

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ В КОКСОВЫХ ПЕЧАХ. ОТОПИТЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ В СЕРЕДИНЕ ПРОСТЕНКА

^а ОАО «Губахинский кокс», г. Губаха, Россия

^б ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепрпетровск

В производственных условиях исследовали влияние подачи воздуха для обезграфичивания и величины раскрытия рециркуляционных окон на рециркуляцию продуктов горения в вертикалах коксовой батареи, расположенных в середине обогревательного простенка. Все замеры проводили при открытых на 100% и на 50% окнах рециркуляции. В пробах продуктов горения из вертикалов нисходящего потока, отобранных у рециркуляционных окон, содержание кислорода и оксида углерода превосходит содержание этих газов в пробах, отобранных из вертикалов восходящего потока. Это свидетельствует о наличии так называемых «коротких замыканий» в отопительных каналах: вместо подачи продуктов горения из вертикалов нисходящего потока в вертикалы восходящего потока коксовый газ и воздух из вертикалов восходящего потока через рециркуляционное окно поступает в вертикалы нисходящего потока. Наличие «коротких замыканий» подтверждено также замерами перепадов давлений. Во всех случаях у рециркуляционного окна в вертикале восходящего потока давление было больше, чем в вертикале нисходящего потока, что полностью согласуется с результатами анализа состава продуктов горения.

Ключевые слова: рециркуляция, продукты горения, отопительный канал, температура, воздух.

Равномерный по высоте прогрев угольной загрузки определяется высотой факела пламени, образующегося при сжигании коксового или доменного газов в отопительных каналах коксовых печей. Из всех средств регулирования высоты факела наиболее эффективным принято считать рециркуляцию продуктов горения [1,2]. Полагают, что удлинение пламени с помощью рециркуляции осуществляется за счёт разбавления реакционной смеси инертными продуктами и, как следствие, снижения скоростей реакций горения.

Вместе с тем, в результате теоретического анализа с использованием математического моделирования факела горения коксового газа было высказано предположение о возможном снижении эффективности рециркуляции под влиянием внутренних параметров системы обогрева коксовых печей [3–5]. Более того в [6] показано, что эффективность рециркуляции продуктов горения, как фактора воздействия на распределение температуры по высоте обогревательного простенка, может существенно зависеть от подачи в отопительную систему воздуха на «декарбонизацию».

В связи с этим в ходе повторной наладки обогрева коксовой батареи экспериментально оценивали предполагаемое влияние воздуха, подаваемого на «декарбонизацию», и размеров рециркуляционных окон на рециркуляцию продуктов горения.

Коксовая батарея системы ПВР имела боковой подвод отопительного газа, объём камер 30,9 м³, конусность камер 40 мм, высоту камер 6000 мм, уровень обогрева 1000 мм и некомбинированный обогрев. Обогревательный простенок состоял из 28 вертикалов.

Ранее об эффективности рециркуляции судили по замерам температур по оси коксового пирога. Изменяя расстановку специальных шиберов [7], подбирали наименьший перепад температур по высоте коксового пирога. В нашем случае эффективность рециркуляции оценивали по перепаду давлений у рециркуляционного окна в вертикалах восходящего и нисходящего потока, а также по составу продуктов горения. Предполагали подобрать максимальную разность давлений для наибольшей кратности рециркуляции продуктов горения, после чего осуществить на всей батарее оптимальную расстановку шиберов.

Для замеров давления и отбора продуктов горения были изготовлены чехлы диаметром $d_y=20$ мм следующей длины:

– чехла № 1 (длинный чехол) 6950 мм для отбора проб продуктов горения и измерения давления у рециркуляционного окна;

– чехла № 2 (короткий чехол) 2050 мм для отбора проб продуктов горения на уровне перевального окна.

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

Диаметр проходного сечения горелок в выбранных парах вертикалов составлял 30,0 мм.

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

Рециркуляция осуществлялась в замкнутой паре.

Схема проведения измерений и отбора анализов показана на рис. 1 и 2.

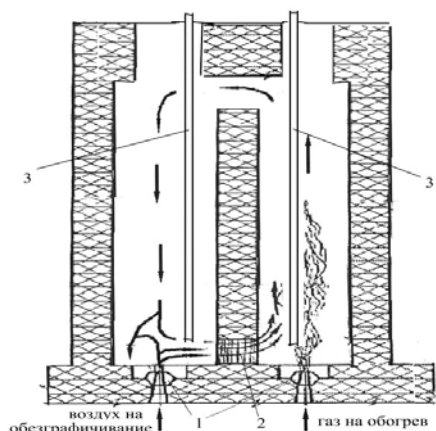


Рис. 1. Схема измерения давлений возле рециркуляционного окна в вертикалах восходящего и нисходящего потока: 1 – горелка; 2 – рециркуляционное окно; 3 – длинный чехол

Все замеры проводили при открытых на 100% и на 50% 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.

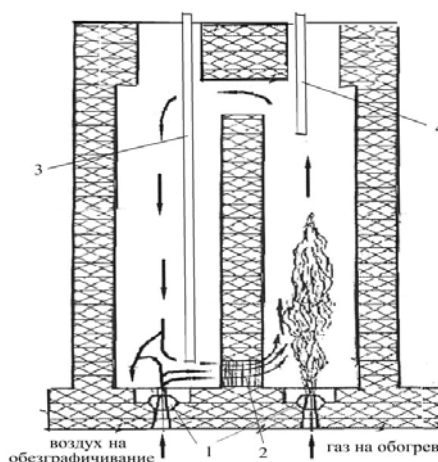


Рис. 2. Схема отбора продуктов горения в вертикалах восходящего и нисходящего потока: 1 – горелка; 2 – рециркуляционное окно; 3 – длинный чехол; 4 – короткий чехол

Результаты анализа состава проб, выполненного при помощи переносного газоанализатора химического поглощения по стандартной методике [8] приведены в табл. 1 и 2.

Из допущения о практически полном сгорании коксового газа следует, что состав продуктов горения на вершине факела (у перевального окна) и внизу нисходящего потока (у рециркуляционного окна) должны быть одинаковыми.

Для проверки этого утверждения строим трёхкомпонентную диаграмму в виде симплексной решётки для продуктов горения из вертикалов в середине простенка со 100%-ным и 50%-ным открытием окон рециркуляции (рис. 3).

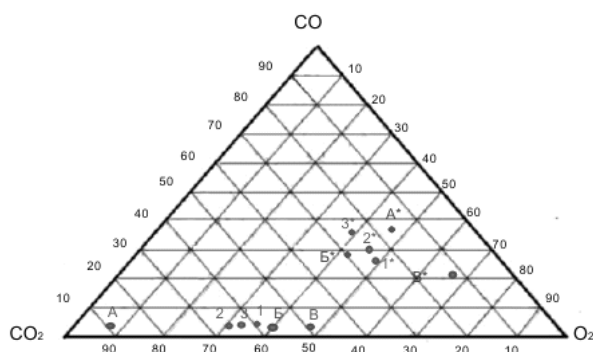


Рис. 3. Диаграмма состава продуктов горения: 1, 2, 3 – восходящий поток при 100%-ном открытии рециркуляционных окон; 1*, 2*, 3* – нисходящий поток при 100%-ном открытии рециркуляционных окон; A, B, B – восходящий поток при 50%-ном открытии рециркуляционных окон; A*, B*, B* – нисходящий поток при 50%-ном открытии рециркуляционных окон

Для удобства построения диаграммы и её наглядности экспериментальные данные из табл. 1 и 2 предварительно нормируем по формуле:

$$X_{jn} = \left(X_{jэ} / \sum_j X_{jэ} \right) \times 100\%$$

где $X_{jэ}$ и X_{jn} – экспериментальные и нормированные содержания j-того компонента в пробе соответственно, об.%.
 Как видно из рис. 3, составы проб продуктов горения на восходящем и нисходящем потоках вне зависимости от величины открытия рециркуляционного окна различаются настоль-

ко сильно, что, несмотря на разброс точек, они образуют непересекающиеся компактные множества. Последнее говорит о том, что наблюдаемое различие составов проб неслучайно и вызвано сильно действующим фактором.

В случае, если этим фактором является нарушение контура рециркуляции продуктов горения («короткое замыкание»), то (при участии воздуха для обезграфичивания) в пробах из восходящего потока по сравнению с пробами из нисходящего потока должно содержаться существенно:

- 1 – больше CO_2 ;
- 2 – меньше O_2 ;
- 3 – меньше CO .

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_2	O_2	CO	α	№ вертикала	CO_2	O_2	CO	α
1	16	4	7,0	4,8	0,2	1,28	3	2,7	5,3	2,5	1,33
2	17	4	7,8	4,0	0,1	1,22	3	3,6	6,0	5,0	1,17
3	19	3	7,5	4,1	0,2	1,22	4	3,0	5,0	3,0	1,25
Среднее			7,43	4,3	0,17	1,24		3,1	5,43	3,5	1,25

Таблица 2

Состав проб продуктов горения в об.% при 50%-ном открытии окон рециркуляции

№ п/п	№ простенка	Восходящий поток, у перевального окна				Нисходящий поток, 0,1 м от пода					
		№ вертикала	CO_2	O_2	CO	α	№ вертикала	CO_2	O_2	CO	α
1	16	4	7,0	4,8	0,2	1,28	3	2,7	5,3	2,5	1,33
2	17	4	7,8	4,0	0,1	1,22	3	3,6	6,0	5,0	1,17
3	19	3	7,5	4,1	0,2	1,22	4	3,0	5,0	3,0	1,25
Среднее			7,43	4,3	0,17	1,24		3,1	5,43	3,5	1,25

Примечание: в табл. 1 и 2 а – коэффициент избытка воздуха (величина безразмерная).

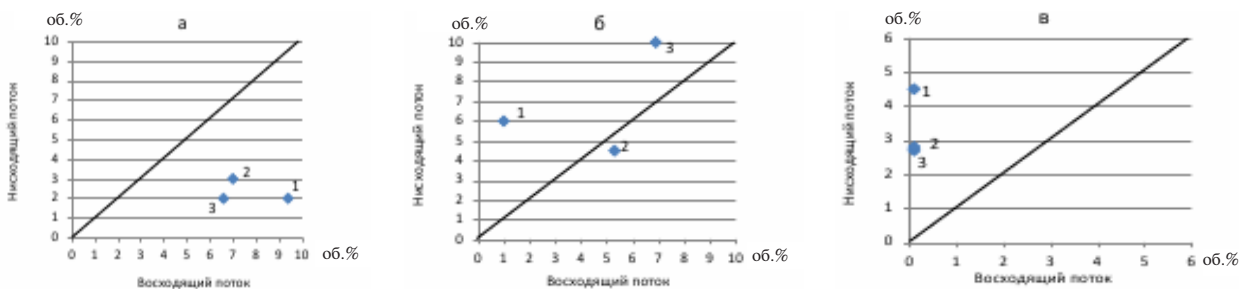


Рис. 4. Связь между содержанием компонентов в восходящем и нисходящем потоках при окнах рециркуляции, открытых на 100%, где: номера точек соответствуют номерам измерений в табл. 1: а – для CO_2 ; б – для O_2 ; в – для CO

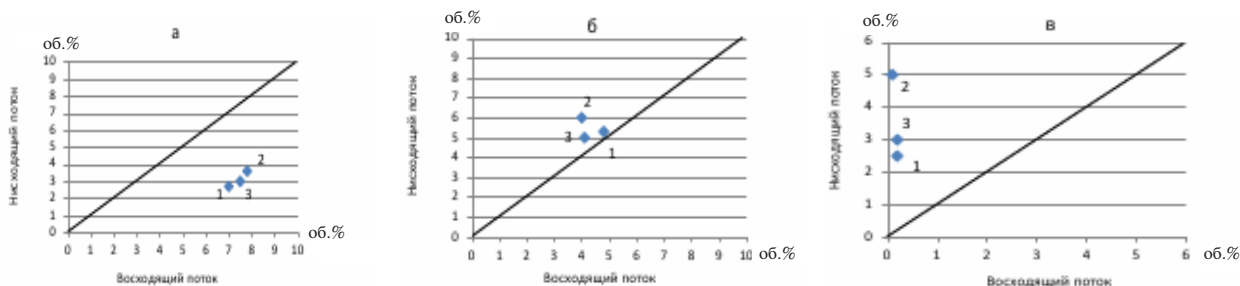


Рис. 5. Связь между содержанием компонентов в восходящем и нисходящем потоках при окнах рециркуляции, открытых на 50%, где: номера точек соответствуют номерам измерений в табл. 2: а – для CO_2 ; б – для O_2 ; в – для CO

Таблица 3

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	+0,3	3	+0,2	+0,1
17	4	+0,3	3	+0,2	+0,1
19	3	+0,4	4	+0,2	+0,2

Таблица 4

Замеры давления в вертикалах при окнах рециркуляции, открытых на 50%

№ 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	+0,3	3	+0,2	+0,1
17	4	+0,3	3	+0,2	+0,1
19	3	+0,4	4	+0,2	+0,2

Как видно, это полностью подтверждает-ся:

- первое – рис. 4а и 5а;
- второе – рис. 4б и 5б;
- третье – рис. 4в и 5в.

На рис. 4–а,б,в и 5–а,б,в показана взаимосвязь между содержанием компонентов в продуктах горения на восходящем и нисходящем потоках. Ожидаемое содержание – это прямая, проведенная из точки 0 под углом 45°. При этом точки соответствуют фактическим значениям содержания компонентов (табл. 1 и 2).

Таким образом, прямыми измерениями состава продуктов горения в производственных условиях на коксовой батарее с объёмом камер 30,9 м³ показано нарушение рециркуляционного контура продуктов горения.

Для проверки этого результата выполнили замеры давления в вертикалах на восходящем и нисходящем потоках у рециркуляционного окна (табл. 3 и 4). Замеры проводили при помощи тягонапоромера, установленного на верху батареи возле вертикалов. Измеряли как абсолютные значения, так и перепад между вертикалами восходящего и нисходящего потоков.

Как видно из табл. 3 и 4, 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. Существенно, что абсолютные значения давления при полностью открытых окнах рециркуляции и ок-

нах рециркуляции, открытых на 50%, практически не отличаются друг от друга.

Выводы

1. В экспериментах на печах системы ПВР с объёмом камер 30,9 м³ показано отсутствие рециркуляции продуктов горения в отопительных каналах. В пробах продуктов горения, отобранных из вертикалов нисходящего потока у рециркуляционного окна, обнаружены повышенные содержания оксида углерода и кислорода, поступающих туда с коксовым газом как следствие образования «коротких замыканий» и воздухом для обезграфичивания.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гребенюк А.Ф., Збыковский А.И. Расчеты процессов коксового производства. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 322 с.
2. Справочник коксохимика: В 6 томах // Издательский дом «ИНЖЭК». – Харьков, 2014. – Т. 2. Производство кокса. – 728 с.
3. О равномерном прогреве угольной загрузки в печи для коксования. Сообщ.4. О закономерностях формирования факела в обогревательных каналах коксовых печей / Власов Г.А., Зублев Д.Г., Барский В.Д., Рудницкий А.Г. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. – № 5. – С.12-17.
4. Барский В.Д., Власов Г.А. Химический потенциал твёрдого топлива. – Донецк: ГВУЗ «ДНТУ», 2014. – 568 с.
5. Зублев Д.Г. Совершенствование теплового режима процесса коксования угольной шихты: Дис...канд. техн. наук: 05.17.07. – Харьков: УХИН, 2007. – 144 с.
6. Зублев Д.Г., Барский В.Д., Гуревина Н.Л. Об эффективности рециркуляции продуктов горения в отопительных

каналах коксовых печей // Кокс и химия. — 2013. — № 8. — С.12-15.

7. Сухоруков В.И., Швецов В.И., Чемарда Н.А. Ремонт кладки и армирующего оборудования коксовых батарей. — Екатеринбург: ВУХИН, 2004. — 484 с.

8. Кауфман А.А., Харлампович Г.Д. Технология коксохимического производства. — Екатеринбург: ВУХИН-НКА, 2005. — 288 с.

Поступила в редакцию 27.01.2016

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF COMBUSTION PRODUCTS RECIRCULATION IN COKE OVENS. HEATING CHANNELS IN THE MIDDLE OF THE PIER

D.G. Zublev ^a, V.D. Barsky ^b

^a JSC «Gubakhinskii coke», Gubakha, Russian Federation

^b Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine

We investigated the influence of both the air supply to decarbonization and the value of disclosure recirculation windows on the recirculation of combustion products in the verticals of coke oven battery located in the middle of the heating wall. The investigation was performed in a production environment. All measurements were carried out at the recirculation windows opened by 100% and 50%. The contents of oxygen and carbon monoxide in the samples of the combustion products taken from the recirculation windows from the vertical downward flow exceed the content of these gases in the samples collected from vertical upward flow. This indicates the presence of a so-called «short circuits» in the heating channels: instead of feeding the combustion products from the vertical downward flow in the vertical upward flow of coke oven gas and air from the vertical upward flow through the recirculation box arrives in a vertical downward flow. The presence of «short-circuit» is also confirmed by measurements of pressure drop. In all cases pressure was higher near the recirculation windows in the vertical of the upstream than in the vertical of the downstream, which is consistent with the results of analysis of the combustion products composition.

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

REFERENCES

1. Grebenyuk A.F., Zbykovsky A.I., *Raschety protsessov koksovogo proizvodstva* [Calculations of the coke production processes]. Nord-Press, Donetsk, 2008. 322 p. (in Russian).

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

3. Vlasov G.A., Zublev D.G., Barsky V.D., Rudnickiy A.G. O ravnomernom progreve ugol'noi zagruzki v pechi dl'ya koksovaniya. Soobshcheniye 4. O zakonmernost'yakh formirovaniya fakela v obogrevatel'nykh kanalakh koksovykh pechei [Uniform heating of the coal loaded into the furnace coking. Communication 4. The laws of formation of flame in heating ducts of coke oven. *Metallurgical and Mining Industry*, 2003, no. 5, pp. 12-17. (in Russian).

4. Barsky V.D., Vlasov G.A., *Khimicheskii potentsial tverdogo topliva* [The chemical potential of the solid fuel]. DonNTU Publishers, Donetsk, 2014. 568 p. (in Russian).

5. Zublev D.G., *Sovershenstvovaniye teplovogo rezhima protsessov koksovaniya ugol'noi shikhty* [Improving the thermal regime of coking of coal charge]: thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences, UKHIN, Kharkov, 2007. (in Russian).

6. Zublev D.G., Barsky V.D., Gurevina N.L. Ob effektivnosti retsirkul'yatsii produktov goreniya v otopitel'nykh kanalakh koksovykh pechei [The effectiveness of the recycling products of combustion in the heating ducts of coke oven]. *Coke and Chemistry*, 2013, no. 8, pp. 12-15. (in Russian).

7. Sukhorukov V.I., Shvetsov V.I., Chemarda N.A., *Remont kladki i armiruyushchego oborudovaniya koksovykh batarei* [Repair of masonry and reinforcing the equipment of coke oven batteries]. VUKhIN Publishers, Ekaterinburg, 2004. 484 p. (in Russian).

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