

Н.М.Можаренко, А.А.Параносенков, В.И.Негода

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ГОРЯЧЕГО ДУТЬЯ ПО ВОЗДУШНЫМ ФУРМАМ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Описано развитие систем контроля и регулирования расхода горячего дутья по воздушным фурмам доменной печи и намечены перспективные пути их совершенствования.

Постановка задачи.

Идеальным случаем распределения дутья по воздушным фурмам доменной печи являлись бы равные расходы на каждом дутьевом устройстве. Однако без принудительного технического вмешательства подобное распределение маловероятно, так как оно определяется неконтролируемыми условиями работы печи и конструктивными особенностями воздухоподводящего тракта, принципиальное изменение которого для выравнивания расхода дутья по фурмам требует значительных капитальных затрат.

Анализ состояния проблемы.

До второй половины XIX в. предпринимались попытки регулирования распределения и скорости истечения дутья с помощью «яблока Беккера», получившего довольно широкое распространение в Западной Европе уже в конце века, водоохлаждаемого конуса, вводившегося в фурму, дроссельных клапанов и других устройств [1].

Регулирование распределения дутья при помощи традиционной аппаратуры измерения и управления расходами газа, применявшееся с 1962 г. в СССР (Кузнецкий металлургический комбинат), приводило к улучшению схода шихты, повышению степени использования тепловой и химической энергии газов, повышению производительности печей и сокращению расхода кокса [2]. Подобные системы контроля и регулирования распределения дутья по фурмам были реализованы на ряде печей Макеевского и Ждановского им. Ильича металлургических заводов, показавшие высокую технологическую эффективность [1,3].

Схема и конструктивные элементы разработанной системы автоматического регулирования распределения дутья по фурмам доменной печи представлены на рис. 1–4 [4]. Расходы дутья по фурмам измеряли дифференциальными манометрами по перепаду давления на измерительных соплах в фурменных рукавах и регулировали дросселями. Однако из-за низкой стойкости аппаратуры системы контроля и регулирования расхода дутья по фурмам оказались недолговечными. Конструктивные элементы, находящиеся в потоке дутья, не выдерживали агрессивное воздействие высокотемпературного потока дутья во время работы агрегата и печных газов при взятии доменной печи на «тягу». В связи с этим изучалась воз-

возможность изменения операции взятия пробы «на тягу», например, путем эвакуации печных газов через колошник [5].

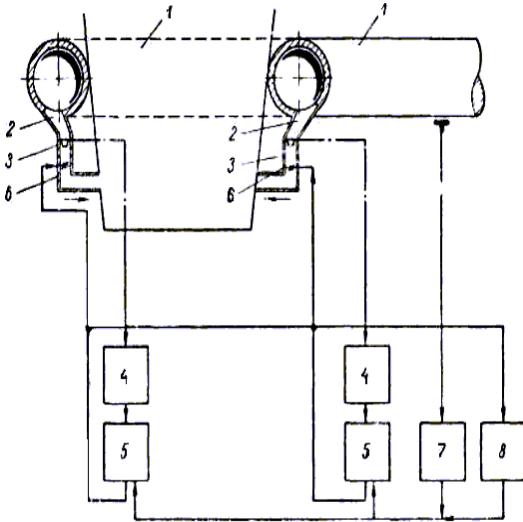


Рис. 1. Схема системы автоматического регулирования распределения дутья по фурмам доменной печи.

1 – общий воздухопровод; 2 – фурменный воздухопровод; 3 – измерительное сопло; 4 – прибор измерения расхода дутья на фурму; 5 – регулятор расхода дутья на фурму; 6 – регулирующий дроссель; 7 – главный регулятор установки задания (по общему давлению или расходу дутья на печь); 8 – коррекция задания по положению регулирующих дросселей

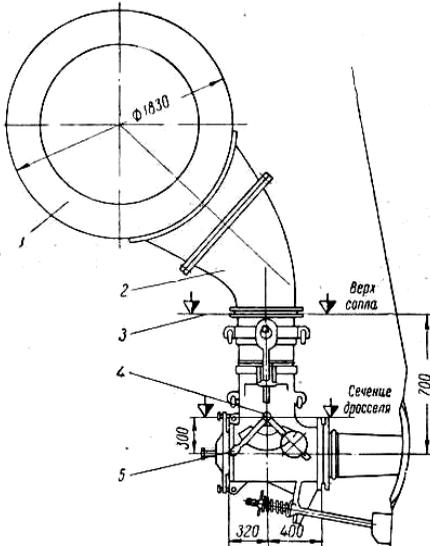


Рис. 2. Расположение измерительного сопла и регулирующего дросселя в фурменном воздухопроводе

1 – кольцевой воздухопровод; 2 – фурменный рукав; 3 – место установки измерительного сопла; 4 – ось регулирующего дросселя; 5 – рычаг ручного управления дросселем

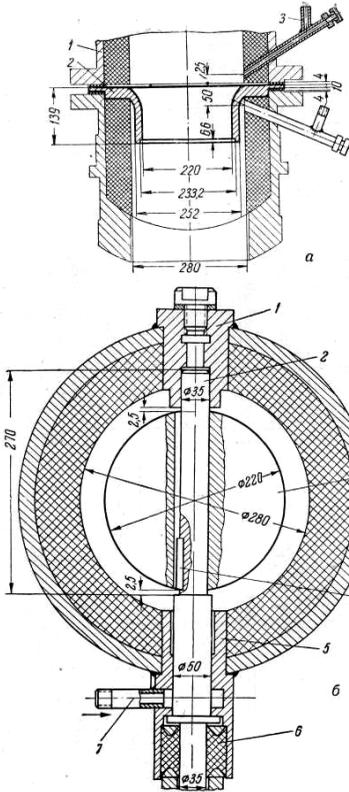


Рис. 3. Устройство регулирующего дросселя и измерительного сопла
 а – измерительное сопло: 1 – фурменный рукав; 2 – сопло; 3 – импульсные линии измерения расхода дутья на фурму; б – регулирующий дроссель: 1 – опора; 2 – ось дросселя; 3 – поворотный регулирующий дроссель (заслонка); 4 – шпонка; 5 – втулка; 6 – уплотнение; 7 – подвод сжатого воздуха.

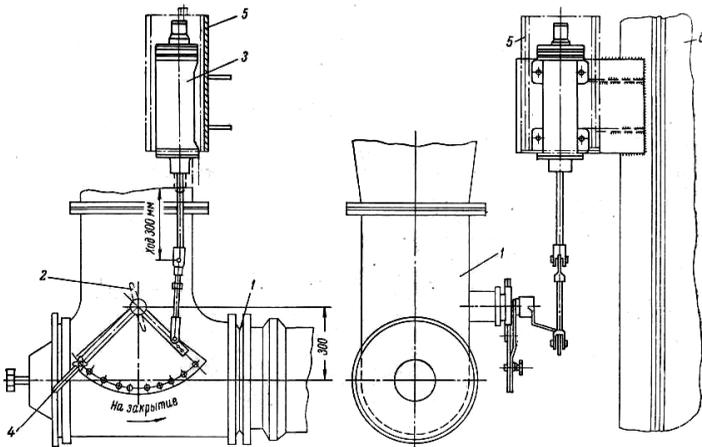


Рис. 4. Установка исполнительного механизма на фурменном рукаве
 1 – фурменный рукав; 2 – регулирующий дроссель; 3 – исполнительный механизм; 4 – рычаг ручного управления; 5 – защитный водоохлаждаемый короб; 6 – колонна

Анализ последних достижений.

Однако наиболее рациональными направлениями совершенствования систем контроля и управления распределением дутья по воздушным фурмам доменной печи можно назвать следующие:

1. Повышение долговечности конструктивных элементов аппаратуры при применении материалов повышенной износостойкости (например, керамики) и нанесением защитных покрытий.

2. Уменьшением количества и продолжительности стоянок и простоев доменной печи.

3. Технического упрощения систем контроля и регулирования дутья, особенно конструкций, находящихся в воздушном потоке, и повышения их ремонтпригодности.

Такое развитие получили системы регулирования расхода горячего дутья по фурмам в Японии [6]. Фирмой Nippon Kokan совместно с Asahi Glass была разработана конструкция регулирующих клапанов мотылькового типа для регулирования расхода горячего дутья по воздушным фурмам доменной печи. Клапаны были изготовлены из прессованного силицированного графита. Применяли специальную конструкцию крепления клапана на металлической оси, обеспечивающую жесткость соединения, несмотря на различие коэффициента термического расширения материалов оси и клапана. Ранее система регулирования расхода дутья по фурмам была опробована на доменной печи №2 (объем 4052 м³) завода в Кейхине. Клапаны устанавливали в съемном вертикальном патрубке между коленом и «граммофонным» патрубком фурменного прибора. Они были рассчитаны на работу в следующих условиях: температура дутья до 1300⁰С, давление до 5 ати, скорость дутья до 250 м/с. Расход дутья по фурмам контролировали по перепаду давления в фурменном приборе. Система регулирования расхода дутья по фурмам была установлена в 1986 г. и применялась в следующих целях:

1. Регулирование окружной неравномерности работы доменной печи (профиля засыпи по окружности печи).

2. Совершенствование технологии выпуска чугуна из печи.

3. Работа печи с пульсирующим расходом дутья.

4. Регулирование расхода дутья на каждой фурме.

Регулирование работы печи по окружности путем соответствующего изменения расхода дутья по фурмам привело к снижению расхода кокса на 9 кг/т чугуна и к снижению содержания кремния на 0,04 %.

Изложение основных материалов исследования.

Дальнейшее развитие системы контроля расхода горячего дутья по воздушным фурмам доменной печи в СНГ получили в Институте черной металлургии (ИЧМ). Анализ опыта измерений позволил сформулировать следующие требования к промышленному способу контроля расхода дутья через фурмы [7]:

1. Конструкция измерительного устройства должна быть рассчитана на длительную работу и быть удобна в эксплуатации, не должна содержать элементов, находящихся в потоке дутья и создающих потери напора.

2. Процесс тарировки должен быть эффективным и простым в эксплуатации, что может быть реализовано путем его автоматизации.

3. Измерение расхода дутья должно охватывать весь его диапазон и быть непрерывным.

Наиболее перспективным, с точки зрения технической реализации, был определен способ измерения расхода дутья по перепаду давления на элементах существующего воздушного тракта, включающем фурменный прибор. Измерительным участком фурменного прибора было выбрано соединение верхнего фланца фурменного рукава и прямого патрубка фурменного прибора, так как результаты аналитических исследований способа контроля дутья по информации о перепадах давления в сужающий поток элементов воздушного тракта показали его перспективность для разработки систем контроля распределения газа в агрегатах, где невозможно применить расходомеры с диафрагмами, соплами и трубами Винтури, а также для уточнения расходных характеристик действующих сужающих устройств [7].

Проведенное опытное управление (в ручном режиме) путем согласования расхода природного газа и дутья дало экономию кокса 2,2 кг/т чугуна, а среднесуточная производительность повысилась при этом на 0,3 %. Установленные системы показали хорошую эксплуатационную устойчивость и надежность измерения. Однако опыт работы систем контроля распределения дутья по фурмам показал необходимость большей защищенности аппаратуры и коммуникационных сетей.

В дальнейшем в ИЧМ был разработан метод измерения расхода дутья по фурмам, основанный на закономерностях теплообмена на участке головка сопла–охлаждающая жидкость [8]. Несколько иное развитие этот метод получил в работах НПП «Промоборудование» [9], однако его достоверность в подобной интерпретации является дискуссионным вопросом.

Методика исследования.

Аналитическая оценка теплотехнического режима работы сопла показала, что элемент фурменного прибора – головка сопла – является калориметром, обладающим такими важными свойствами, как постоянство геометрических размеров и относительная чистота внутренней поверхности. Экспериментальными исследованиями было установлено, что количество теплоты, теряемого на этом элементе, однозначно зависит только от количества физической теплоты и газодинамического режима движения дутья, проходящего через воздушную фурму.

С учетом этого общее уравнение конвективной теплопередачи от дутья к охлаждающей воде головки сопла принимает вид:

$$Q = \dot{m}_d \cdot F_c \cdot (t_d - t_{H_2O}) \cdot \varepsilon_b, \quad (1)$$

где λ_d – коэффициент теплоотдачи от дутья к стенкам сопла, согласно [10] и с учетом принятых упрощений, равный

$$\lambda_d = 0,0206 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot (\lambda_t / d_c), \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}), \quad (2)$$

где λ_t – теплопроводность дутья, ккал/(м·ч·град);

d_c – внутренний диаметр головки сопла, м;

F_c – площадь поверхности стенок водоохлаждаемой головки сопла, м²;

t_d – температура горячего дутья, °С;

$t_{\text{H}_2\text{O}}$ – температура входящей воды системы охлаждения сопла, °С;

ε_1 – поправочный коэффициент на газодинамический режим движения. При гидродинамически стабилизированном движении $\varepsilon_1 = 1$;

Re – число Рейнольдса:

$$\text{Re} = G \cdot d / \mu_t, \quad (3)$$

где G – удельный весовой расход дутья, кг/(м²·ч);

μ_t – динамическая вязкость дутья, кг/(м·ч).

$$G = G_c / F_c, \quad (4)$$

где G_c – весовой расход дутья через фурму, кг/ч;

F_c – площадь поперечного сечения головки сопла, м².

После совместного решения уравнений (1–4) получим следующее выражение для определения весового расхода через фурму в зависимости от величины тепловых потерь:

$$G = \left(\frac{Q \cdot d_c}{0,0206 \cdot F_c \cdot \varepsilon_1 \cdot \Delta t \cdot \lambda_d} \right)^{1,25} \cdot F_c^1 \cdot \mu_d / d_c, \text{ кг/ч}, \quad (5)$$

а объемный расход дутья при нормальных условиях (нм³/ч) равен:

$$V_c^0 = \left(\frac{Q \cdot d_c}{0,0206 \cdot F_c \cdot \varepsilon_1 \cdot \Delta t \cdot \lambda_d} \right)^{1,25} \cdot \frac{F_c^1 \cdot \mu_d}{d_c \cdot \gamma_0}, \text{ нм}^3/\text{ч}, \quad (6)$$

где γ_0 – удельный вес дутья при нормальных условиях, кг/нм³.

Методика экспериментальных исследований.

Экспериментальное опробование метода контроля расхода дутья, основанного на использовании в качестве калориметра головки сопла, наиболее представительно было осуществлено на ДП №4 комбината «Азовсталь», показав хорошую результативность. Экономия кокса составила 5,8 кг/т чугуна, производительность повысилась на 6,3 %.

Позднее этот метод прошел апробацию с хорошими результатами на доменных печах комбинатов Алчевском, Череповецком, Криворожском, заводов Енакиевском и «Тулачермет». Накопленный опыт позволил создать в составе АСУ ТП ДП №9 МК «Криворожсталь» подсистему автоматизированного контроля распределения дутья по воздушным фурмам на базе современных приборов измерения расходов и перепадов температуры охлаждающей воды на соплах.

Преимуществом этого метода, перед разработанным ранее [7], является более низкий уровень капитальных затрат, меньшая сложность в эксплуатации и более высокая надежность датчиков системы измерения. К недостаткам относятся инерционность системы, и возможность применения лишь при наличии на доменной печи водяного охлаждения сопел фурменных приборов.

Схемы различных систем контроля распределения дутья по фурмам и системы регулирования расходов дутья с помощью дроссельного устройства представлены на рис. 8.

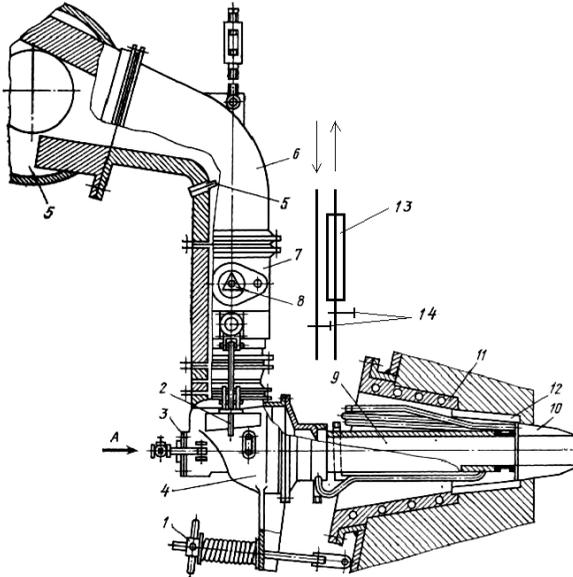


Рис.5. Фурменные прибор с различными системами: контроля распределения дутья по фурмам по перепаду давления – 5, регулирования расходов дутья по фурмам – 8, контроля распределения дутья по фурмам по теплотехническому методу – 13, 14

1 – натяжной болт; 2 – серьга с клином; 3 – фланец фурменного колена; 4 – подвешенное колено; 5 – датчик определения расхода воздуха; 6 – фурменный рукав; 7 – неподвижное

колено; 8 – дроссельное устройство; 9 – сопло; 10 – фурма; 11 – фурменный холодильник; 12 – фурменная амбразура; 13 – расходомер отходящей воды охлаждения сопел; 14 – термопары измерения температуры входящей и отходящей воды охлаждения сопел

Однако отказ от использования систем непосредственного регулирования расходов дутья по воздушным фурмам являлся временным явлением. Совершенствование технологии доменной плавки и технических средств регулирования позволит в дальнейшем вернуться к подобным системам.

Выводы.

1. Распределение горячего дутья по воздушным фурмам доменной печи характеризуется значительной неравномерностью и определяется технологией доменной плавки и конструкцией воздухоподводящего тракта.

2. Традиционная аппаратура систем контроля и регулирования расходов дутья по воздушным фурмам доменной печи требует специальных технологических и технических решений.

3. Разработаны системы контроля расхода дутья по фурмам, показавшие положительный результат использования.

4. Перспективным направлением развития систем контроля и регулирования распределения дутья по фурмам является повышение стойкости технической аппаратуры и повышение технологического уровня работы доменных печей.

1. Бугаев К.М. Распределение газов в доменных печах. // М.: Металлургия, 1978. – 175 с.
2. Автоматическое регулирование распределения дутья по фурмам доменной печи Кузнецкого металлургического комбината. / Сталь. – 1964. – № 4. – С.292–296.
3. Анализ работы доменной печи при автоматическом регулировании дутья по воздушным фурмам. / Сталь. – 1965. – № 7. – С.590–593.
4. Копелович А.П. Автоматическое регулирование в черной металлургии. / Краткий справочник. // М.: Гос. науч.-технич. издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1963. – 408 с.
5. Оценка эффективности распределения дутья и природного газа по фурмам. Андронов В.Н., Белов Ю.А. // Сталь. №9. – 2002. – С. 15–17.
6. Новая технология доменной плавки с применением регулирующей клапанов горячего дутья в фурменных приборах. / Nakajima Ryuichi, Kishimoto Sumiyuki, Hotta Hirohisa, Ishii Kunihiko // NKK Techn. Rev. – 1990/ – №59. – С 1–7. РЖМет, 1991, №2, реф. 2 В220.
7. Лукьянец С.Н. Создание и внедрение промышленного способа контроля расхода дутья через фурмы для диагностики состояния оборудования и управления процессом доменной плавки. // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук в форме научного доклада. Днепропетровск, 1991. – 23 с.
8. Контроль распределения дутья по воздушным фурмам доменной печи. / Канаев В.В., Кобеза И.И., Бузовера М.Т., Шулико С.Т. // Металлургическая и горно-рудная промышленность. – 1995. – № 2. – С. 69–71.
9. Современные промышленные системы автоматизации доменных печей мира. / Изюмский Н.Н., Васильев А.П. // Теория и практика производства чугуна. Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Кривой Рог, КГГМК «Криворожсталь», 2004. – 621 с.
10. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – М.: Химия, 1981. – 560 с.

Статья рекомендована к печати д.т.н. А.В.Бородулиным.