

ВЛИЯНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА КОКСОВАНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОКСА© А.С. Гайдаенко¹*ПАО «ЗАПОРОЖКОКС», 69600, г. Запорожье, ул. Диагональная, 4, Украина*А.Л. Фидчунов², к.т.н., И.В. Шульга³, к.т.н. канд. техн. наук,*Государственное предприятие «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт (УХИИ)» 61023, г. Харьков, ул. Веснина, 7, Украина*¹ Гайдаенко Александр Сергеевич, первый зам.ген.дир., гл. инж., e-mail: Aleksandr.Gaydaenko@zaporozhcoke.com² Фидчунов Алексей Леонидович, канд. техн., с.н.с, наук, e-mail: ko@ukhin.org.ua³ Шульга Игорь Владимирович, канд. тех. наук, заведующий коксовым отделом, e-mail: ko@ukhin.org.ua

Предложен способ снижения выбросов загрязняющих веществ, в частности оксидов азота, путем регулирования гидравлического режима коксования. Приведены экспериментальные данные о влиянии давления в газосборнике на количество образующихся оксидов азота в отопительной системе коксовых батарей.

Ключевые слова: коксовая печь, отопительная система, гидравлический режим, коксования, газосборник, оксиды азота.

В настоящее время по требованию доменщиков на нескольких коксохимических заводах Украины уделяется особое внимание высоким качественным характеристиками производимого кокса, в том числе, по показателям CRI и CSR. Для выполнения этого условия на ПАО «ЗАПОРОЖКОКС» в соответствии с требованиями ТУ У 19.1-00190443-065:2012 «Кокс доменный ООО «Метинвест-Холдинг». Опытная партия», конечная температура кокса перед выдачей на всех батареях завода была повышена до 1100-1150 °С. Такие условия обеспечиваются путем поддержания повышенных температур в отопительных каналах (выше регламентных на 20-30 °С), что в связно с риском образования больших количеств «термических» оксидов азота [1].

В первую очередь, на процесс образования NO_x влияет количество воздуха и отопительного газа, поступающие в отопительную систему коксовых батарей. Как известно, коксовая батарея является топливотребляющим устройством, требующим замедления процесса сгорания отопительного газа для обеспечения равномерного обогрева коксусеомой загрузки [2]. Поэтому в отопительном канале перемешивание газа с воздухом осуществляется путем молекулярной диффузии при ламинарных скоростях течения потоков газа и воздуха [3]. Однако, как показано в [1], количество оксидов азота, образующихся в отопительной системе, определяется также факторами, обусловленными периодическими процессами, идущими в камере коксования (выделение летучих продуктов термической деструкции угля). Азотсодержащие соединения (HCN и NH_3) прососов сырого коксового газа из камеры коксования в отопительные каналы являются материалом для образования оксидов азота по «топливному» механизму. Таким образом, представляет интерес возможность регулирования давления в камере коксования с целью уменьшения перетоков коксового газа и, как следствие, снижения количества оксидов азота, образующихся при сгорании аммиака и цианистого водорода, которые содержатся в сыром коксовом газе.

Разработанная за рубежом система регулирования давления в камере коксования PROven [4] предусматривает работу батареи при разрежении в газосборнике (~ 300 Па). По утверждению разработчиков, такая величина разрежения практически исключает прососы сырого коксового газа в отопительную систему в начальный период коксования, когда газовое давление в камере коксования максимальное.

Согласно ПТЭ [5] п. 7.216.1 на коксовых батареях давление в газосборнике устанавливается таким образом, чтобы давление в печных камерах за 15 мин до выдачи кокса на уровне пода камеры составляло не менее 5 Па и не больше 30 Па. Это требование обусловлено, в первую очередь, стремлением исключить перетоки из обогревательных каналов в камеру коксования, что могло бы привести к разграфичиванию кладки и преждевременному разрушению огнеупора. Выполнение этих требований при эксплуатации коксовых печей создает условия для уплотнения кладки камер коксования заграфичиванием (основано на использовании свойств углеводородов разлагаться при высоких температурах с образованием твердых углеродистых отложений на теплонесущих поверхностях). По этой причине невозможно значительное уменьшение давления в газосборнике, поскольку к нему одновременно подключены все печи батареи, часть из которых находится на конечном этапе коксования – следовательно, есть вероятность разграфичивания их кладки.

Таким образом, невозможно существенно уменьшить величину прососов путем значительного снижения давления в двух газосборниках. Представляется более реальной последовательная эвакуация коксового газа из камеры коксования сначала в газосборник низкого, а затем – в газосборник регламентного давления.

Трудности организации работы газосборника под низким давлением (0-5 Па) вынудили использовать инжекцию, как имитацию эвакуации сырого коксового газа из камеры коксования в газосборник низкого давления. Контроль количества и состава дымовых газов на обследуемой печи осуществлялся анализом проб из газо-воздушных клапанов при трех вариантах работы батареи: стандартный режим, отключение подачи отопительного газа, включение камеры под инжекцию. Один кантовочный цикл – снятие режимных параметров обогрева и динамики прососов сырого коксового газа (отключение подачи газа), следующий кантовочный цикл – снятие параметров обогрева и динамики прососов сырого коксового газа при включенной инжекции. Поскольку эти исследования проводились в первые часы периода коксования, когда давление газов внутри камеры коксования велико, разграфичива-

ние кладки простенков, смежных с обследуемой камерой коксования, не происходило. Создаваемое при этом разрежение обеспечивало уменьшение величины про-

сосов, которое гарантированно и устойчиво фиксировалось газоанализатором. Полученные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные о влиянии давления в камере коксования на величину прососов и количество образующихся оксидов азота

Время от начала коксования, ч	Условия проведения опыта	Давление в камере, Па	Содержание в дымовых газах		Просос, %	Снижение содержания NO _x в дымовых газах, % отн.
			O ₂ , %	NO _x , мг/м ³ (при 5 % O ₂)		
2	Газ	2030	12,9	571	-	24,0
	Без газа	2030	19,5	-	10,0	
	Инжекция	1560	20,1	434	5,8	
3	Газ	1400	12,6	521	-	24,0
	Без газа	1400	19,8	-	7,9	
	Инжекция	950	20,4	396	4,1	
4	Газ	930	13,3	507	-	23,1
	Без газа	930	19,9	-	7,1	
	Инжекция	510	20,4	390	3,7	
5	Газ	560	13,6	512	-	21,1
	Без газа	560	19,9	-	7,0	
	Инжекция	180	20,4	404	3,7	
6	Газ	350	13,8	504	-	21,0
	Без газа	350	20,0	-	6,8	
	Инжекция	-30	20,4	398	3,6	

Из данных табл. 1 следует, что инжекция уменьшает давление в камере коксования приблизительно на 400 Па, т.е. иммитирует работу газосборника под разрежением 300 Па.

Инжекцией было достигнуто существенное снижение давления в камере коксования, что привело к снижению содержания в сбрасываемых дымовых газах оксидов азота NO_x. Так, на втором часу коксования снижение содержания NO_x составляет 133 мг/м³ или ~ 24 % от их общего среднего ресурса, составляющего 549 мг/м³. На 3-м и 4-м ч от начала коксования снижение содержания NO_x составляет 24 и 23,1 %, а среднее снижение – 22,6 %. В то же время, уменьшение содержания в продуктах горения оксида углерода СО не произошло, что, по нашему мнению, объясняется прососами отопительного газа в регенератор нисходящего потока через неплотности в дозовых каналах.

Снижение к шестому часу от начала коксования давления в камере до 300 Па означает, что при уменьшенном с 180 до 0 Па избыточном давлении в газосборнике газовое давление в камере составит + 100-120 Па и через 2-3 ч камера коксования окажется под разрежением, что недопустимо согласно требованиям ПТЭ. Во избежание этого, печь на шестом-седьмом часу коксо-

вания должна переключаться на газосборник высокого давления.

Таким образом, полученные результаты показали, что гидравлический режим коксования оказывает влияние на величину выбросов загрязняющих веществ. Исследования по определению влияния давления в газосборнике на количество загрязняющих веществ СО и NO_x были проведены на коксовой батарее № 6. Режим работы во время проведения исследований был следующим: фактическая температура в контрольных вертикалах составляла 1238/1268 °С (соответственно, машинная/коксовая сторона); период коксования – 17 ч; расход газа на обогрев по сторонам: машинная сторона – 4000 м³/ч, коксовая сторона – 4700 м³/ч.

Методика исследований предусматривала определение состава продуктов горения из дымовой трубы в течение двух кантовок при регламентном давлении в газосборнике (120 Па), затем перевод батареи на работу с пониженным давлением в газосборнике (80 Па) и определение в течение двух кантовок нового состава продуктов горения. В пробах продуктов горения из дымовой трубы определялись α, а также концентрации O₂, CO₂, СО, NO_x и SO₂. Полученные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Определение состава продуктов горения в дымовой трубе КБ 6

№ опыта	Состав отобранных проб дымовых газов						Давление в газосборнике, Па
	O ₂ , %	CO ₂ , %	CO, мг/м ³	α	NO _x , ppm	NO _{x3} , мг/м ³	
1	14	3,5	686	2,98	122	750,3	120 (1-я кантовка)
2	14	3,4	521	2,98	121	708,7	
3	13,9	3,6	640	2,93	122	692,6	
4	13,8	3,5	780	2,94	124	703,9	
5	13,9	3,5	828	2,92	120	651,2	
6	13,7	3,5	897	2,87	121	676,5	
Средн.	13,8	3,5	789,2	2,9	121,7	697,2	
1	13,7	3,5	890	2,9	120		120 (2-я кантовка)
2	13,9	3,5	1107	2,96	130	660,9	
3	13,8	3,5	1285	2,93	131	726,8	
4	13,7	3,6	1485	2,86	132	721,5	
5	13,7	3,6	1565	2,87	134	716,3	
6	13,7	3,6	1618	2,86	138	727,1	
Средн.	13,7	3,6	1471,1	2,9	130,8	760,0	
1	15	3	406	3,37	109	718,8	80 (1-я кантовка)
2	14,7	3,1	496	3,29	118	574,6	
3	14,5	3,2	599	3,2	122	622,0	
4	14,5	3,2	653	3,21	124	634,1	
5	14,2	3,3	843	3,12	127	635,5	
6	14,4	3,3	784	3,2	130	660,0	
Средн.	14,6	3,2	630,2	3,2	124,9	653,2	
1	14,3	3,2	738	3,19	138	643,9	80 (2-я кантовка)
2	14,4	3,2	1077	3,18	141	697,6	
3	14,3	3,3	1269	3,12	142	732,8	
4	14,2	3,3	1420	3,1	141	727,8	
5	14,2	3,3	1490	3,11	142	712,7	
6	14,3	3,3	1420	3,13	141	717,8	
Средн.	14,3	3,3	1235,7	3,1	139,4	670,9	

Анализ полученных данных свидетельствует о снижении концентрации оксидов азота в продуктах горения в пробах из дымовой трубы приблизительно на 10 %. Таким образом, существует практическая целесообразность организации работы батарей, когда камера коксования подключается последовательно сначала к газосборнику низкого, а потом регламентного давления. Кратко рекомендации заключаются в следующем:

1. Для уменьшения прососов сырого коксового газа в отопительную систему и образования NO_x эвакуация газа из камер приблизительно 1/3 печей (свежезагруженных) в первую треть периода коксования осуществляется в газосборник *низкого* избыточного давления (0, а в перспективе – (50-100 Па).

2. На шестом-седьмом часу коксования печь должна переключаться на второй газосборник с регламентным давлением – газосборник *высокого* давления.

Следует учесть: состав и объем парогазовых продуктов, поступающих в газосборники низкого и высокого давления, будут различны, что потребует корректировки регламента их работы. Это связано с тем, что удаление влаги из шихты происходит в первые 6-8 ч от начала коксования к моменту достижения температуры по оси коксуемой загрузки 100 °С [6].

Температура испарения воды значительно ниже температуры, при которой начинают выделяться летучие продукты термической деструкции из органической массы углей. Следовательно, можно считать, что основной причиной максимального давления, наблюдаемого

на начальном этапе в камере коксования, является испарение влаги шихты. Таким образом, несмотря на значительные объемы газа, принимаемого газосборником, при работе печей последовательно на два газосборника один из них будет работать главным образом на прием паров H_2O со сравнительно небольшим количеством летучих продуктов коксования (газосборник низкого давления). Другой газосборник, несмотря на то, что к нему будет подключено ~ 70 % печей, будет работать, в основном, на прием коксового газа (наличие паров воды в эвакуируемом коксовом газе будет обеспечиваться в основном за счет пирогенетической влаги).

Объем паров воды, поступающих в первый газосборник *низкого* давления, определяется следующим образом:

$$V_{\text{пара}} = \frac{41,3 \times 0,85 \times 0,1 \times 22,4 \times 22 \times 1000}{18 \times 18} = 5340 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (1),$$

где 41,3 – рабочий объем камеры коксования, м^3 ;
0,85 – насыпная плотность шихты, $\text{т}/\text{м}^3$;
0,1 – влажность шихты, составляющая $W^f = 10\%$;
22,4 – объем пара образующегося из 1 к-моля воды, м^3 ;
18 – молекулярная масса воды, $\text{кг}/\text{моль}$;
18 – период коксования, ч;
22 – количество печей подключенных к газосборнику *низкого* давления;

1000 – коэффициент перевода т в кг.

Количество коксового газа, поступающих в первый газосборник *низкого* давления, составит:

$$V_{\text{газа}} = \frac{41,3 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 350 \times 22}{18} = 13515 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (2),$$

где 350 – объем коксового газа, выделяющегося из одной тонны сухой шихты;

0,9 – коэффициент, учитывающий влажность шихты, равную 10 %.

Количество коксового газа и других летучих продуктов термической деструкции, поступающих в газосборник *регламентного* давления, составит:

$$V_{\text{газа}} = \frac{41,3 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 350 \times (65 - 22)}{18} = 26417 \text{ м}^3 \text{ газа/печь} \quad (3),$$

где 2/3 – коэффициент учитывающий, что около 2/3 печей подключено к газосборнику *регламентного* давления.

65 – число печей в батарее.

Организация последовательной эвакуации сырого коксового газа в газосборники «низкого» и «высокого» давления должна осуществляться с соблюдением положений гидравлического режима работы коксовой батареи, предложенных и разработанных Р.З.Лернером [7]: давление газов в камере коксования на протяжении

всего периода коксования должно быть избыточным и выше давления в любой сопряженной точке отопительной системы. Это обеспечит минимизацию перетоков газа из камеры коксования в отопительную систему и исключит подсос воздуха в камеры коксования.

Внедрение и освоение работы батарей с последовательной эвакуацией коксового газа в два газосборника (низкого и высокого давления) целесообразно предусмотреть на новой или реконструированной коксовой батарее.

Выводы

1. Величина прососов сырого коксового газа регулируется давлением газосборника.
2. Уменьшение количества «топливных» оксидов азота обеспечивается снижением давления в камере коксования.
3. Предложен способ последовательной эвакуации коксового газа – сначала газосборник *низкого*, а потом в газосборник *регламентного* давления.

Библиографический список

1. Фидчунов А.Т. Влияние технологических факторов на механизм образования оксидов азота при обогреве коксовых печей / Ю.С.Васильев, А.Т.Фидчунов, И.В.Шульга // УглеХимический журнал. – 2004. – № 1-2. – С. 37-41.
2. Вирозуб И.В. Тепловой режим коксовых печей / И.В.Вирозуб, Б.И.Кустов – Харьков: Металлургияиздат, 1960. – 238 с.
3. Вирозуб И.В. Расчеты коксовых печей и процессов коксования / И.В.Вирозуб, Р.Е.Лейбович. – К: Вища школа, 1970. – 248 с.
4. Опыт эксплуатации системы PROven регулирования давления в печных камерах коксовых батарей на коксохимическом заводе в Шельдерне [реф. Г.С. Ухмылова] // Кокс и химия. – 2006. – № 10. – С. 25-28.
5. Правила технической эксплуатации коксохимических предприятий / [Под редакцией В.П. Сидогина, Ю.Е. Зингермана, Ю.Г. Шаповала и др.] – Харьков: 2001. – 318 с.
6. Справочник коксохимика. Т. 2. Производство кокса [под ред. В.И.Рудыки, Ю.Е.Зингермана]. – Харьков: ИД «ИНЖЭК», 2014. – 728 с.
7. Лернер Р.З. О гидравлическом режиме коксовых печей / Р.З.Лернер // Кокс и химия. – 1938. – № 4. – С. 7-10.

Рукопись поступила в редакцию 17.04.2015



HYDRAULIC COKING MODE AS AN INSTRUMENT OF EFFECT ON THE VALUE OF THE EMISSIONS OF POLLUTANTS DURING COKING

© Gaydaenko A. (PAO "Zaporizhcoke"), Fidchunov A.L. PhD in technical sciences, Shulga I.V., PhD in technical sciences (SE "UKHIN")

A method has been proposed for reducing the emissions of pollutants, particularly nitrogen oxides, by regulation of the hydraulic mode of coking. Experimental data has been given concerning the effect of pressure in the gas collector on the value of nitrogen oxides produced in the heating system of coke oven batteries.

Keywords: coke oven, heating system, hydraulic mode, gas collector, oxides of nitrogen.
