

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ В КОКСОВЫХ ПЕЧАХ. КРАЙНИЕ ОТОПИТЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ

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

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

В ходе второго этапа эксперимента исследовали влияние подачи воздуха для обезграфичивания и величины раскрытия рециркуляционных окон на рециркуляцию продуктов горения в крайних отопительных каналах обогревательных простенков. Измерения давления и отбор проб продуктов горения проводили при открытых на 100% и на 50% окнах рециркуляции. Анализ состава проб выполняли по стандартной методике. 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 крайних отопительных каналах: коксовый газ и воздух из вертикалов восходящего потока через рециркуляционное окно поступал в вертикалы нисходящего потока. Вывод о наличии «коротких замыканий», сделанный по наличию оксида углерода в продуктах горения из вертикала нисходящего потока, был также подтвержден измерением перепада давлений у рециркуляционного окна в вертикалах восходящего и нисходящего потока.

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

В ходе первого этапа эксперимента по определению влияния воздуха для обезграфичивания и размеров рециркуляционных окон на эффективность рециркуляции продуктов горения, проводившегося при повторной наладке обогрева коксовой батареи с объемом камер 30,9 м<sup>3</sup>, было установлено нарушение рециркуляционного контура в отопительных каналах в середине простенков. 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 отопительных каналов восходящего потока в отопительные каналы нисходящего потока («короткие замыкания») [1].

Второй этап эксперимента предполагал проведение аналогичных измерений в крайних отопительных каналах.

Работа крайних вертикалов отличается от работы вертикалов, находящихся в середине простенка, увеличенной подачей отопительного газа и воздуха в связи с большими теплопотерями в окружающую среду. Для этого устанавливаются горелки большего диаметра (или регулировочные сопла на батареях с нижним

подводом), а косые ходы имеют большее проходное сечение, что может оказывать существенное влияние на кратность рециркуляции продуктов горения.

Как и в [1], второй этап эксперимента проводился на коксовой батарее системы ПВР, которая имеет боковой подвод отопительного газа, объем 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 также, как и в [1], использовались чехлы из жаропрочной стали диаметром  $d_y=20$  мм.

Замеры давления и отбор проб продуктов горения производили в 1 и 2 вертикалах 14-го, 15-го, 16-го и 17-го простенков при обороте выдачи 24 часа. Диаметр проходного сечения горелки в первых вертикалах составлял 32 мм, во вторых – 29,5 мм. Размеры выходного сечения косых ходов в 1-м и 2-м вертикалах составляли: длина 2×145 мм (регистры отсутствовали); ширина 125 мм. Рециркуляция осуществлялась в замкнутой паре.

Схема проведения измерений и отбора анализов была такой же, как и при проведении пер-

вого этапа эксперимента [1]. Размеры длинных чехлов обеспечивали отбор проб и замеры давлений на уровне 80–100 мм от пода вертикалов (середина рециркуляционного окна). Размеры коротких чехлов обеспечивали отбор проб на уровне ниже перевального окна.

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.

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

Таблица 1  
Состав проб продуктов горения в об.% при 100%-ном открытии окон рециркуляции

№ п/п	№ простенка	Восходящий поток, у перевального окна				
		№ вертикала	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	α
1	14	2	4,0	6,5	0,0	1,70
2	15	2	5,3	8,0	0,1	1,63
3	16	1	4,4	8,1	0,1	1,78
4	17	1	5,0	7,0	0,1	1,59
	Средние		4,2	7,4	0,1	1,77
Нисходящий поток, 0,1 м от пода						
1	14	1	3,3	8,3	1,2	1,74
2	15	1	4,7	8,3	0,5	1,67
3	16	2	2,5	8,0	1,0	1,92
4	17	2	2,5	7,7	1,3	1,80
	Средние		3,3	8,1	1,0	1,78

Таблица 2  
Состав проб продуктов горения в об.% при 50%-ном открытии окон рециркуляции

№ п/п	№ простенка	Восходящий поток, у перевального окна				
		№ вертикала	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	α
1	14	2	4,5	6,7	0,1	1,62
2	15	2	4,8	7,4	0,1	1,65
3	16	1	5,0	7,7	0,2	1,63
4	17	1	7,5	6,2	0,0	1,36
	Средн.		5,5	7,0	0,1	1,57
Нисходящий поток, 0,1 м от пода						
1	14	1	4,4	7,3	1,6	1,47
2	15	1	4,2	8,8	0,6	1,76
3	16	2	4,4	8,3	1,5	1,55
4	17	2	4,3	8,8	1,6	1,58
	Средн.		4,3	8,3	1,33	1,59

В табл. 1 и 2 α – коэффициент избытка воздуха.

При условии практически полного сгорания коксового газа состав продуктов горения от перевального окна и до рециркуляционного окна внизу нисходящего потока изменяться не должен. С целью проверки этого утверждения, как и в [1], строим трёхкомпонентную диаграмму в виде симплексной решётки для продуктов горения из крайних вертикалов со 100%-ным и 50%-ным открытием окон рециркуляции (рис. 1).

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

$$X_{jн} = (X_{jэ} / \sum X_{jэ}) \cdot 100\%,$$

где X<sub>жэ</sub> и X<sub>жн</sub> – экспериментальные и нормированные содержания j-того компонента в пробе соответственно, об.%.

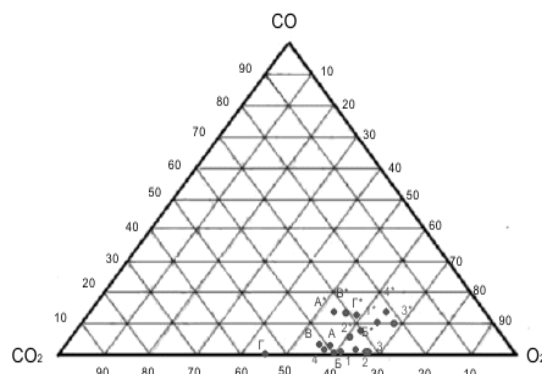


Рис. 1. Диаграмма состава продуктов горения: 1,2,3,4 – восходящий поток при 100%-ном открытии рециркуляционных окон; 1\*,2\*,3\*,4\* – нисходящий поток при 100%-ном открытии рециркуляционных окон; А,В,В,Г – восходящий поток при 50%-ном открытии рециркуляционных окон; А\*,В\*,В\*,Г\* – нисходящий поток при 50%-ном открытии рециркуляционных окон

Как видно из рис. 1, составы проб продуктов горения на восходящем и нисходящем потоках и при 100%-ном и при 50%-ном открытии рециркуляционных окон существенно различаются друг от друга, образуя при этом непересекающиеся компактные множества. Последнее говорит о том, что наблюдаемое различие составов проб неслучайно и вызвано сильно действующим фактором.

То, что этим фактором является нарушение контура рециркуляции продуктов горения («короткое замыкание») наряду с воздухом для обезграфичивания, хорошо видно на рис. 2 (а,б,в) и 3 (а,б,в), где показана взаимосвязь между содержанием компонентов в продуктах горения на восходящем и нисходящем потоках. Ожидаемое содержание – это прямая, проведен-

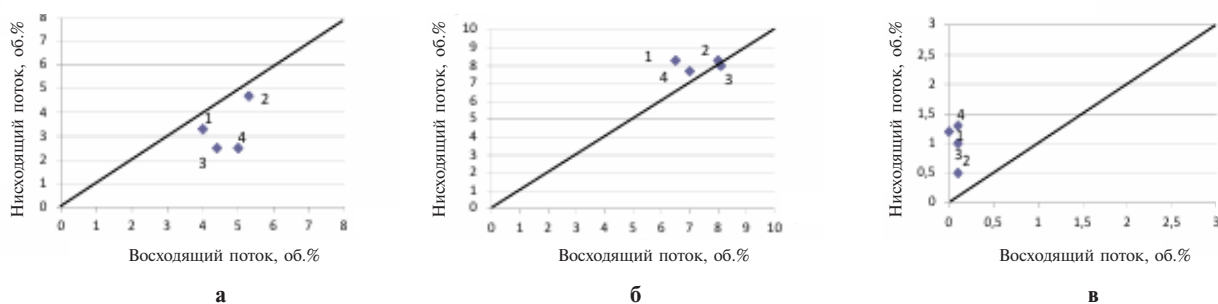


Рис. 2. Связь между содержанием компонентов в восходящем и нисходящем потоках при окнах рециркуляции, открытых на 100%: номера точек соответствуют номерам измерений в табл. 1, а – для CO<sub>2</sub>; б – для O<sub>2</sub>; в – для CO

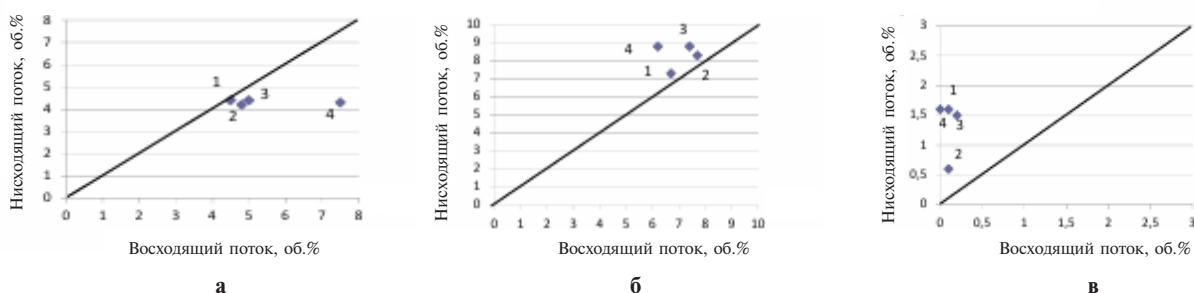


Рис. 3. Связь между содержанием компонентов в восходящем и нисходящем потоках при окнах рециркуляции, открытых на 50%: номера точек соответствуют номерам измерений в табл. 2, а – для CO<sub>2</sub>; б – для O<sub>2</sub>; в – для CO

ная из точки О под углом 45°. При этом точки соответствуют фактическим значениям содержания компонентов (табл. 1 и 2). В пробах из восходящего потока по сравнению с пробами из нисходящего потока содержится существенно:

1. больше CO<sub>2</sub> (рис. 2,а и 3,а);
2. меньше O<sub>2</sub> (рис. 2,б и 3,б);
3. меньше CO (рис. 2,в и 3,в).

Таким образом, прямыми измерениями состава продуктов горения в производственных условиях на коксовой батарее с объёмом камер 30,9 м<sup>3</sup> показано нарушение рециркуляционно-

го контура продуктов горения в крайних отопительных каналах.

Для проверки этого результата выполнили замеры давления в крайних вертикалах на восходящем и нисходящем потоках у рециркуляционного окна (табл. 3 и 4). Замеры проводились тягонапоромером, установленным 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

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.	
14	2	+0,5	1	+0,4	+0,1
15	2	+0,3	1	+0,2	+0,1
16	1	+0,2	2	+0,1	+0,1
17	1	+0,2	2	+0,1	+0,1

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.	
14	2	+0,2	1	+0,1	+0,1
15	2	+0,1	1	0,0	+0,1
16	1	+0,1	2	0,0	+0,1
17	1	+0,1	2	0,0	+0,1

нисходящего потока. Очевидно, что в этих условиях рециркуляция продуктов горения невозможна. 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 окнах рециркуляции, открытых на 50%, практически не отличаются друг от друга.

#### **Выводы**

1. В экспериментах на печах системы ПВР с объёмом камер 30,9 м<sup>3</sup> показано отсутствие рециркуляции продуктов горения в крайних отопительных каналах. В пробах продуктов горения, отобранных из вертикалов нисходящего потока у рециркуляционного окна, обнаружены повышенные содержания оксида углерода и кислорода, что явилось следствием образования «коротких замыканий».

2. Наличие «коротких замыканий» 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. - Т.2 (106). - С.56-60.

2. *Справочник коксохимика*: В 6 т. Производство кокса // Издательский дом «ИНЖЭК». — Харьков, 2014. — Т.2. — 728 с.

#### **INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF COMBUSTION PRODUCTS RECIRCULATION IN COKE OVENS. EXTREME HEATING CHANNELS**

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

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

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

*The effect of air supply to decarbonization and the value of disclosure recirculation windows on the recirculation of combustion products is examined in this communication in extreme heating channels of heating piers. The pressure measurement and the sampling of the combustion products were carried out for recirculation windows open by 100% and 50%. The analysis of the samples was performed by standard methods. The content of oxygen and carbon monoxide in samples of the combustion products from vertical channels of downstream sampled near the recirculation windows exceeded those values in the samples taken from upstream vertical channels. This indicates the presence of the so-called «short circuits» in the extreme heating channels: coke oven gas and air from the upstream of the verticals came through a recirculation window into the vertical of downward flow. The conclusion about «short circuits» made on the basis of the presence of carbon monoxide in the combustion products from the vertical of the downstream has been also confirmed by measuring the differential pressure near the recirculation windows between the verticals of upstream and downstream.*

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

Поступила в редакцию 10.04.2016