

bility of carbonsulphur complexes formed on charcoal. *Journal of the Indian Chemical Society*, 1966, vol. 43, pp. 554-563.

11. Surovikin Yu.V., Surovikin V.F., Cehanovich M.S. Novye napravleniya v tekhnologii polucheniya uglerod-uglerod-

nykh materialov. Primenenie uglerod-uglerodnykh materialov [New trends in the technology of carbon-carbon materials. The use of carbon-carbon materials]. *Rossiiskii Khimicheskii Zhurnal*, 2007, vol. 51, no. 4, pp. 111-119. (in Russian).

УДК 662.741.3

Д.Г. Зублев<sup>а</sup>, В.Д. Барский<sup>б</sup>, А.В. Кравченко<sup>б</sup>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ В КОКСОВЫХ ПЕЧАХ. ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКИХ ГОРЕЛОК

<sup>а</sup> ОАО «Губахинский кокс», Пермский край, г. Губаха, Россия

<sup>б</sup> ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр

В ходе третьего этапа эксперимента исследовали влияние высоты горелок, подачи воздуха для обезграфичивания и величины раскрытия рециркуляционных окон на рециркуляцию продуктов горения в вертикалах, расположенных в середине обогревательного простенка. Отбор проб производили также на коксовой батарее с объёмом камер 30,9 м<sup>3</sup>. Для проведения эксперимента в вертикалах были установлены горелки высотой 210 мм вместо стандартных высотой 82 мм. Анализы выполняли по стандартным методикам, принятым на коксохимических предприятиях. В пробах продуктов горения из вертикалов нисходящего потока, отобранных у рециркуляционных окон, содержание кислорода и оксида углерода превосходило содержание этих газов в пробах, отобранных из вертикалов восходящего потока. Это свидетельствует о наличии так называемых «коротких замыканий» в отопительных каналах при установке высоких горелок. Вместо подачи продуктов горения из вертикалов нисходящего потока в вертикалы восходящего потока происходило движение коксового газа и воздуха через рециркуляционное окно в обратном направлении.

**Ключевые слова:** рециркуляция, продукты горения, отопительный канал, коксовый газ, воздух.

Ранее при проведении экспериментов по изучению влияния воздуха для обезграфичивания и размеров рециркуляционных окон на кратность рециркуляции продуктов горения в крайних вертикалах и в вертикалах в середине отопительных простенков коксовой батареи с объёмом камер 30,9 м<sup>3</sup> было установлено нарушение рециркуляционного контура [1,2]. Замеры давлений возле рециркуляционных окон и анализы проб продуктов горения свидетельствовали о том, что вместо рециркуляции продуктов горения происходило попадание коксового газа и воздуха из вертикалов восходящего потока в вертикалы нисходящего потока («короткие замыкания»).

Третий этап эксперимента предполагал изучение возможного влияния воздуха для «декарбонизации» и размеров рециркуляционных окон в сочетании с установкой высоких горелок на кратность рециркуляции продуктов горения.

Как известно, высокие горелки применяются для улучшения равномерности прогрева коксового пирога по высоте [3]. Улучшение про-

грева связано с повышением уровня выхода коксового газа в вертикалы. Поэтому высота горелок также может влиять на скорости движения газовых потоков, а соответственно и на эжекционные силы в отопительных каналах.

Как и в [1,2], данный эксперимент проводился на коксовой батарее системы ПВР, которая имеет боковой подвод отопительного газа, объём камер 30,9 м<sup>3</sup>, конусность камер 40 мм, высоту камер 6000 мм, уровень обогрева 1000 мм и некомбинированный обогрев. Обогревательный простенок состоял из 28 вертикалов.

Для замеров давления и отбора продуктов горения использовалось то же оборудование, что и в [1,2].

Замеры давления и отбор проб продуктов горения производили, как и в [1], в 3 и 4 вертикалах 16-го, 17-го и 19-го простенков при обороте выдачи 24 ч. Вертикалы и простенки выбирали с таким расчётом, чтобы проведению экспериментальных замеров не мешало передвижение загрузочного вагона.

В каждой экспериментальной паре верти-

калов были установлены конфузорные горелки высотой 210 мм вместо стандартных конфузорных горелок высотой 82 мм, которые находились в отопительных каналах при проведении предыдущих экспериментов. Диаметр сечения горелок на выходе в выбранных парах вертикалов составлял 30,0 мм.

В устье каждого косога хода были установлены два регистра толщиной по 80 мм, в результате чего размеры выходного сечения косога ходов в 3-м и 4-м вертикалах составляли: длина 2-65 мм и ширина 95 мм. Рециркуляция осуществлялась в замкнутой паре.

Порядок проведения измерений и отбора анализов был таким же, как и в [1,2]. Все замеры проводили при открытых на 100% окнах рециркуляции. Через 4 мин после кантовки в вертикалы восходящего и нисходящего потоков опускали длинные чехлы. При помощи тягонапоромера и шлангов измеряли давление в вертикалах возле рециркуляционного окна. После этого в вертикале восходящего потока через короткий чехол, а в вертикале нисходящего потока – через длинный чехол отбирали пробы продуктов горения.

Результаты анализа состава проб, выполненного при помощи переносного газоанализатора химического поглощения по стандартной методике [4] приведены в табл. 1.

При практически полном сгорании коксового газа состав продуктов горения на вершине факела (у перевального окна) и внизу нисходящего потока (у рециркуляционного окна) должны быть одинаковыми.

Для проверки этого утверждения, как и в [1,2], строим трёхкомпонентную диаграмму в виде симплексной решётки для продуктов горения из вертикалов в середине простенка со 100%-ным открытием окон рециркуляции (рис. 3).

Для удобства построения диаграммы и её наглядности экспериментальные данные из табл. 1 предварительно нормируем по формуле:

$$X_{jn} = \frac{X_{jэ}}{\sum_j X_{jэ}} \cdot 100\%$$

где  $X_{jэ}$  и  $X_{jn}$  – экспериментальные и нормиро-

ванные содержания  $j$ -того компонента в пробе соответственно, об.%.

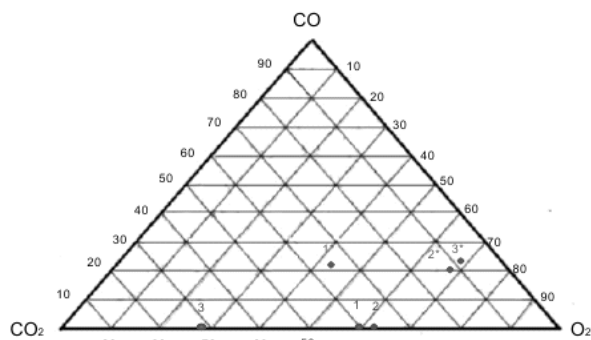


Рис. 1. Диаграмма состава продуктов горения: 1, 2, 3 – восходящий поток при 100%-ном открытии рециркуляционных окон; 1\*, 2\*, 3\* – нисходящий поток при 100%-ном открытии рециркуляционных окон

Как видно из рис. 1, составы проб продуктов горения на восходящем и нисходящем потоках, как и в [1,2], различаются очень сильно. Несмотря на разброс, точки образуют непересекающиеся компактные области. Последнее говорит о том, что наблюдаемое различие составов проб неслучайно и вызвано сильно действующими факторами, которыми в данной ситуации могут быть только нарушение контура рециркуляции продуктов горения («короткие замыкания») и подача в вертикалы воздуха для обезграфичивания.

Это хорошо заметно на рис. 2 (а, б, в), где показана взаимосвязь между содержанием компонентов в продуктах горения на восходящем и нисходящем потоках. Прямая, проведенная из точки О под углом 45° представляет собой ожидаемое содержание компонентов. Координаты точек соответствуют фактическим значениям содержания компонентов в табл. 1. В пробах из восходящего потока по сравнению с пробами из нисходящего потока содержится существенно больше CO<sub>2</sub> (рис. 2,а), меньше O<sub>2</sub> (рис. 2,б), меньше CO (рис. 2,в).

Таким образом, прямыми измерениями состава продуктов горения на коксовой батарее с объёмом камер 30,9 м<sup>3</sup> показано нарушение рециркуляционного контура продуктов горения

Таблица 1

**Состав проб продуктов горения в об.% при 100%-ном открытии окон рециркуляции**

№ п/п	№ простенка	Восходящий поток, у перевального окна					Нисходящий поток, 0,1 м от пода				
		№ вертикала	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	α	№ вертикала	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	α
1	16	4	5,5	8,20	0,0	1,64	3	3,2	3,8	2,00	1,23
2	17	4	5,3	8,70	0,0	1,70	3	1,5	9,3	2,70	1,80
3	19	3	8,0	3,00	0,0	1,20	4	1,4	11,2	3,90	1,75
	Среднее		6,3	6,63	0,0	1,51	Среднее	2,0	8,1	2,87	1,59

Примечание: α – коэффициент избытка воздуха.

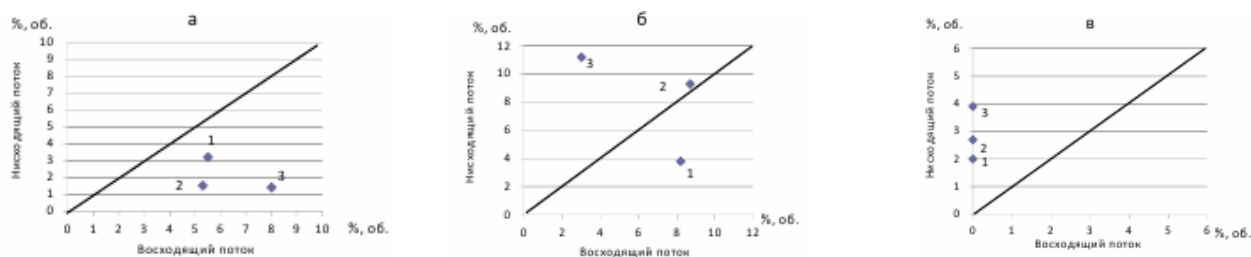


Рис. 2. Связь между содержанием компонентов в восходящем и нисходящем потоках при высоких горелках и открытии рециркуляционных окон на 100%: номера точек соответствуют номерам измерений в табл. 1: а – для CO<sub>2</sub>; б – для O<sub>2</sub>; в – для CO

Таблица 2

Замеры давления в вертикалах при окнах рециркуляции, открытых на 100%

№ простенка	Восходящий поток, 0,1 м от пода		Нисходящий поток, 0,1 м от пода		Δ, мм.вод.ст.
	№ вертикала	давление, мм.вод.ст.	№ вертикала	давление, мм.вод.ст.	
16	4	+0,2	3	+0,1	+0,1
17	4	+0,2	3	+0,1	+0,1
19	3	+0,1	4	+0,1	0,0

и при установке в вертикалах высоких горелок.

Для проверки этого результата выполнили замеры давления в вертикалах на восходящем и нисходящем потоках у рециркуляционного окна (табл. 2). Замеры проводили тягонапоромером, установленным на верху батареи возле вертикалов. Измеряли как абсолютные значения, так и перепад между вертикалами восходящего и нисходящего потоков.

Как видно из табл. 2, во всех случаях у рециркуляционного окна в вертикале восходящего потока давление больше, чем в вертикале нисходящего потока. Очевидно, что в этих условиях рецикл продуктов горения невозможен. В данном случае возможно движение газовых потоков только из вертикала восходящего потока через окно рециркуляции в вертикал нисходящего потока («короткое замыкание»).

Это полностью согласуется с результатами анализа состава продуктов горения в вертикалах нисходящего и восходящего потоков.

#### Выводы

1. В экспериментах на печах системы ПВР с объёмом камер 30,9 м<sup>3</sup> показано отсутствие рециркуляции продуктов горения в отопительных каналах при использовании высоких горелок. В пробах продуктов горения, отобранных из вертикалов нисходящего потока у рециркуляционного окна, обнаружены повышенные содержания оксида углерода и кислорода, поступающих, соответственно, с коксовым газом и воздухом для обезграфичивания вследствие наличия так называемых «коротких замыканий».

2. Наличие «коротких замыканий» также подтверждено замерами перепадов давлений у рециркуляционных окон вертикалов восходящего и нисходящего потоков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зублев Д.Г., Барский В.Д. Исследование эффективности рециркуляции продуктов горения в коксовых печах. Отопительные каналы в середине простенка // Вопр. химии и хим. технологии. – 2016. – № 2. – С.56-60.
2. Исследование эффективности рециркуляции продуктов горения в коксовых печах. Крайние отопительные каналы / Зублев Д.Г., Барский В.Д., Кравченко А.В., Запорожец А.И. // Вопр. химии и хим. технологии. – 2016. – № 4. – С.47-50.
3. Справочник коксохимика: В 6 томах // Издательский дом «ИНЖЭК». – Харьков, 2014. – Т.2. Производство кокса. – 728 с.
4. Кауфман А.А., Харлампович Г.Д. Технология коксохимического производства. – Екатеринбург: ВУХИН-НКА, 2005. – 288 с.

Поступила в редакцию 9.06.2016

#### INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF COMBUSTION PRODUCTS RECIRCULATION IN COKE OVENS. APPLICATION OF HIGH BURNERS

D.G. Zublev <sup>a</sup>, V.D. Barsky <sup>b</sup>, A.V. Kravchenko <sup>b</sup>

<sup>a</sup> JSC «Gubakhinskii coke», Gubakha, Russian Federation

<sup>b</sup> Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The third part of our work reports the effects of the height of the burners, air supply to decarbonization and the value of disclosure of recirculation windows on the recirculation of combustion products in the verticals of coke oven battery located in the middle of the heating wall. The sampling was performed on a coke-oven battery with the chamber volume of 30.9 m<sup>3</sup>. To carry out the experiment in verticals, the burners with a height of 210 mm instead of the standard height of 82 mm have been installed. The analyses were performed by standard procedures adopted at coking plants. The oxygen and carbon monoxide contents in the samples of the combustion products from vertical channels downstream sampled near the recirculation

*windows exceed those values in the samples taken from upstream vertical channels. This indicates the presence of the so-called «short-circuit» in the heating channels when high burners have been installed. The movement of the coke oven gas and air occurs backwards through the recirculation window instead of the supply of the combustion products from downstream vertical channels into the upstream vertical channels.*

**Keywords:** recirculation; combustion products; heating channel; temperature; air.

#### **REFERENCES**

1. Zublev D.G., Barsky V.D. Issledovaniye effektivnosti retsirkul'atsii produktov goreniya v koksovykh pechakh. Otopitel'nye kanaly v seredine prostenka [Investigation of the effectiveness of combustion products recirculation in coke ovens. Heating channels in the middle of the pier]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2016, vol. 2, pp. 56-60. (in Russian).

2. Zublev D.G., Barsky V.D., Kravchenko A.V., Zaporozhets A.I. Issledovaniye effektivnosti retsirkul'atsii produktov goreniya v koksovykh pechakh. Krainiye otopitel'nye kanaly [Investigation of the effectiveness of combustion products recirculation in coke ovens. Extreme heating channels]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2016, vol. 4, pp. 47-50. (in Russian).

3. *Spravochnik koksokhimiya v 6 tomakh. Proizvodstvo koks-a* [Reference book on coke chemistry. Production of coke]. INZHEK Publishers, Kharkov, 2014, vol. 2. 728 p. (in Russian).

4. Kaufman A.A., Kharlampovich G.D., *Tekhnologii koksokhimicheskogo proizvodstva* [The technology of coke production]. VUKhIN-NKA Publishers, Ekaterinburg, 2005. 288 p. (in Russian).