

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
КОКСОВОГО И КОНВЕРТОРНОГО ГАЗОВ  
С ЦЕЛЬЮ ИХ УТИЛИЗАЦИИ**

© 2009 Михальская Л.Л., к.т.н.,  
Прохач Э.Е., д.т.н. (ХНЦВЭ)

*Объемно-оптическими методами, а также методами атомно-абсорбционной спектроскопии, фотоколориметрии и хромато-масс-спектрометрии исследован состав и коксового и конверторного газов. Определены их энергетические характеристики для оценки возможности их утилизации.*

*The composition and energetic characteristics of coking and converter gases were defined by various methods (optical, atomic-absorption spectrometry, photo colorimetry, chromate-mass-spectrometry) for appraisal of possible utilization.*

Ключевые слова: коксовый газ, конверторный газ, состав, энергетические характеристики.

Техническая политика, проводимая в настоящее время государством, направлена на существенное снижение энергопотребления и повышение эффективности использования топлива. В связи с этим особую актуальность приобретает проблема утилизации газов, выделяющихся при производстве чугуна, стали и кокса. Такие работы проводятся на Алчевском и Днепропетровском металлургических комбинатах.

В сложившейся ситуации, связанной с резким повышением стоимости природного газа, предпочтительным и перспективным является конверторное производство стали и утилизация конверторного газа. Однако возможность утилизации конверторного газа требует дополнительного исследования – в отличие от коксового, который уже давно применяется в качестве теплоносителя.

Проведению работ по утилизации конверторного газа на металлургических комбинатах должна предшествовать оценка его состава и энергетических характеристик. Решению именно этой задачи посвящено исследование, результаты которого приведены ниже.

Отобранные на металлургическом комбинате пробы газов доставлялись в стационарные лаборатории Харьковского научного центра военной экологии, где специалисты центра проводили химические анализы по определению содержания веществ, входящих в конверторный газ, составляли протокол и оформляли соответствующие отчеты. Часть анализов осуществлялись непосредственно на предприятии на базе заводской лаборатории. При измерениях были использованы следующие основные средства измерительной техники:

– атомно-абсорбционный спектрометр Varian SpectrAA-100/200;

– атомно-абсорбционный спектрометр Perkin Elmer 3100  
 – фотоколориметр КФК-3;  
 – газовый хроматограф HP-6890 с масс-селективным детектором HP-5972;  
 – прибор сигнализатор-анализатор "Дозор-С";  
 – интерферометры "Ме-4", "Ме-4М".

– объемно-оптический газоанализатор-сигнализатор типа ООГ-1, ООГ-2.

Результаты определения массового содержания веществ, входящих в состав коксового и конверторного газов, их процентное содержание по объему, а также погрешности измерений приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

**Результаты определения содержания веществ в коксовом газе, отобранном на газоповысительной станции Днепропетровского металлургического комбината**

Определяемое вещество	Содержание определяемого вещества (среднее значение)		Метод анализа	Относительная погрешность методики выполнения измерений, %
	мг/м <sup>3</sup>	% по объему		
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	62832,0	3,4	Объемно-оптический	±2
Оксид углерода (CO)	47040,0	4,0		±2
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	8520,0	0,56		±25
Кислород (O <sub>2</sub> )	11428,0	0,8		±2
Водород (H <sub>2</sub> )	47040,0	56,0		±2
Метан (CH <sub>4</sub> )	161280,0	24,0		±25
Углеводороды (C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> )	-*	4,8		±25
Аммиак (NH <sub>3</sub> )	-	-		±25
Свободный хлор (Cl <sub>2</sub> )	42045,0	1,41		±25
Азот (N <sub>2</sub> )		5,03**		Расчет

\* В соответствии с ТЗ проводилось определение массового содержания отдельных углеводородов по номенклатуре показателей, предложенной Заказчиком. В табл. 1 и 2 данные не приводятся.

\*\* Содержание азота в процентах по объему в табл. 1 и 2 определено по формуле:

$$N_2 = 100 - (CH_4 + C_mH_n + CO + H_2 + H_2S + CO_2 + O_2 + Cl_2)$$

Таблица 2

**Результаты определения содержания веществ в конверторном газе**

Определяемое вещество	Содержание определяемого вещества (среднее значение)		Метод анализа	Время отбора проб	Относительная погрешность методики выполнения измерений, %
	мг/м <sup>3</sup>	% по объему			
Оксид углерода (CO)	88200,0	7,5	Объемно-оптический	8 <sup>45</sup> -8 <sup>49</sup>	±2
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	1544,0	0,1			±25
Кислород (O <sub>2</sub> )	32256,0	2,4			±2
Водород (H <sub>2</sub> )	1260,0	1,5			±2
Метан (CH <sub>4</sub> )	34944,0	5,2			±25
Углеводороды (C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> )	-	1,8			±25
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	371448,0	20,1			±2
Аммиак (NH <sub>3</sub> )	-	-			±25
Свободный хлор (Cl <sub>2</sub> )	-	-			±25
Азот (N <sub>2</sub> )		61,4**			Расчет
Оксид углерода (CO)	401016,0	34,1	Объемно-оптический	8 <sup>49</sup> -8 <sup>52</sup>	±2
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	3104,0	0,2			±25
Кислород (O <sub>2</sub> )	16128,0	1,2			±2
Водород (H <sub>2</sub> )	168,0	0,2			±2
Метан (CH <sub>4</sub> )	5376,0	0,8			±25
Углеводороды (C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> )	-*	1,2			±25
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	419496,0	22,7			±2
Аммиак (NH <sub>3</sub> )	-	-			±25
Свободный хлор (Cl <sub>2</sub> )	-	-			±25
Азот (N <sub>2</sub> )		39,6**			Расчет

Оксид углерода (CO)	508032,0	43,2	Объемно-оптический	$8^{52}-8^{56}$	±2
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	5880,0	0,39			±25
Кислород (O <sub>2</sub> )	18816,0	1,4			±2
Водород (H <sub>2</sub> )	252,0	0,3			±2
Метан (CH <sub>4</sub> )	12096,0	1,8			±25
Углеводороды (C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> )	-*	5,4			±25
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	314160,0	17,0			±2
Аммиак (NH <sub>3</sub> )	-	-			±25
Свободный хлор (Cl <sub>2</sub> )	-	-			±25
Азот (N <sub>2</sub> )		30,51**			Расчет
Оксид углерода (CO)	401016,0	34,1	Объемно-оптический	$8^{56}-8^{58}$	±2
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	3480,0	0,23			±25
Кислород (O <sub>2</sub> )	22848,0	1,7			±2
Водород (H <sub>2</sub> )	756,0	0,9			±2
Метан (CH <sub>4</sub> )	9408,0	1,4			±25
Углеводороды (C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> )	-*	1,99			±25
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	343728,0	18,6			±2
Аммиак (NH <sub>3</sub> )	-	-			±25
Свободный хлор (Cl <sub>2</sub> )	-	-			±25
Азот (N <sub>2</sub> )		41,08**			Расчет
Оксид углерода (CO)	31752,0	2,7	Объемно-оптический	$8^{58}-9^{01}$	±2
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	124,0	0,0082			±25
Кислород (O <sub>2</sub> )	135744,0	10,1			±2
Водород (H <sub>2</sub> )	0,0	0,0			±2
Метан (CH <sub>4</sub> )	14784,0	2,2			±25
Углеводороды (C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> )	-*	0,21			±25
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	221760,0	12,0			±25
Аммиак (NH <sub>3</sub> )	-	-			±2
Свободный хлор (Cl <sub>2</sub> )	-	-			±25
Азот (N <sub>2</sub> )		72,78*			Расчет
Пыль	0,0172	-	Гравиметрический	$14^{40}-15^{40}$	±25
Диоксид кремния (SiO <sub>2</sub> )	0,00064	-	Фотометрический	$14^{40}-15^{40}$	±25
Бензол (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	0,820	-	Газовая хроматография/масс- спектрометрия	$14^{07}-14^{28}$	±14
Толуол	0,653	-	Газовая хроматография/масс- спектрометрия	14.07-14.28	±14
Этилбензол	0,176	-			±14
о-ксилол	-	-			±14
п-ксилол	1,349	-			±14
Стирол	1,483	-			±14
1,3-бутадиен	-	-			±15
Ацетилен	-	-			±15
Циклопентан (C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> )	-	-			±15
Этан (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	-	-			±10
Пентан (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	-	-			±10
Вода (макс. значение)	28810	3,58			±10
Смолы (Tar, PAH), в том числе:					
Аценафтен	0,154	-	Газовая хроматография/масс- спектрометрия	$14^{07}-14^{28}$	±25
Инден	-	-			±25
Флуорен	0,134	-			±25
Хризен	0,140	-			±25
Пирен	0,038	-			±25
Нафталин	0,168	-			±25
Натрий (Na)	0,0665	-			Атомно-эмиссионная спектрометрия
Калий (K)	0,1056	-			

Продолжение таблицы 2

Оксид магния (MgO)	0,2155	-	Атомно-абсорбционная спектрометрия		±15	
Барий (Ba)	0,000359	-			±20	
Кальций (Ca)	1,1483	-			±9	
Марганец (Mn)	0,0038	-			±15	
Свинец (Pb)	0,0258	-			±15	
Цинк (Zn)	0,01111	-			±15	
Оксид железа (FeO)	0,7866	-			±25	
Оксид кальция (CaO)	-	-			±25	
Ванадий (V)	-	-			±25	
Алюминий (Al)	0,04315	-			±25	
Фосфор (P)	0,00459	-	Фотометрический	11 <sup>23</sup> -12 <sup>23</sup>	±25	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в пересчете на алюминий	0,0081	-			±25	
Хлориды (Cl)	0,5139	-			14 <sup>33</sup> -15 <sup>01</sup>	±10
Оксиды азота (NO <sub>x</sub> )	-	-			15 <sup>35</sup> -16 <sup>13</sup>	±13
Сернистый ангидрид (SO <sub>2</sub> )	0,5355	-			14 <sup>40</sup> -15 <sup>40</sup>	±15
Сера (S <sub>2</sub> )	-	-				±6



Как видно из табл. 2, состав конверторного газа во время проведения плавки существенно изменяется. Для иллюстрации характера изменения содержания горючих составляющих в конверторном газе на рис. 1

показано изменение процентного содержания оксидов углерода в процессе плавки.

Результаты проведенных измерений позволяют рассчитать низшую теплоту сгорания газа. Низшая теплота сгорания конверторного газа определялась для заданных моментов в процессе плавки.

Расчет низшей (полезной) теплоты сгорания сухого газа проводился по известным зависимостям [3, 4]:

$$Q_n = 29,96H_2 + 22,25CO + 80CH_4 + 13,2C_2H_2 + 31,42C_6H_6^* + 142,97C_nH_m + 55,93H_2S \text{ ккал/м}^3,$$

где H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, H<sub>2</sub>S, — объемное содержание данного вещества, %;

C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>\* — объемное содержание бензола и его гомологов, %.

Результаты пересчета массовой концентрации бензола и его производных в конверторном газе в проценты по объёму приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Пересчёт массовой концентрации бензола и его производных конверторном газе в проценты по объёму**

Наименование компонента	Молекулярная масса, г/моль	Концентрация, мг/м <sup>3</sup>	% по объёму
Бензол	78	0,82	2,35487 10 <sup>-5</sup>
Толуол	92	0,653	1,58991 10 <sup>-5</sup>
Этилбензол	106	0,176	3,71925 10 <sup>-6</sup>
п-ксилол	106	1,349	2,85072 10 <sup>-5</sup>
Стирол	104	1,483	3,19415 10 <sup>-5</sup>
Всего			1,03616 10 <sup>-4</sup>

Диапазоны изменения низшей (полезной) теплоты сгорания и удельного веса конверторного газа в процессе плавки, рассчитанные по результатам измерений, приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Энергетические характеристики коксового и конверторного газов**

Газ	Низшая теплота сгорания, ккал/м <sup>3</sup>	Удельный вес, кг/м <sup>3</sup>
Коксовый	4404,3	0,531
Конверторный	119,0-1908,0	1,348-1,412



Рис. 2 Изменение нижней теплоты сгорания конверторного газа в процессе плавки

Изменение нижней теплоты сгорания конверторного газа в процессе плавки в зависимости от времени показано на рис. 2.

#### Выводы

1. В процессе плавки максимальное значение нижней теплоты сгорания конверторного газа вдвое ниже соответствующего показателя коксового газа, при

этом плотность конверторных газов почти в три раза выше.

2. При определении возможности и целесообразности утилизации конверторного газа следует учитывать динамику изменения его состава в процессе плавки.

#### Библиографический список

1. Методика виконання вимірювань концентрації  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $CO$ , в повітрі промислових підприємств за допомогою газоаналізаторів типу ООГ-1, ООГ-2. МВВ – 05-05. Розроблено МЧС України. Свідоцтво №15 від 15.05.2001 р.

2. Методика виконання вимірювання об'ємних часток газів рудникового повітря на інтерферометрах "Ме-4", "Ме-4М". МВВ-06-05. Свідоцтво № 5 від 15.05.2001 р.

3. Теплотехника (курс общей теплотехники). Под общей редакцией И.Н.Сушкина. Изд. 2-е, переработанное. – М.: Металлургия, 1973. – 217 с.

4. Абрамов А.С., Шейнин Б.И. Топливо, топки и котельные установки. – М.: Металлургия, 1953. – 273 с.

Рукопись поступила в редакцию 15.03.2009