

УДК 669.051

*Л. П. Грес\**, *М. Ю. Иванов\**, *А. А. Павленко\**, *С. А. Карпенко\*\**,  
*А. А. Науменко\*\**

\* Национальная металлургическая академия Украины (НМетАУ),  
г. Днепропетровск, Украина,

\*\* Концерн «СоюзЭнерго», г. Днепропетровск, Украина

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАГРЕВА ДОМЕННОГО ДУТЬЯ ЗА СЧЕТ ЭКОНОМИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ ОТОПЛЕНИИ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ, А ТАКЖЕ СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА КОКСА ПУТЕМ УВЕЛИЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДУТЬЯ**

### **Аннотация**

*Рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности нагрева доменного дутья путем экономии природного газа при отоплении воздухонагревателей (ВН) и удельного расхода кокса за счет, соответственно, нагрева компонентов горения и повышения температуры дутья. Предложены мероприятия по увеличению температуры дутья в период модернизации или строительства ВН.*

*Ключевые слова: энергоэффективность, доменные воздухонагреватели, теплообменники, модернизация, насадка, температура дутья.*

### **Abstract**

*The problems of improving the energy efficiency of heating blast air through economies of natural gas for heating blast stoves (BS) and specific coke consumption by heating components respectively and increasing combustion temperature of the blast. The measures to increase the temperature of the blast during the modernization or construction of BS.*

*Key words: energetic efficiency, blast stoves, heat exchangers, modernization, checker, blast temperature.*

Повышение энергоэффективности доменного производства приводит к снижению себестоимости производства чугуна и повышению конкурентоспособности готовой металлургической продукции, что способствует, как непосредственно, так и косвенно, уменьшению вредных выбросов в атмосферу.

Эти вопросы можно решать путем экономии природного газа при отоплении воздухонагревателей (ВН), снижения удельного расхода кокса за счет увеличения температуры дутья, уменьшения материалоемкости и капитальных затрат на нагрев доменного дутья путем модернизации или строительства ВН.

### **Экономия или полное высвобождение природного газа при отоплении ВН**

Известно, что впервые в Украине на ДП-2 МК «Запорожсталь», а затем на ДП-3, ДП-5 Енакиевского металлургического завода введена в эксплуатацию система теплообменников для нагрева доменного газа и воздуха за счет утилизации теплоты отходящих дымовых газов ВН. Это дало возможность полностью исключить природный газ для обогащения доменного. Длительный опыт эксплуатации этой системы показал возможность стабильного нагрева дутья до 1200–1230 °С. Однако оказалось, что на ДП-2 МК «Запорожсталь» воздушный теплообменник через 3,5 года вышел из эксплуатации. Было установлено, что основной причиной разрушения была низкотемпературная сернокислотная коррозия, которая образуется при температуре отработанных дымовых газов из теплообменников ниже температуры точки росы серной кислоты (120–130 °С) [1].

Следует отметить, что при существующей системе теплообменников в осенне-зимний период, когда температура воздуха ниже 0 °С, устранить коррозию невозможно, так как холодный воздух, встречаясь с трубчаткой, которую омывают дымовые газы с температурой на выходе теплообменника 150–170 °С, резко охлаждает трубы до температуры ниже 120 °С.

В связи с этим НМетАУ совместно с Укрگیпрометом и концерном «СоюзЭнерго» разработали новую систему теплообменников. Она отличается от существующей тем, что дымовые газы движутся внутри труб, а воздух (газ) их омывает [1]. Трубчатка включает дополнительную секцию перед входом воздуха, а дымовые газы подводятся к входу основной секции и выходу дополнительной. Это дает возможность увеличить температуру пакета труб, что исключает их коррозию.

Рассмотрено влияние влажности доменного газа на температуру горения (под куполом), а также на количество природного газа на обогащение доменного или на необходимую температуру нагрева компонентов горения ДП-5 МК им. Ильича при температуре дутья 1250 °С (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость расхода природного газа на обогащение доменного от его влажности (для доменной печи объемом 2300 м<sup>3</sup>, температуре дутья 1250 °С, доменный газ с  $Q_H^P = 3,693 \text{ МДж/м}^3 = 833 \text{ ккал/м}^3$ )

Температура доменного газа после очистки, °С	Влажность доменного газа, г/м <sup>3</sup>	% добавки природного газа	Расход природного газа, млн. м <sup>3</sup> /год
60	182,5	5,5	55,0
55	137,6	4,5	44,8
50	104,0	4,0	40,0
45	78,4	3,5	35,2
40	59,0	3,0	29,6
30	33,0	2,5	24,0

Обычно принимают влажность доменного газа 30–35 г/м<sup>3</sup>, однако, фактическое ее значение – 70–80 г/м<sup>3</sup>, а на МК им. Ильича – 150–180 г/м<sup>3</sup>. Только на 2<sup>х</sup> комбинатах Украины влажность газа составляет 20–30 г/м<sup>3</sup> – «АрселорМиттал Кр. Рог» и Алчевский МК. Если бы влажность газа на МК им. Ильича имела значение как на МК «АрселорМиттал Кр. Рог», то экономия природного газа составляла бы 20–25 млн. м<sup>3</sup>/год. Для условий ДП-5 для полного

высвобождения природного газа необходимо нагревать доменный газ до 180 °С (ограничивается стойкостью резинового уплотнения газовых дросселей), а воздуха – более 300 °С, что осуществить невозможно.

Для этих условий предлагается система теплообменников с подтопкой [2].

Доменный газ сжигается в теплогенераторе, образуя продукты горения с температурой 1200–1250 °С. С помощью части отходящих дымовых газов из ВН эти продукты охлаждаются до температуры 400–450 °С и затем используются в теплообменниках.

Все существующие системы теплообменников построены вместе с блоком ВН. Имеется ли возможность использовать эту систему на эксплуатируемых доменных печах? Это довольно сложно, но возможно. Например, предпроектные разработки показали возможность размещения системы теплообменников на ДП–8, ДП–9 МК «АрселорМиттал Кр. Рог», ДП–8 МК им. Дзержинского, ДП–5 МК им. Ильича.

При выборе системы теплообменников необходимо учитывать состояние и возможности ВН и тракта горячего дутья.

В связи с этим рассмотрены следующие варианты: модернизация ВН в период их капитальных ремонтов; реконструкция или строительство нового блока ВН.

## **I. Модернизация ВН в период их капитальных ремонтов**

В этом случае возможно использование следующих мероприятий.

### ***Применение насадок с горизонтальными проходами***

Предлагается заменить существующую насадку с каналами Ø 40 мм на насадку с каналами Ø 30 мм, имеющую горизонтальные проходы [3]. При удовлетворительном состоянии поднасадочного устройства и низа насадки использовать насадку существующего типа с каналами Ø 40 мм, но с горизонтальными проходами.

Преимущества насадок с горизонтальными проходами:

- значительно снижается фактор засорения или зашламления ячеек;
  - устраняется значительная неравномерность температур в периоды нагрева и дутья по горизонтальному сечению насадки, которая для ВН со встроенной камерой горения составляет 300–350 °С;
  - на 10–15 % увеличивается коэффициент теплоотдачи конвекцией;
  - применение насадки с каналами Ø 30 мм позволяет использовать не 4, а 3 аппарата.
- Срок окупаемости мероприятия составляет менее одного года.

### ***Использование в кладке разделительной стенки камеры горения низкотеплопроводного огнеупорного материала***

Это позволит снизить температурные напряжения в кладке, вызванные значительными перепадами температур кладки со стороны камеры горения и насадки.

### ***Применение струйно-вихревой горелки***

При этом используется струйно-вихревая горелка, которая показала надежную работу при купольном отоплении ВН. Ее конструкция приспособлена для условий нижней части камеры горения. Эта горелка особенно вписывается на воздухонагревателях с вынесенной камерой горения.

### ***Использование новой системы АСУ ТП***

На большинстве ДП уже не используют приборы для регистрации параметров, а данные показаний датчиков вводят в ЭВМ. Однако эти данные не используются для управления тепловым режимом ВН (отсутствует обратная связь).

Разработана новая система управления тепловым режимом ВН. В этом случае используется математическая модель ВН, с помощью которой рассчитываются и выбираются расходы газа и воздуха, оптимальные длительности периодов нагрева и дутья, качество сжигания газа, которые соответствуют максимальной температуре дутья соответствующей технологии доменной плавки.

## **II. Реконструкция или строительство нового блока ВН**

При реконструкции ВН, когда заменяется вся кладка, а иногда и кожух, а также при строительстве ВН предлагается использовать новый комплекс блока ВН и системы теплообменников. Причем, используется новое поколение ВН.

В отличие от ВНК подводы газа и воздуха осуществляются снаружи в два ряда, что исключает использование специальных кирпичей. Эта конструкция защищена патентами Украины и Российской Федерации [4; 5]. Систему теплообменников и ВН необходимо рассматривать системно в виде комплекса. Как ДП не может работать без ВН, так ВН не может работать без теплообменников.

Особенностью этого комплекса является значительное снижение высоты насадки до 8–12 м за счет:

- использования насадки с повышенной удельной поверхностью нагрева ( $\emptyset$  30 мм и меньше), но с горизонтальными проходами;
- повышения средней температуры уходящего дыма с 250–270 °С до 330–380 °С за счет использования жаропрочного чугуна в поднасадочном устройстве и снижения статических нагрузок на него при уменьшении высоты насадки. Это позволит не только улучшить параметры теплообмена низа насадки и увеличить температуру дутья, но и эффективно использовать отходящие дымовые газы без подтопки для нагрева газа и воздуха и подготовки сушильного агента ПУТ;
- распределение общей необходимой поверхности нагрева не на 3, а на 4 аппарата. Это улучшит тепловой режим ВН, систему их управления и условия их ремонтов.

### **Выводы**

1. Показана возможность использования теплообменников для нагрева компонентов горения для отопления ВН в условиях эксплуатируемых доменных печей.

2. Разработана новая система теплообменников для нагрева компонентов горения, позволяющая устранить низкотемпературную сернокислотную коррозию трубчатки.

3. На примере МК им. Ильича показано значительное влияние влажности доменного газа на расход природного газа для обогащения доменного, а также на необходимую температуру нагрева компонентов горения.

4. Предложены мероприятия по модернизации ВН при их капитальных ремонтах, что позволит увеличить температуру дутья и сэкономить природный газ при утилизации теплоты отходящих дымовых газов ВН.

5. Разработано новое поколение блока воздухонагревателей с купольным отоплением и системой теплообменников, которое обеспечивает температуру дутья 1200–1250 °С, снижение материалоемкости, непосредственное использование отходящих дымовых газов с повышенной средней температурой (до 330–380 °С) для нагрева компонентов горения ВН, а также в качестве теплоносителя для сушки ПУТ.

### **Список использованных источников**

1. Грес Л. П., Карпенко С. А., Миленина А. Е. Теплообменники доменных печей: монография / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Л. П. Греса. Донецк: Пороги, 2012. 491 с.

2. Пат. 41075 Украина, С 21 В 9/00. Способ утилизации теплоты отходящих дымовых газов доменных воздухонагревателей / Грес Л. П., Карпенко С. А., Науменко А. А. [и др.] – № u 200804580; опубл. 12.05.2009, Бюл. № 9.

3. Пат. 80062 Украина, С 21 В 9/00. Блок воздухонагревателей доменной печи с купольными горелками / Стасевкий С. А., Панин В. Н., Грес Л. П., Еремин А. О. [и др.] – № u 201213715; опубл. 13.05.2013, Бюл. № 9.

4. Пат. 110374 Российская Федерация, С 21 В 9/02. Воздухонагреватель доменной печи / Кривченко Ю. С., Степаненко А. Н., Грес Л. П., Каракаш Е. А. и др. – № 2010149397; опубл. 20.11.2011, Бюл. № 32.

5. Пат. 81604 Украина, С 21 В 9/00. Блок воздухонагревателей доменных печей / Стасевкий С. А., Панин В. Н., Грес Л. П., Еремин А. О. и др. – № u 201214022; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 13.