

УДК 669.013.6

С.В. Семирягин, канд. техн. наук, доц., зам. ген. директора, e-mail: td.destal@ukr.net

В.В. Осипенко, ген. директор, e-mail: destal@ukr.net

Ю.В. Бубунец, канд. техн. наук, начальник проектно-конструкторского управления (ПКУ), e-mail: pko.destal@ukr.net

ООО НПП «Днепроэнергосталь», Запорожье, Украина

Сухая очистка доменных газов как элемент энергоэффективности технологии производства чугуна

Статья посвящена освещению применения сухих систем очистки для технологических отходящих газов доменного процесса производства чугуна. Сухая система газоочистки доменного газа является одним из немаловажных факторов энергоэффективности доменного процесса производства чугуна. Современное газоочистное оборудование на основе рукавных фильтровальных элементов дает возможность получить существенные экологические результаты, а кроме того, повысить калорийность отходящих колошниковых газов.

Реализованная ООО НПП «Днепроэнергосталь» сухая система газоочистки на доменной печи полезным объемом 1066 м³ основана на применении рукавного фильтра ФРИР550, объединенного в блок из 9-ти секций, работающих в автономном режиме. Общая производительность системы составляет до 180 тыс. м³/ч, при этом в работе (режим очистки) находятся от 5 до 8 секций, а остальные секции находятся в режиме регенерации или горячем резерве.

Температурный режим работы фильтра в большей степени зависит от технологического режима работы доменной печи. Диапазон температуры отходящих колошниковых газов составляет 80–280 °С, при этом фильтровальная ткань имеет рабочий диапазон температур 120–150 °С. С целью регулирования и корректировки температуры газоочистная установка (ГОУ) доменной печи имеет две регулирующие системы, а именно – радиаторный охладитель и орошаемый водой газоход-охладитель. Скорость понижения температуры на радиаторном охладителе составляет 0,7 °С/м. Снижение температуры за счет воды осуществляется в автоматическом режиме по данным термопар.

Взрыво- и пожаробезопасность ГОУ обеспечивается применением инертных газов для периода регенерации фильтра, а герметичность – за счет реализации шлюзовой схемы выгрузки пыли через промежуточную бункерную емкость.

Эффективная сухая система очистки колошниковых газов позволяет повысить надежность работы оборудования ТЭЦ ПВС доменного цеха, исключая конденсационные эффекты и абразивное воздействие колошниковой пыли.

Ключевые слова: система газоочистки, колошниковый газ, очистка газов, колошниковая пыль, доменная печь, рукавный фильтр, калорийность газа, энергоэффективность, выплавка чугуна.

Актуальность. Доменное производство – одно из старейших технологических способов производства чугуна. Такая живучесть может свидетельствовать о высокой эффективности данной технологии. Этот фактор заставляет металлургическую науку находить пути совершенствования доменного технологического процесса с учетом изменяющейся сырьевой базы, разработки новых конструкционных материалов и огнеупоров, систем автоматического контроля и пр. Знаковыми разработками в современном доменном процессе являются разработка и внедрение новых аппаратов загрузки шихтовых материалов, внедрение систем пылеугольного вдувания, систем контроля уровня засыпки, а также продуктов плавки [1–6].

Немаловажным направлением модернизации является повышение энергетической эффективности доменного процесса. Фактически, доменная печь – это один из наиболее сбалансированных металлур-

гических агрегатов, однако это не является основанием к тому, чтобы отказаться от как можно более полного использования энергетического потенциала технологии.

Много исследований посвящены определению основных направлений повышения энергетической эффективности доменного процесса. Ряд ученых считают, что энергоэффективность работы доменных печей целесообразно оценивать по расходу суммарного углерода топлива на 1 т выплавляемого чугуна заданного качества [7]. Согласно этому принципу, повышения эффективности процесса можно добиться за счет мероприятий, позволяющих уменьшить расход углерода применяемого топлива, или же мероприятий, позволяющих увеличить содержание железа в шихте. На примере опыта работы доменных печей Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК) было предложено следующее:

- оптимизация качества железорудных материалов;
- работа доменных печей на повышенном давлении;
- повышение горячей прочности кокса;
- вдувание пылеугольного топлива;
- оптимизация распределения рудной нагрузки по радиусу печи.

Однако следует не забывать и о таком немаловажном понятии, как потери тепла. Согласно высказыванию А.Д. Готлиба, при неизменных шихтовых условиях работы печи, потери тепла обратно пропорциональны ее производительности [8]. Таким образом, можно сформулировать основную задачу (с точки зрения энергосбережения) современного доменного процесса – повышение интенсивности доменной плавки. Однако есть потери тепла, которые являются неизбежностью в любом пирометаллургическом процессе.

Постановка задачи. Доменный процесс является избыточным по теплу, отходящие колошниковые газы при температуре 200–300 °С обуславливают потери тепла до 15 % от общего прихода. При этом учитывается только физическое тепло отходящих газов, без учета химического теплового потенциала [9].

Учитывая достаточно высокую теплоту сгорания, доменный газ используется как дешевый вид тепловой энергии. Так, в настоящее время, он используется в виде топлива в коксохимическом, прокатном производстве, а также в доменном для нагрева воздуха, подаваемого на горелки доменной печи в качестве вторичного дутья. Кроме того, доменный газ может быть использован, в качестве источника энергии в газовых утилизационных бескомпрессорных турбинах (ГУБТ), с целью получения электрической энергии.

По техническим условиям использования ГУБТ, температура поступающего в них доменного газа должна быть не ниже 100–200 °С, а запыленность не должна превышать 4–5 мг/м³. Для очистки газа до столь низких концентраций пыли на металлургических заводах применяют многоступенчатые комбинированные схемы, которые в своей структуре используют аппараты как «мокрой», так и «сухой» очистки [10].

Таким образом, модернизация доменного процесса в направлении более полного использования как физического, так и химического тепла колошниковых газов является актуальной инженерной задачей. Является очевидным тот факт, что тепловой потенциал отходящих колошниковых газов будет зависеть не только от применяемой технологии ведения доменной плавки, но и от способа очистки отходящих колошниковых газов. «Мокрый» способ (применение труб Вентури с водяным орошением) очистки доменного газа обеспечивает необходимую степень очистки, но имеет ряд существенных недостатков, поэтому в настоящее время все большее внимание уделяется разработке «сухих» способов очистки доменного газа.

Конструктивной особенностью систем очистки колошниковых газов, определяемой технологией ведения доменной плавки, является обязательное условие работы под избыточным давлением. Это, с одной стороны, исключает подсос атмосферного воздуха,

а значит сохранение содержания СО в отходящих газах, но, с другой стороны, требует герметичности и исключения попадания угарного газа в атмосферу рабочей зоны персонала.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать основные задачи для повышения энергетической эффективности доменного процесса в части использования энергетического потенциала отходящих технологических газов доменной плавки, а именно:

1. Сверхтонкая (до 4 мг/м³) очистка отходящих газов от пыли и механической взвеси.
2. Сохранение максимально возможной температуры отходящих газов с целью сохранения физического тепла.
3. Поддержание высокого содержания монооксида углерода в отходящих газах, как основного показателя химического тепла.

Целью работы является разработка «сухой» технологии очистки колошниковых газов доменной печи, позволяющей максимально сохранить энергетический потенциал для последующего использования в качестве топлива, а также уменьшить экологическое влияние доменного процесса в целом. «Сухой» способ очистки доменного газа имеет целый ряд преимуществ перед «мокрой» очисткой:

- исключение использования воды для очистки доменного газа позволяет сократить объемы строительства объектов водного хозяйства, а именно: шламовой перекачивающей станции газоочистки, отстойников и флокуляторов шлама, насосной станции перекачки пульпы, циркуляционной насосной станции оборотного цикла газоочистки;
- температура газа после очистки составляет 100–120 °С, что на 50–70 °С выше, чем при «мокрой» газоочистке;

– влажность газа снижается на 50–60 г/м³, что в совокупности равноценно увеличению калорийности доменного газа на 50–60 ккал/м³. Это позволяет увеличить температуру нагрева доменного дутья в воздухонагревателях;

– уменьшается концентрация пыли в доменном газе до 2–4 мг/м³;

– улучшается экологическая обстановка на заводе в связи с более качественной очисткой газа от пыли и устранением шламового хозяйства.

Объект и методика исследования. В период 2010–2012 гг. ООО НПП «Днепроэнергосталь» реализовала проект системы очистки отходящих колошниковых газов доменной печи рабочим объемом 1066 м³ с производительностью по колошниковому газу в диапазоне 80±180 тыс. м³/ч и среднем значении входной запыленности 11,9 г/м³.

Выход колошниковых газов при доменной выплавке зависит от ряда технологических факторов: состава исходного сырья и кокса, температуры и давления воздушного дутья, обогащения дутья кислородом, применения природного газа, распределения материалов в печи, прочности кокса, развития процессов восстановления. Существует ряд методик для теоретического расчета количества колошниковых газов, образующегося при выплавке чугуна, но все эти расчеты

очень сложные, поэтому на практике, для определения выхода колошникового газа, используются номограммы или упрощенные способы расчета, исходя из полезного объема доменной печи или количества потребляемого кокса [11].

Расчетное количество доменного газа при объеме печи 1066 м³, среднее составит:

$$Q_{\text{др}} = V_{\text{дп}} \cdot 160,$$

где $V_{\text{дп}}$ – объем доменной печи, м³; 160 – среднее, приведенное к 1 м³ объема печи, значение выхода доменного газа, м³/ч.

$$Q_{\text{др}} = 1066 \cdot 160 = 170560 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Температура отходящих газов колеблется в диапазоне 80–350 °С. При длительных остановках (более 8 часов) или нарушениях технологического режима, температура доменного газа может снижаться до 35–40 °С.

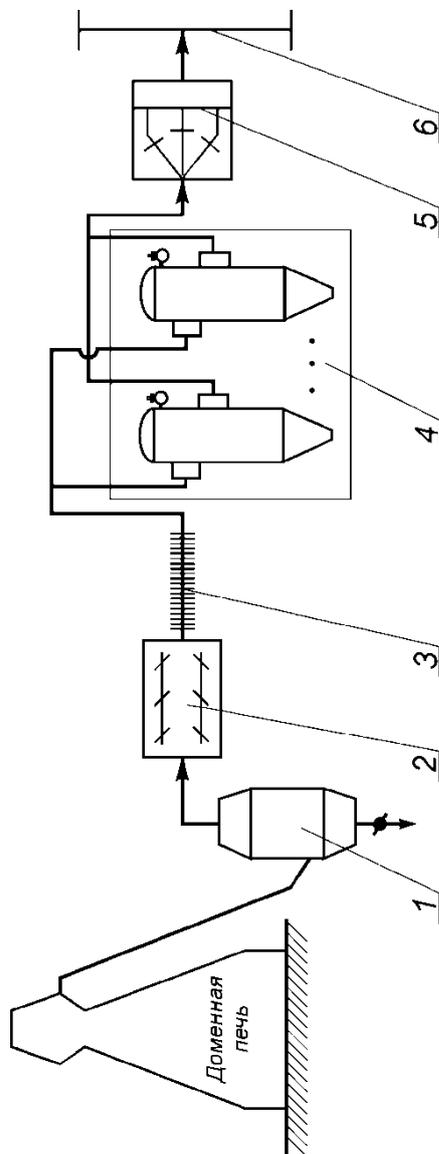


Рис. 1. Схема газового тракта: 1 – инерционный пылеуловитель; 2 – охладитель доменного газа; 3 – радиаторный охладитель; 4 – рукавный фильтр; 5 – дроссельная группа; 6 – общезаводской коллектор доменного газа

На рис. 1 представлена принципиальная схема газового тракта с «сухой» системой очистки колошниковых газов с применением рукавных фильтров с импульсной регенерацией (ФРИР).

Запыленный колошниковый газ, под воздействием избыточного давления 1,20÷1,43 кг/см², создаваемого в печи, за счет химических процессов, протекающих при выплавке чугуна, по газоходу Ду 1500 мм направляется на очистку. В качестве первой ступени для очистки доменного газа используется сухой инерционный пылеуловитель п. 1 (рис. 1).

В сухом пылеуловителе за счет гравитации и инерционных сил осуществляется грубая, до 65–75 % всей пыли, очистка газа доменного газа с отделением наиболее крупных частиц (размером > 0,1 мм).

После грубой очистки в пылеуловителе, доменный газ с температурой 270÷280 °С и остаточной запыленностью до 20 г/м³ направляется на дальнейшую очистку в рукавный фильтр.

Рабочая температура рукавного фильтра составляет 80–200 °С.

Для снижения температуры доменного газа до рабочей температуры используется охладитель доменного газа п. 2. (рис. 1), состоящий из следующих основных узлов:

- газоход Ø 1400 мм;
- шкаф, в котором установлены электромагнитные клапаны управления подачей воды и азота;
- система трубопроводов подачи воды и азота к форсункам;
- двухканальные форсунки тонкого распыла охлаждающей воды.

На рис. 2 приведен общий вид охладителя доменного газа.

Всего на охладителе установлено 18 двухканальных форсунок, где в качестве охлаждающей жидкости используется техническая вода, а в качестве распылителя – азот. Форсунки установлены вдоль газохода в шесть рядов. Каждый ряд форсунок объ-

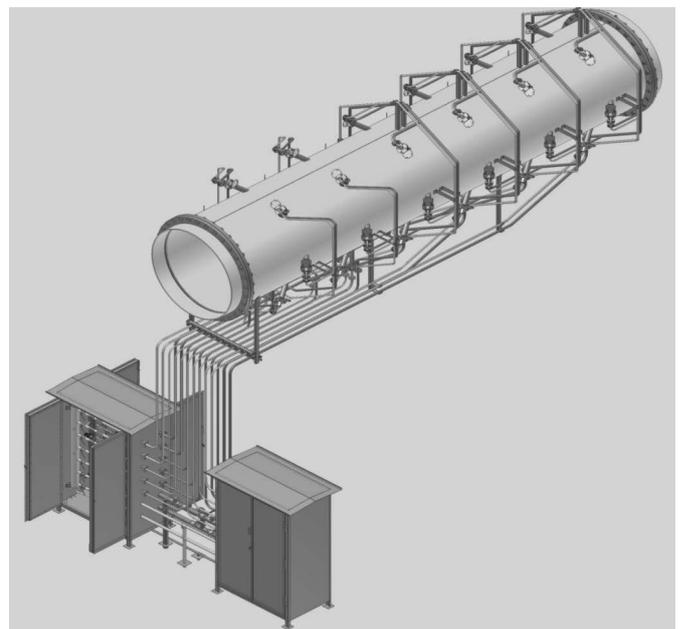


Рис. 2. Общий вид охладителя доменного газа

единен своими раздаточными коллекторами технической воды и азота. Подача воды и азота на каждый коллектор обеспечивается включением в работу быстродействующих клапанов, установленных в шкафах управления работой охладителя. С целью повышения надежности работы охладителя, подача воды на охладитель осуществляется по двум независимым подводам. Техническая характеристика охладителя доменного газа представлена в табл. 1.

Регулирование температуры, а именно уменьшение до рабочих значений работы рукавного фильтра, происходит за счет контролируемого впрыска воды, исключаящего шламообразование в самом газоходе (полное испарение влаги). Момент и количество подаваемой воды определяется по исходному значению температуры отходящих газов, до значения не более 200 °С перед входом в секцию ФРИР550.

Дополнительное охлаждение доменного газа, поступающего на очистку в рукавный фильтр, осуществляется в воздушном радиаторном охладителе, который представляет собой не футерованный газоход \varnothing 1400 мм. По наружной поверхности газохода (для теплоотдачи) наварены ребра из металла толщиной 4,0 мм, с интервалом 200 мм (рис. 3). По результатам эксплуатации данной конструкции радиаторного газохода падение температуры отходящих газов составляет 0,7 °С/м.

Очистка доменного газа осуществляется в рукавном фильтре ФРИР 550х9, состоящего из 9-ти отдельно стоящих секций ФРИР550. Одновременно в работе находятся любые от пяти до восьми секций фильтра. В табл. 2 приведены технические параметры секции рукавного фильтра ФРИР 550.

На рис. 4 приведен общий вид секции рукавного фильтра ФРИР 550.

Запыленный газ подводится в цилиндрическую нижнюю часть рукавного фильтра через газоход грязного газа (рис. 3). Равномерно просасываясь через фильтровальные рукава, газ проходит через ткань. Пыль осаждается на наружной части фильтровального рукава, а чистый газ через камеру чистого газа поступает в газоход чистого газа и затем в сборный коллектор и через дроссельную группу – в общезаводской газоход чистого доменного газа. Фактически конструкция одной секции ФРИР 550 представляет собой емкость, работающую под давлением и разделенную на камеру грязного газа и камеру чистого



Рис. 3. Радиаторный охладитель газохода колошникового газа

Таблица 2

Технические параметры секции рукавного фильтра ФРИР 550

Параметр	Ед. изм.	Значение
Производительность	м ³ /ч	20 000–26 500
Фильтровальная ткань		(PPS/PPS 551 CS 31)
Сопrotивление фильтра	Па	до 8000
Максимальное рабочее давление	кг/см ²	3,0
Максимальная рабочая температура	°С	до 220
Входная концентрация пыли	г/нм ³	до 40
Выходная концентрация пыли	мг/нм ³	не более 4,0
Эффективность очистки	%	99,99
Давление азота, подаваемого на регенерацию в рукавный фильтр	кг/см ²	6,0
Габаритные размеры секции рукавного фильтра		
– диаметр	мм	3220
– высота	мм	14910
Вес секции рукавного фильтра	т	18,3

Таблица 1

Техническая характеристика охладителя доменного газа

Наименование параметра		Значение
Габаритные размеры, мм	диаметр газохода	1400
	длина	3366
Количество установленных форсунок, шт		18
Рабочее давление перед форсунками, мПа:	азота	0,25–0,4
	воды	0,4–0,6
Максимальный расход воды, м ³ /ч		до 11,0
Максимальный расход азота через форсунку, м ³ /ч		до 10,0
Максимально допустимая температура перед охладителем, °С		450
Температура газов после охладителя, °С		до 220

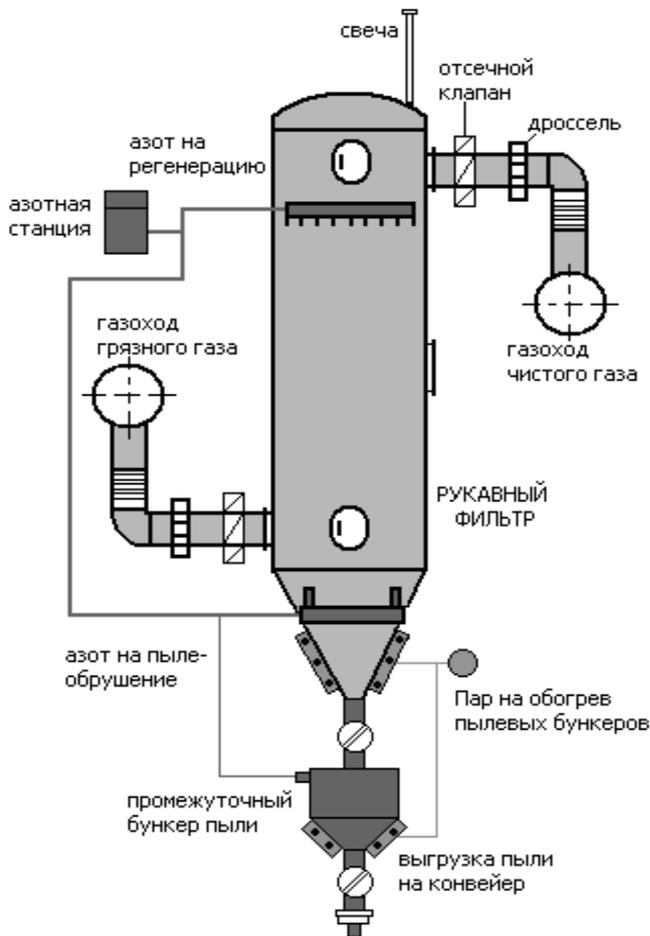


Рис. 4. Общий вид секции рукавного фильтра ФРИП 550

газа. Граница разделения определяется плоскостью крепления рукавных фильтров.

Регенерация рукавного фильтра осуществляется по достижению верхнего значения сопротивления фильтра подачей импульса сжатого азота во внутрь фильтровальных рукавов. Регенерация фильтра проходит с закрытым клапаном чистого газа. Азот для режима регенерации поступает от азотной станции.

Обслуживание камер грязного и чистого газа (рис. 5) осуществляется через герметичные люки Ду 600. В верхней части корпуса каждой секции предусмотрена продувочная свеча для продувки секций паром.

Система выгрузки пыли выполнена по шлюзовому принципу с промежуточным бункером пыли, для исключения подсосов атмосферного воздуха, а также выброса отходящих газов на рабочую площадку обслуживания пылевыгрузки. Нижняя часть секции фильтра, а также промежуточного бункера пыли имеет систему обогрева и пылеобрушения.

Для проектирования системы газоочистки доменной печи были приняты исходные данные, приведенные в табл. 3, а в табл. 4 приведены проектные показатели работы.

На рис. 6 показана смонтированная система газоочистки. Все секции ФРИП550 установлены в пространственные металлоконструкции на собственном основании с площадками обслуживания на уровне расположения системы регенерации и камер чистого

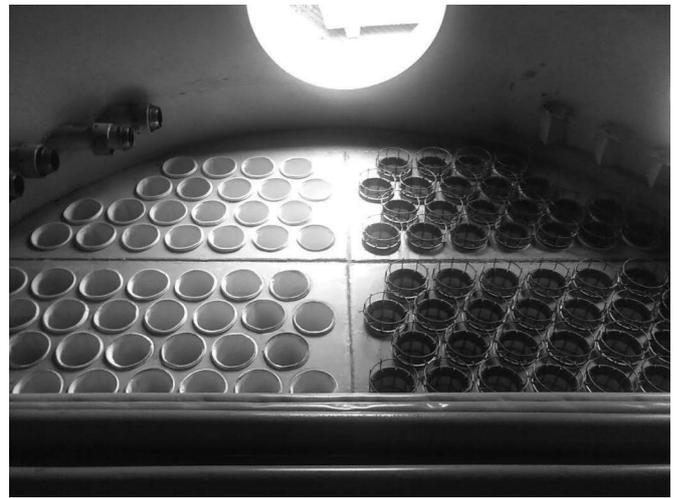


Рис. 5. Общий вид камеры чистого газа ФРИП 550

газа, нижней части камеры грязного газа, а также основных элементов системы выгрузки пыли.

Вход грязного газа и выход чистого газа с каждой секции объединены соответствующими коллекторами с клапанной группой, работающей в автоматическом режиме.

Запыленность доменного газа до рукавного фильтра и после него определялась методом внешней фильтрации. В качестве отборного устройства использовалась трубка из нержавеющей стали $\varnothing 6$ мм. В качестве фильтрующего элемента была использована комплексная набивка – фильтр АФА. Расход отобранной пробы измерялся стеклянным ротаметром.

Таблица 3

Исходные данные для проектирования системы очистки колошниковых газов доменной печи объемом 1066 м³

Наименование параметра	Ед. изм.	Параметр
Максимальный расход газа при рабочих условиях (200 °С)	тыс. м ³ /ч	180
Пиковая температура газов на колошнике	°С	280
Содержание пыли перед газоочисткой	г/нм ³	до 12
Количество секций в фильтре	шт	9
Общая площадь фильтрации	м ²	3840
Удельная газовая нагрузка на ткань	м ³ /м ² ·мин	0,8
Максимальный расход сжатого азота на регенерацию	нм ³ /ч	150
Давление сжатого азота в системе	атм	не менее 6
Максимальный расход воды на охлаждение доменного газа	м ³ /ч	8
Давление технической воды перед форсунками	атм	6,0
Температура газов перед фильтром	°С	не более 200
Гидравлическое сопротивление	Па	2800
Запыленность газов после очистки	мг/м ³	не более 4

Таблица 4

**Проектные параметры работы системы очистки ко-
лошниковых газов доменной печи объемом 1066 м³**

1.	Температура газов перед охладителем, °С	100–800
2.	Температура газов перед фильтром, °С	100–200
3.	Температура газов после фильтра, °С	100–200
4.	Температура газов после дроссельной группы, °С	100–180
5.	Расход доменного газа через фильтр, тыс. м ³ /ч	0–180
6.	Давление доменного газа перед фильтром, кПа	0–150
7.	Давление доменного газа после рукавного фильтра, кПа	0–150
8.	Давление доменного газа после дроссельной группы, кПа	0–25
9.	Температура пара, подаваемого на обогрев, °С	0–600
10.	Давление пара, подаваемого на обогрев, мПа	0–1,0
11.	Давление воды, подаваемой на охладитель, мПа	не менее 1,0
12.	Давление азота на охладитель, мПа	не менее 0,6
13.	Давление азота на входе в эстакаду, кПа	не менее 63,0
14.	Расход азота на входе в эстакаду, м ³ /ч	до 200
15.	Запыленность газов, поступающих на очистку в рукавный фильтр, г/м ³	до 40
16.	Запыленность газов после очистки, мг/м ³	4,0
17.	Эффективность очистки доменного газа, %	99,99



Рис. 6. Система очистки доменного газа в рукавном фильтре ФРИР 550х9

Результаты замеров запыленности доменного газа представлены в табл. 5.

Замеры запыленности доменного газа производились в разное время. При отборе проб на запыленность использовались шлюзовые затворы, которыми оборудованы замерные точки до и после рукавного фильтра. Среднее значение количества улавливаемой в рукавном фильтре пыли рассчитывалось по формуле:

$$P = Z \cdot q \cdot Q_{cp} \cdot 24/10^6,$$

где Z – входная запыленность доменного газа, г/м³; Q – коэффициент очистки; Q_{cp} – количество доменного газа, м³/ч; 24 – время работы рукавного фильтра, ч; 10⁶ – коэффициент перевода количества уловленной пыли в т/сутки.

$$P = 11,9286 \cdot 0,9996 \cdot 120000 \cdot 24/10^6 = 34,34 \text{ т/сутки.}$$

Плотность пыли при выплавке передельного чугуна колеблется в пределах 3–4 г/см³. Дисперсный

Таблица 5

Запыленность доменного газа

Наименование параметра	Место отбора	Ед. изм.	Значение	Ср. знач.
Запыленность доменного газа	Перед рукавным фильтром	г/м ³	12,4110	11,929
			19,6480	
			1,8260	
			1,4270	
			2,9870	
			15,3310	
			29,8700	
Запыленность доменного газа	После рукавного фильтра	г/м ³	0,0048	0,004
			0,0040	
			0,0036	
			0,0045	
			0,0032	
			0,0043	
Эффективность очистки	–	%	–	99,970

Дисперсный состав пыли при производстве передельного чугуна

Размер частиц, мкм	≤ 1,8	1,8–5,5	5,5–29	29–45	45–63	≥ 63
%мас.	0,6	2,0	18,2	40,8	15,7	22,7

состав пыли, уловленной в рукавном фильтре, определялся ситовым анализом. Результаты лабораторного анализа представлены в табл. 6.

Выводы

По результатам внедрения и работы «сухой» очистки колошниковых газов доменной печи объемом 1066 м³ можно сделать ряд выводов:

1. Количество газов, поступающих на очистку, составляет от 40 до 160 тыс. нм³/ч с температурой доменного газа после пылеуловителя 270±280 °С.
2. Падение температуры в газоходе на участке от колошника до охладителя составляет 50–70 °С. Охладитель доменного газа обеспечивает снижение пиковых значений температуры до рабочего значения 220°С. При работе охладителя в интервале температур от 80 до 220 °С в газоходе отсутствуют отложения, увеличивающие сопротивление газового тракта.
3. Максимальное сопротивление фильтра при температурах доменного газа от 60 до 220 °С составляет от 1,0 до 4,5 кПа, при более низких темпера-

турах может достигать 20 кПа. Понижение температуры доменного газа ниже точки росы (+ 50 °С) способствует выпадению сконденсировавшейся влаги и увеличению сопротивления рукавного фильтра. Увеличение сопротивления фильтра при низких температурах доменного газа приводит к увеличению числа работающих секций с 5 до 8.

4. Запыленность доменного газа, поступающего на очистку в рукавный фильтр, составляет 1,427±29,87г/нм³. Среднее значение входной запыленности 12 г/нм³. Среднее значение запыленности доменного газа после очистки составляет – 4,3 мг/нм³. Количество пыли, улавливаемой в рукавном фильтре за сутки, зависит от количества газа, поступающего на очистку, эффективности работы пылеуловителя и составляет примерно 25–35 т.

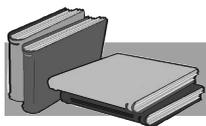
5. Доменный газ, после «сухой» очистки в рукавном фильтре, по техническим условиям пригоден для дальнейшего использования на установках ГУБТ.

В табл. 7 приведены экономические показатели работы системы сухой очистки колошниковых газов доменной печи полезным объемом 1066 м³.

Таблица 7

Экономические показатели работы системы сухой очистки колошниковых газов доменной печи полезным объемом 1066 м³

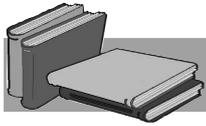
Наименование параметра	Значение
Количество уловленной сухой пыли, готовой к утилизации, т/год	20 000
Температура доменного газа, подающегося после очистки на ТЭЦ-ПВС, °С	70
Экономия природного газа, тыс. м ³ /год	600
Годовая экономия электрической энергии по сравнению с мокрой газоочисткой, МВт ч	5,2

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Большаков В.И.* Новые технические решения в металлургическом оборудовании. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2000. № 4. С. 10–13.
2. *Большаков В.И.* Проблемы инновационного развития ГМК Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2003. № 2. С. 1–4.
3. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. М.: Металлургия. 1990. 256 с.
4. *Большаков В.И.* Современные загрузочные устройства и системы контроля для реконструкции доменных печей. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2004. № 5. С. 96–100.
5. Доменное производство «Криворожстали». Монография под ред. чл.-корр. НАН Украины В.И. Большакова. Изд. «Криворожсталь» – ИЧМ. Днепропетровск, 2004. 378 с.
6. *Большаков В.И.* Научное обеспечение реализации перспективных технических решений при реконструкции металлургических агрегатов. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2005. № 3. С. 7–12.
7. *Филатов С.В., Загайнов С.А., Гилева Л.Ю., Курунов И.Ф., Титов В.Н.* Анализ путей повышения энергоэффективности выплавки чугуна в доменных печах НЛМК. *Известия Высших Учебных Заведений. Черная Металлургия*. 2017. № 60 (8). С. 637–642.
8. *Готлиб А.Д.* Доменный процесс. М.: Металлургия, 1966. 503 с.
9. *Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н., Юсфин Ю.С.* Металлургия чугуна. Учебник для ВУЗов. М.: Академкнига, 2004. 774 с.

10. *Старк С.Б.* Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. М.: Металлургия, 1990. 400 с.
 11. *Алиев Г.М.* Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок. Учебник. М.: Металлургия, 1988. 368 с.

Поступила 14.08.2019



REFERENCES

1. *Bolshakov, V.I.* (2000). New technical solutions in metallurgical equipment. *Metallurgical and mining industry*, no. 4, pp. 10–13 [in Russian].
2. *Bolshakov, V.I.* (2003). Problems of innovative development of the Mining and Metallurgical Complex of Ukraine. *Metallurgical and mining industry*. no. 2, pp. 1–4 [in Russian].
3. *Bolshakov, V.I.* (1990). Theory and practice of blast furnace loading. Moscow: Metallurgiya, 256 p. [in Russian].
4. *Bolshakov, V.I.* (2004). Modern loading devices and control systems for the blast furnaces redevelopment. *Metallurgical and mining industry*, no. 5, pp. 96–100 [in Russian].
5. *Bolshakov, V.I.* (Ed.) (2004). "Kryvorizhstal" blast furnace production. Monography. Kryvorizhstal. IFM. Dnipropetrovsk, 378 p. [in Russian].
6. *Bolshakov, V.I.* (2005). Scientific support for the implementation of promising technical solutions in the reconstruction of metallurgical units. *Metallurgical and mining industry*, no. 3, pp. 7–12 [in Russian].
7. *Filatov, S.V., Zagainov, S.A., Gileva, L.Yu., Kurunov, I.F., Titov, V.N.* (2017). Analysis of ways to improve energy efficiency of pig iron smelting in "NLMK" blast furnaces. *News of Higher Educational Institutions. Heavy Metallurgy*, no. 60 (8), pp. 637–642 [in Russian].
8. *Gotlib, A.D.* (1966). Blast furnace process. Moscow: Metallurgiya, 503 p. [in Russian].
9. *Vegman, E.F., Zherebin, B.N., Pohvisnev, A.N. Yusfin, Yu.S.* (2004). Pig iron metallurgy. Textbook for Higher Educational Institutions. Moscow: Academkniga, 774 p. [in Russian].
10. *Stark, S.B.* (1990). Gas purification devices and installations in metallurgical production. Moscow: Metallurgiya, 400 p. [in Russian].
11. *Aliev, G.M.* (1988). Installation and maintenance of gas purification and dust removal systems. Textbook. Moscow: Metallurgiya, 368 p. [in Russian].

Received 14.08.2019

Анотація

С.В. Семірягін, канд. техн. наук, доц., заст. ген. директора, e-mail: td.destal@ukr.net; **В.В. Осипенко**, ген. директор, e-mail: destal@ukr.net
Ю.В. Бубунець, канд. техн. наук, начальник проектно-конструкторського управління (ПКУ), e-mail: pko.destal@ukr.net

ТОВ НВП «Дніпроенергосталь», Запоріжжя, Україна

Суша очистка доменних газів як елемент енергоефективності технології виробництва чавуну

Статтю присвячено висвітленню застосування сухих систем очищення для технологічних відхідних газів доменного процесу виробництва чавуну. Суша система газоочищення доменного газу є одним з важливих чинників енергоефективності доменного процесу виробництва чавуну. Сучасне газоочисне обладнання на основі рукавних фільтрувальних елементів дає можливість отримати суттєві екологічні результати, а крім того, підвищити калорійність відхідних колошникових газів.

Реалізована ТОВ НВП «Дніпроенергосталь» суша система газоочищення на доменній печі корисним об'ємом 1066 м³, заснована на застосуванні рукавного фільтра ФРІР550, який об'єднано у блок з 9-ти секцій, що працюють в автономному режимі. Загальна продуктивність системи становить до 180 тис. м³/год, при цьому в роботі (режим очищення) знаходяться від 5 до 8 секцій, а решта секцій знаходяться в режимі регенерації або гарячому резерві.

Температурний режим роботи фільтра більшою мірою залежить від технологічного режиму роботи доменної печі. Діапазон температури відхідних колошникових газів становить 80–280 °С, при цьому фільтрувальна тканина має робочий діапазон температур 120–150 °С. З метою регулювання та коригування температури газоочисна установка (ГОУ) доменної печі має дві регулюючі системи, а саме – радіаторний охолоджувач і зрошуваний водою газохід-охолоджувач. Швидкість зниження температури на радіаторному охолоджувачі становить 0,7 °С/м. Зниження температури за рахунок води здійснюється в автоматичному режимі за даними термопар.

Вибухо- та пожежобезпечність ГОУ забезпечується застосуванням інертних газів для періоду регенерації фільтра, а

герметичність – за рахунок реалізації шлюзової схеми вивантаження пилу через проміжну бункерну ємність. Ефективна суха система очищення колошникових газів дозволяє підвищити надійність роботи обладнання ТЕЦ ПВС доменного цеху, виключаючи конденсаційні ефекти і абразивну дію колошникового пилу.

Ключові слова

Система газоочищення, колошниковий газ, очищення газів, колошниковий пил, доменна піч, рукавний фільтр, калорійність газу, енергоефективність, виплавка чавуну.

Summary

S.V. Semiriagin, PhD (Engin.), Associate Professor, Deputy of General Director, e-mail: td.destal@ukr.net; **V.V. Osipenko**, General Director, e-mail: destal@ukr.net; **Yu.V. Bubunets**, PhD (Engin.), Chief of Design and Engineering Department, e-mail: pko.destal@ukr.net

SME Dneproenergostal LLC, Zaporizhzhia, Ukraine

Dry purification system of blast furnace gases as an element of energy efficiency of cast iron production technology

The article is devoted to coverage of the usage of dry purification systems for technological waste gases of a blast furnace process for the cast iron production. The dry blast furnace gas purification system is one of the important factors in the energy efficiency of the blast furnace process of cast iron production. Modern gas purification equipment based on bag filter elements makes it possible to obtain significant environmental results, and, in addition, to increase the calorific value of flue gases. The dry gas purification system implemented by Scientific and Manufacturing Enterprise Dneproenergostal LLC using a blast furnace with a useful volume of 1066 m³ is based on the usage of the FRIR-550 bag filter combined into a unit of 9 sections operating in an autonomous mode. The total system capacity is up to 180 thousand m³/hour, while in operation (purification mode) there are 5 to 8 sections, and the remaining sections are in regeneration mode or hot standby. The temperature regime of the filter to a greater extent depends on the technological regime of the blast furnace operation. The temperature range of the flue gases is 80–280 °C, while the filter cloth has a working temperature range of 120–150 °C. In order to regulate and adjust the temperature, the blast furnace gas purification plant (GPP) has two control systems, namely a radiator cooler and a gas duct-cooler irrigated with water. The rate of temperature drop on the radiator cooler is 0.7 °C/m. Temperature drop due to water is carried out automatically according to thermocouples data. The explosion and fire safety of the GPP is ensured by the use of inert gases for the filter regeneration period, and the tightness – due to the implementation of the gateway dust discharge circuit through the intermediate hopper tank. An efficient dry flue gas purification system provides the reliability of the TPP (Thermal Power Plant) equipment of the blast furnace steam air duct installation, eliminating the condensation effects and abrasive effect of flue gas dust.

Keywords

Gas purification system, flue gas, gas purification, flue gas dust, blast furnace, bag filter element, gas calorific value, energy efficiency, cast iron smelting.