PAW #1"	Ж	8,4	1,09	35,3	23	24	0,95
"Conaway # 1"	Ж	7,7	1,74	35,8	11	31	0,94
"Locust Thicket"	Ж	8,7	0,87	33,6	18	25	0,95
"Tech Leasing"	Ж	8,7	1,10	37,3	19	25	0,98
"STAR BRIDGE"	Ж*)	10,6	0,64	31,8	30	15	1,02
"EAST GULF"	ОС	8,0	0,80	17,5	14	10	1,56

\*) – По ГОСТ 25543-88

Данные таблицы показывают, что исследовались три марки углей, в то числе марки Г – два угля, марки Ж – пять и марки ОС – один. Последний был представлен пробами трех пластов: "РОСА# 2 SEAM"; "РОСА # 3 SEAM"; "РОСА # 6 SEAM".

Пробы рядовых углей указанных шахт были доставлены в УХИН в количестве 600...900 кг каждая для определения ситового и фракционного составов, обогатимости и составления теоретического и ожидаемого баланса продуктов обогащения.

## **Загальні питання технології збагачення**

В таблиці 2 представлена якісна характеристика досліджуваних вугілля по даним прилежних удостоверень якості американської стороною, а також зольності, визначеної в УХИНе.

Таблиця 2

Характеристика рядових вугілля США					
№ п/п	Найменування		Теханаліз, %		
	шахта	пласт	W*	A <sup>d*</sup> /A <sup>d**</sup>	S <sup>d*t</sup>
1	"Advantage"	"Elkhorn 3"	5,62	36,9/34,6	1,95
2	"Uz2"	"Elkhorn 3"	5,27	51,2/53,2	1,45
3	"PAW PAW #1"	"Splasdam seam"	5,93	35,3/34,8	1,30
4	"Conaway # 1"	"Splasdam seam"	4,90	52,6/46,3	1,38
5	"Locust Thicket"	"Hagy seam"	4,21	35,3/38,3	1,74
6	"Tech Leasing"	"Hagy seam"	5,79	57,8/61,0	1,09
7	"STAR BRIDGE"	"SEWELL"	7,00	38,0/33,0	0,50
8	"EAST GULF"	"POCA# 2SEAM"	4,50	53,0/48,3	0,72
9	"EAST GULF"	"POCA # 3SEAM"	4,00	37,3/36,8	0,75
10	"EAST GULF"	"POCA # 6SEAM"	2,20	50,7/47,5	0,77

A<sup>d\*</sup> – дані США

A<sup>d\*\*</sup> – дані УХИНа

Представлені для досліджень проби рядових вугілля були підвергнуті ситовому (ДСТУ 4082-2002 "Топливо тверде. Ситовий метод визначення гранулометричного складу") і фракційному (ДСТУ 3550-97 "Топливо тверде. Визначення і представлення показників фракційного аналізу. Загальні вимоги до апаратури і методик") аналізам з наступним визначенням зольності окремих фракцій і класів крупності. Дані фракційного аналізу використані для складання теоретичного балансу продуктів збагачення за щільності 1500 кг/м<sup>3</sup> і визначення категорії збагачуваності в відповідності з ГОСТ 10100-84 "Вугілля каменні і антрацит. Метод визначення збагачуваності".

Таблиця 3

Гранулометричний склад рядових вугілля по машинним класам крупності									
Шахта	Пласт	13-100 мм		3-13 мм		0,5-3 мм		0-0,5 мм	
		Y, %	A <sup>d</sup> , %	Y, %	A <sup>d</sup> , %	Y, %	A <sup>d</sup> , %	Y, %	A <sup>d</sup> , %
"Advantage"	"Elkhorn 3"	55,3	35,9	27,3	33,5	11,2	29,6	6,2	36,5
"Uz2"	"Elkhorn 3"	60,8	59,5	22,8	40,7	10,1	44,0	6,3	53,2
"PAW PAW #1"	"Splasdam seam"	44,0	53,2	30,2	20,1	16,0	20,1	9,8	22,5
"Conaway # 1"	"Splasdam seam"	36,7	76,1	31,0	33,9	22,3	21,9	10,0	29,9
"Locust Thicket"	"Hagy seam"	54,3	51,6	26,1	25,6	2,9	18,0	7,7	21,5
"Tech Leasing"	"Hagy seam"	45,6	81,3	27,3	51,9	18,3	33,2	8,8	42,4
"STAR BRIDGE"	"SEWELL"	44,2	39,4	29,1	30,5	27,7	24,0	9,70	26,4
"EAST GULF"	"POCA # 2 SEAM"	39,4	77,2	29,1	36,9	19,7	21,5	11,8	24,4
	"POCA # 3 SEAM"	26,6	68,0	30,7	34,5	24,2	17,2	18,5	20,6
	"POCA# 6 SEAM"	32,6	80,2	27,8	39,8	22,0	21,8	17,6	31,4

## **Загальні питання технології збагачення**

Клас крупності рядового угля (табл. 3) 13-100 мм практично всіх шахт характеризується високою зольністю (53,2...81,3%). Ісключением являються углі цієї крупності шахт "STAR BRIDGE" і "Advantage", зольність яких становить 39,4 і 35,9% відповідно. Пovyшенна зольність класу крупності 3-13 мм характерна для углей шахт "Tech Leasing" (51,9%) і "Uz2" (40,1%). Високе вміст класу крупності менше 0,5 мм характерно для углей трьох пластів шахти "EAST GULF" і шахти "Conaway # 1", яке знаходиться в межах 10,0...18,5%. Нескільки нижче ці значення у углей інших шести шахт. Слід відзначити, що в процесі переробки частка його збільшиться за рахунок додаткового дроблення більш крупних класів.

В таблиці 4 представлені результати фракційного аналізу досліджуваних углей за густиною розділення 1400; 1500; 1600 і 1800 кг/м<sup>3</sup>.

*Таблиця 4*

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Фракционный состав							
	Шахта							
	"Advantage"		"Uz2"		"PAW PAW #1"		"Conaway # 1"	
	"Elkhorn 3"		"Elkhorn 3"		"Splasdam seam"		"Splasdam seam"	
	Выход, %	A <sup>d</sup> , %	Выход, %	A <sup>d</sup> , %	Выход, %	A <sup>d</sup> , %	Выход, %	A <sup>d</sup> , %
< 1400	58,7	5,4	37,1	4,6	56,9	6,8	45,9	4,8
1400-1500	1,9	16,8	1,4	14,9	3,7	20,6	2,4	10,8
1500-1600	1,0	22,2	0,9	19,5	1,3	27,7	0,8	19,9
1600-1800	1,5	32,6	1,5	30,9	2,9	36,4	1,3	29,3
> 1800	36,9	82,3	59,1	85,6	35,2	81,8	49,6	87,4
ИТОГО	100,0	34,6	100,0	53,2	100,0	34,8	100,0	46,3

*Продолжение табл. 4*

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Шахта							
	"Locust Thicket"		"Tech Leasing"		"STAR BRIDGE"		"EAST GULF"	
	"Hagy seam"		"Hagy seam"		"SEWELL"		"POCA # 2 SEAM"	
	Выход, %	A <sup>d</sup> , %	Выход, %	A <sup>d</sup> , %	Выход, %	A <sup>d</sup> , %	Выход, %	A <sup>d</sup> , %
< 1400	47,7	6,7	30,2	5,0	48,5	8,0	44,6	5,8
1400-1500	2,6	22,5	1,8	12,8	5,0	19,2	2,2	15,2
1500-1600	0,6	28,3	1,1	17,8	3,6	26,5	1,2	21,1
1600-1800	1,5	39,4	2,0	31,6	6,0	34,2	2,0	29,9
> 1800	47,6	70,9	64,9	90,1	36,9	68,1	50,0	89,0
ИТОГО	100,0	38,3	100,0	61,0	100,0	33,0	100,0	48,3

*Окончание табл. 4*

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Шахта "EAST GULF"			
	"POCA # 3 SEAM"		"POCA # 6 SEAM"	
	Выход, %	A <sup>d</sup> , %	Выход, %	A <sup>d</sup> , %
< 1400	46,1	5,7	46,1	2,4
1400-1500	4,6	14,5	1,3	10,3
1500-1600	5,2	21,0	1,3	14,4
1600-1800	8,8	28,6	1,0	25,3
> 1800	35,3	84,6	50,3	91,2
ИТОГО	100,0	36,8	100,0	47,5

## **Загальні питання технології збагачення**

Результаты фракционного анализа исследованных углей свидетельствуют о том, что наибольший выход концентратной фракции (58,7%) по плотности разделения 1400 кг/м<sup>3</sup> получен из угля шахты "Advantage" с зольностью 5,4%, а наименьший (37,1%) – из угля шахты "Uz2". Для концентратной фракции по плотности разделения 1400 кг/м<sup>3</sup> рядового угля шахты "EAST GULF" пласта "POCA # 6 SEAM" характерна очень низкая зольность – 2,4 %.

На основании фракционного анализа составлен теоретический баланс продуктов обогащения исследованного угля. В таблице 5 приведен теоретический баланс продуктов обогащения по плотности разделения 1500 кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 5

Теоретический баланс продуктов обогащения рядовых углей по плотности разделения 1500 кг/м<sup>3</sup>

Шахта	Пласт	Концентрат		Промпродукт		Порода		Обога- тимость
		Y, %	A <sup>d</sup> , %	Y, %	A <sup>d</sup> , %	Y, %	A <sup>d</sup> , %	
"Advantage"	"Elkhorn 3"	60,6	5,8	2,5	28,3	36,9	82,3	Легкая
"Uz2"	"Elkhorn 3"	38,5	5,0	2,4	26,6	59,1	85,6	Средняя
"PAW PAW #1"	"Splasdam seam"	60,6	7,6	4,2	33,7	35,2	81,8	Средняя
"Conaway # 1"	"Splasdam seam"	48,3	5,1	2,1	25,7	49,6	87,4	Легкая
"Locust Thicket"	"Hagy seam"	50,3	7,5	2,1	36,2	47,6	70,9	Легкая
"Tech Leasing"	"Hagy seam"	32,0	5,4	3,1	26,7	64,9	90,1	Средняя
"STAR BRIDGE"	"SEWELL"	53,5	9,1	9,6	31,3	38,9	68,1	Очень трудная
	"POCA # 2 SEAM"	46,8	6,2	3,2	26,7	50,0	89,0	Средняя
"EAST GULF"	"POCA # 3 SEAM"	50,7	6,5	14,0	25,8	35,3	84,6	Очень трудная
	"POCA# 6 SEAM"	47,4	2,6	2,3	19,4	50,3	91,2	Легкая

Представленные в таблице результаты показывают, что угли шахт "Advantage", "Locust Thicket", "Conaway # 1" и "EAST GULF" (пласт "POCA # 6 SEAM") является легкообогащаемыми.

Рядовые угли "PAW PAW #1", "Tech Leasing", "Uz2" и "EAST GULF" (пласт "POCA # 2 SEAM") относятся ко второй категории (среднеобогащаемые).

Угли шахт "STAR BRIDGE" и "EAST GULF" (пласт "POCA # 3 SEAM") являются очень труднообогащаемыми и характеризуются невысоким выходом (53,5 и 50,7%) концентратной фракции.

Класс крупностью менее 0,5 мм, помимо фракционного, был подвергнут флотационному разделению (таблица 6) в лабораторной флотомашине типа 136Б ФЛ (емкость камеры 1 л). плотность пульпы при этом составила 100 г/л. В качестве реагентов использованы: собиратель – керосин (удельный расход 1500 г/т) пенообразователь – КОБС (удельный расход 150 г/т).

## **Загальні питання технології збагачення**

Перед проведенням флотации исследуемые угли были подвергнуты тесту на окисленность ( $\Delta t$  ОС).

*Таблица 6*

Результаты флотации рядового угля крупности менее 0,5 мм					
Наименование		Флотоконцентрат		Зольность хвостов $A^d$ , %	Степень окисленности, $\Delta t$ ОС
шахта	пласт	Y, %	$A^d$ , %		
"Advantage"	"Elkhorn 3"	63,2	17,5	69,1	6
"Uz2"	"Elkhorn 3"	35,0	17,9	72,2	6
"PAW PAW #1"	"Splasdam seam"	83,2	10,0	84,4	6
"Conaway # 1"	"Splasdam seam"	70,0	11,5	73,2	4
"Locust Thicket"	"Hagy seam"	80,7	9,6	71,3	5
"Tech Leasing"	"Hagy seam"	59,4	13,9	84,1	6
"STAR BRIDGE"	"SEWELL"	80,0	16,4	66,4	6
	"POCA # 2SEAM"	78,1	9,9	76,1	4
"EAST GULF"	"POCA # 3SEAM"	86,3	10,3	86,0	6
	"POCA # 6SEAM"	65,6	6,4	79,1	5

Данные таблицы 6 свидетельствуют о том, что уголь крупностью 0-0,5 мм всех исследуемых шахт не окислен ( $\Delta t = 4 \div 6$  ОС). Наименьший выход флотоконцентрата и максимальная зольность характерны для угля крупностью 0-0,5 мм шахты "Uz2" – 35,0 и 17,9% соответственно.

Теоретический баланс продуктов обогащения составлен без учета дополнительного измельчения и взаимозасорения продуктов обогащения смежными фракциями и результатов флотационного разделения, то есть в реальных условиях качественно-количественные показатели обогащения рядового угля будут несколько отличны от теоретических результатов.

По данным фракционного анализа с учетом взаимозасорения и дополнительного измельчения классов крупности более 1 мм в процессе переработки (в соответствии с СОУ 10.1.00.18.55.002-2004 "Угольная продукция обогащения. Методика расчета показателей качества") рассчитан ожидаемый баланс продуктов обогащения исследованных легко- и среднеобогатимых рядовых углей по плотностям разделения  $1500 \text{ кг/м}^3$  с выделением двух продуктов, поскольку выделение незначительного количества промпродуктовых фракций является нецелесообразным.

Для очень труднообогатимых углей (шахта "EAST GULF", пласт "POCA # 3 SEAM" и шахта "STAR BRIDGE") рассчитан ожидаемый баланс продуктов обогащения для условий выделения как двух, так и трех продуктов.

В основе расчета качественно-количественных показателей продуктов разделения во флотомашинах использованы данные лабораторных исследований.

В таблице 7 представлен ожидаемый баланс продуктов обогащения рядового угля с учетом засорения и дополнительного шламообразования по плотности разделения  $1500 \text{ кг/м}^3$ .

Ожидаемый баланс продуктов обогащения

Шахта	Пласт	Общий концентрат		Промпродукт		Общие отходы		Зольность исходного, %
		Y, %	A <sup>d</sup> , %	Y, %	A <sup>d</sup> , %	Y, %	A <sup>d</sup> , %	
"Advantage"	"Elkhorn 3"	62,8	7,9	–	–	37,2	79,5	34,6
"Uz2"	"Elkhorn 3"	40,3	7,5	–	–	59,7	83,9	53,1
"PAW PAW #1"	"Splasdam seam"	62,3	9,6	–	–	37,7	76,7	34,9
"Conaway # 1"	"Splasdam seam"	50,6	7,1	–	–	49,4	86,4	46,3
"Locust Thicket"	"Hagy seam"	51,8	9,2	–	–	48,2	69,6	38,3
"Tech Leasing"	"Hagy seam"	33,9	8,2	–	–	66,1	88,0	61,0
"STAR BRIDGE"	"STAR BRIDGE"	56,0	11,3	–	–	44,0	60,6	33,0
	"SEWELL"	54,4	10,4	8,0	38,2	37,6	64,6	
"EAST GULF"	"POCA # 2 SEAM"	48,5	8,3	–	–	51,5	85,9	48,3
	"POCA # 3 SEAM"	57,4	9,6	–	–	42,6	74,4	36,8
	"POCA # 6 SEAM"	55,8	9,0	11,3	38,8	32,9	83,2	
	"POCA # 6 SEAM"	49,3	4,4	–	–	50,7	89,4	47,5

Данные таблицы 7 показывают, что зольность ожидаемого концентрата из труднообогатимых углей шахт "EAST GULF" (пласт "POCA # 3 SEAM") и "STAR BRIDGE" при условии выделения двух продуктов составляет 9,6 и 11,3% соответственно. При выделении трех продуктов из этих углей зольность снижается до 9,0 и 10,4% соответственно, а выход общего концентрата при этом уменьшается на 1,6%.

Наименьшая зольность общего концентрата (4,4%) при выходе его, равном 49,3%, характерна для легкообогатимого угля шахты "EAST GULF" (пласт "POCA # 6 SEAM").

На основании выше изложенного, можно сделать следующие основные выводы:

1. Класс крупности 13-100 мм рядового угля практически всех шахт имеет высокую зольность (53,2...81,3%). Исключением являются угли шахт "STAR BRIDGE" и "Advantage", зольность которых составляет 39,4 и 35,9% соответственно.

2. Угли шахт "Advantage", "Locust Thicket", "Conaway # 1" и "EAST GULF" (пласт "POCA # 6 SEAM") являются легкообогатимыми; шахт "PAW PAW #1", "Tech Leasing", "Uz2" и "EAST GULF" (пласт "POCA # 2 SEAM") – среднеобогатимыми; шахт "STAR BRIDGE" и "EAST GULF" (пласт "POCA # 3 SEAM") очень труднообогатимы и характеризуются невысоким выходом (53,5 и 50,7%) концентратной фракции.

3. Уголь крупностью 0-0,5 мм всех исследуемых шахт не окислен ( $\Delta t = 4 \div 60^\circ\text{C}$ ). Наименьший выход флотоконцентрата и максимальная зольность характерны для угля шахты "Uz2" – 35,0 и 17,9% соответственно.

4. Труднообогатимые угли шахт "EAST GULF" (пласт "POCA # 3 SEAM")

## **Загальні питання технології збагачення**

и "STAR BRIDGE" целесобразно обогащают при условии выделения трех продуктов. При выходе общего концентрата, равном 55,8 и 54,4% соответственно, зольность составит 9,0 и 10,4%. Легко- и среднеобогатимые рядовые угли рекомендуется перерабатывать с выделением двух продуктов, поскольку выделение незначительного количества промпродуктовых фракций нецелесобразно.

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

© Гусак В.Г., Дроздник И.Д., Топоркова Н.И., Сербин О.Н., 2011

*Надійшла до редколегії 22.03.2011 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*