

2. Построены математические модели, устанавливающие связь между значениями режимов резания на данном этапе, а также значениями показателей качества на предыдущем этапе, и значениями показателей качества на текущем этапе обработки. Эти модели могут использоваться как при назначении режимов обработки так и при прогнозировании последствий обработки с учетом технологической наследственности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сулов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: машиностроение, 2002. – 684 с.
2. Ящерицын П.И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей. – Минск: Наука и техника, 1971. – 212 с.
3. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 416 с.

пост. 30.03.09

## Алгоритмы модернизированного управления доменным процессом. Публикация III. Подсистема автоматического управления сходом шихты (ПАУСШ)

СМОЛЯК В.А.

Днепродзержинский государственный технический университет

Проанализированы критерии качественного и количественного определения режима схода шихты. Изложены методы автоматического управления с применением микропроцессорного логического программируемого контроллера ходом доменной печи по перепадам давления газов.

Проанализовані критерії якісного і кількісного визначення режиму сходу шихти. Викладені методи автоматичного керування з застосуванням мікропроцесорного програмуємого логічного контролера ходом доменної печі.

The criteria of quality and quantity definition of regime stock going down have been analyzed. The methods of automatic control with microprocessing logical programmed controller by blast furnace run on gas pressure skimmers have been given.

**Введение.** Опускание шихтовых материалов под действием силы тяжести («активного веса») в результате их плавления и горения кокса в фурменных очагах в комбинированном дутье характеризует ход доменной печи.

Безынерционным и надежным критерием хода печи является динамика опускания уровня поверхности засыпи шихты. Более надежным критерием количественной и качественной оценки хода печи является интенсивность плавки, т.е. скорость опускания шихты, которую измеряют преобразованием информации о динамике уровня в информацию о скорости схода шихты в четырех секторах сечения печи на базе радиометрического следящего уровнемера. (УРМС) [1].

**Результаты исследований.** Скорость схода шихты измеряется в миллиметрах в минуту, поэтому опрос зондовых лебедок и УРМС удобно производить через 1 мин, тогда скорость схода

$$V_m = \sum_0^i \Delta H_i / i,$$

где  $\Delta H_i$  – разность уровней в соседних опросах, равная  $\Delta H_i = H_i - H_{i-1}$ ;  $i$  – число зафиксированных величин в десятиминутном интервале.

Обычно  $i < 10$ , так как значения  $\Delta H_i$  фиксируются только в том случае, если  $\Delta H_i > 0$  и  $\Delta H_i / \Delta \tau < 50$  мм/с, где — интервал между двумя опросами (измерениями).

Одна из основных задач управления сходом шихты – максимальная и равномерная по сечению печи скорость схода шихты, достигаемая подачей соответствующего количества дутья, превышение которого нарушает ровность схода и приводит к снижению производительности печи.

Основными возмущениями, нарушающими равномерное опускание шихты с максимальной скоростью, являются изменения ситового состава, распределения материалов и другие неподдающиеся оперативному контролю факторы. Таким образом, основная задача автоматического регулирования хода печи – максимальная форсировка скорости схода шихты и предотвращение появления его расстройств.

Основными управляющими воздействиями на ход печи сверху являются изменения распределения материалов на колошнике и состава шихты с тем, чтобы изменить физические свойства шлака и газопроницаемость столба шихты в верхней части доменной печи. Наиболее эффективное регулирующее воздействие снизу на ход печи оказывает изменение количества дутья, которое ограничивается мощностью турбовоздуховки и газопроницаемостью столба шихты. Менее эффективно воздействуют изменения (в ограниченных пределах) температуры и влажности дутья, а при применении комбинированного и обогащенного кислородом дутья – изменения его состава и распределения по фурмам.

Граничным пределом форсировки является нулевая скорость схода шихты, т.е. подвисяние. Поэтому при автоматическом управлении необходимо выдерживать заданную степень приближения к пределу форсировки, т.е. иметь запас устойчивости и не вести доменный процесс на грани зависания шихты. При регулировании следует принимать во внимание, что в тесной взаимосвязи со степенью форсировки находится такой важный технико-экономический показатель доменной плавки, как расход кокса на 1т чугуна, который может быть низким при низкой степени форсировки и наоборот. Выбор оптимальной степени форсировки – задача оптимизации управления, которая подлежит разработке и представляет собой перспективное направление автоматизации технологического процесса доменной плавки [2].

Кроме основного показателя, наиболее полно характеризующего сход шихты, которым является скорость ее опускания, доступная прямому автоматическому контролю, имеются и другие параметры, на которых могут

базироваться системы автоматического управления ходом печи: общий и частные перепады статического давления газа по высоте печи, режим изменения расхода и частота пульсаций давления дутья на фурмах и др.

Промышленное применение пока получили системы автоматического контроля хода печи по частным перепадам (верхнему и нижнему) статического давления газов между определенными участками по высоте печи [3].

Схема системы автоматического контроля хода доменной печи по двум частным перепадам давления газов, (между колошником и распаром — верхний и между распаром и воздушными фурмами — нижний перепады) показана на рис. 1. Перепады давления измеряются сильфонными дифманометрами типа ДС-362 или сдвоенными дифманометрами типа СД-5292. Контроль общего перепада выполняют для проверки показаний частных перепадов давления.

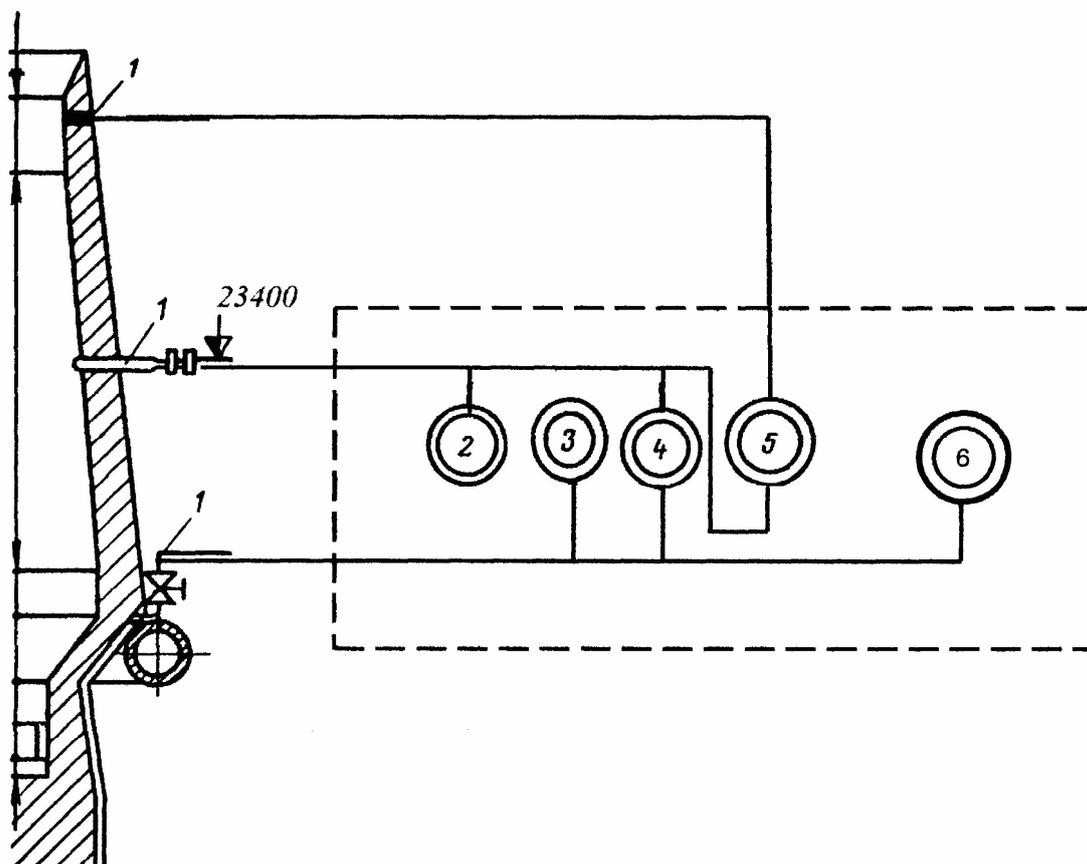


Рис. 1. Схема измерения перепадов давления газов: 1 — устройства для отбора импульсов давления под колошником, из шахты и кольцевой трубы; 2 — прибор для измерения давления в шахте печи; 3 — прибор для измерения давления горячего дутья; 4—6 — приборы, регистрирующие нижний, верхний и общий перепады соответственно

Поскольку перепад статического давления газа является основным импульсом для регулирования хода, то необходимо установить, какие основные факторы определяют его величину. Рассмотрим для этой цели прежде всего возможности расчетного определения перепада давления по высоте печи, а также возможность установления влияния основных факторов на основе анализа имеющихся методов расчета.

Здесь не рассмотрены все методы определения потери напора газа в слое, так как эти вопросы детально описаны в ряде работ по доменному процессу.

В данной работе разобраны только факторы, имеющие значение для регулирования хода доменной печи.

Обычно для определения потерь напора в слое расчетом используют либо эмпирические уравнения, либо уравнение газодинамики:

$$\Delta p = f \frac{w^2 \gamma r}{2g} \cdot \frac{H}{d},$$

где  $\Delta p$  - потеря напора в слое;  $f$  - коэффициент сопротивления, зависящий от числа Рейнольдса;  $w$  - действительные скорости газа в каналах;  $H$  - высота слоя;  $d$  - определяющий размер слоя;  $\gamma r$  - удельный вес газа.

Зависимость  $f$  от числа Рейнольдса можно выразить так:

$$f = \frac{A}{R_e} + B,$$

где  $A$  и  $B$  - постоянные коэффициенты.

Такое выражение коэффициента сопротивления дает возможность после ряда преобразований получить уравнение:

$$\Delta p = \frac{A \omega_{\phi} \gamma v H}{2 g V_{ce} d_{\phi}^2} + \frac{B \omega_{\phi}^2 \gamma H}{2 g V_{ce} d_{\phi}},$$

где  $\omega_{\phi}$  - скорость фильтрации (при пустой шахте);  $V$  - кинематическая вязкость газа;  $V_{ce}$  - объем межкусковых каналов;  $d_{\phi}$  - эквивалентный диаметр межкусковых каналов.

Такое выражение  $\Delta p$  позволяет получить в уравнении два члена - один характеризует ламинарное движение, а другой - турбулентное. При анализе этой формулы применительно к регулированию хода доменной печи необходимо прежде всего исключить влияние высоты слоя, которую можно считать постоянной. Затем с некоторым приближением можно для конкретного случая регулирования считать постоянным  $u$  и  $v$ . Следовательно, основными определяющими факторами являются  $\omega_{\phi}$ ,  $V_{ce}$  и  $d_{\phi}$ .

Если допустить, что количество дутья остается неизменным, то и  $\omega_{\phi}$  зависит от  $V_{ce}$  и  $d_{\phi}$ , которые являются основными определяющими факторами. В качестве величины, характеризующей газопроницаемость материала, можно использовать не только  $d_{\phi}$ , но и другие величины. По сравнению со средним, приведенным и эквивалентным диаметрами кусков, использование эквивалентного диаметра межкусковых каналов дает более точные результаты при применении смеси материалов разной крупности. Но этот фактор в свою очередь связан с  $V_{ce}$ , так как

$$d_{\phi} = \frac{4 V_{ce}}{s},$$

где  $s$  - удельная поверхность кусков слоя.

Таким образом, при постоянном количестве дутья перепад давления будет определяться  $V_{ce}$  и  $d_{\phi}$ , т. е. в конечном счете гранулометрическим составом шихтовых материалов. Однако этот состав меняется бесконтрольно, и пока трудно говорить о его непрерывном контроле и тем более регулировании. В то же время для условий регулирования, когда крайне малое изменение  $\Delta p$  имеет решающее значение, даже незначительное изменение крупности может привести к зависанию шихты.

Даже зная гранулометрический состав шихты, трудно расчетом определить перепад давления, ибо он зависит от скорости движения шихты, распределения материалов по сечению печи, а коэффициент гидравлического сопротивления шихты зависит от скорости газа:

$$\Delta p = K H \frac{T_{cl}}{P_{cl}} \omega_o^n,$$

где  $K$  - коэффициент, не зависящий от скорости и давления газа;  $T_{cl}$ ,  $P_{cl}$  - температура и давление газа соответственно;  $\omega_o$  - скорость газа на полное сечение;  $n$  - постоянный показатель степени.

Для изучения влияния разных технологических факторов на перепады статического давления газа применительно к задаче регулирования хода доменной печи объемом 1386 м<sup>3</sup> были проанализированы изменения  $\Delta p$ , вызываемые основными факторами регулирования.

Принцип действия системы автоматического контроля хода печи по частным перепадам основан на том, что прохождение газов от фурменной зоны к колошнику сопровождается закономерным понижением их давления.

Ухудшение газопроницаемости шихты на каком-либо участке по высоте печи, предшествующее замедлению опускания и подвисанию шихты, немедленно характеризуется повышением давления газов под этим участком и понижением давления над ним.

**Логическое программируемое управление.** По информации о перепадах контроллер изменением параметров температурно-дутьевого режима, загрузки вида подачи и распределения шихты на колошнике, влияющих на верхний и нижний перепады, управляет скоростью опускания шихты, устраняет ее зависания и поддерживает ровный сход шихты.

При управлении принято следующее логическое распределение регулирующих воздействий: при изменении нижнего перепада осуществляется воздействие на параметры температурно-дутьевого режима, а при изменении верхнего перепада регулируется давление под колошником. При уменьшении расхода дутья снижается интенсивность доменной плавки и поэтому количество дутья убавляют лишь при упорных зависаниях шихты. Температуру и влажность дутья регулируют с учетом теплового состояния печи, т. е. снижение температуры и повышение влажности возможно только при удовлетворительном тепловом состоянии печи. Регулирующее воздействие в виде снижения температуры дутья или равносильного повышения его влажности сказывается в уменьшении объема горновых газов и их «подпирающе-го» действия на опускающуюся шихту.

Основным управляющим устройством служит логический микропроцессорный программируемый контроллер семейства SIMATIC S5 фирмы «ALLEN BRADLEY» (рис.2). Программируемый логический контроллер семейства SIMATIC S5 является средством управления с широким функциональным спектром и используется для решения различных задач автоматизации управления и регулирования. Контроллер обладает способностью к расширению функций за счет увеличения числа модулей ввода/вывода, программ, связи оператора с процессом, визуального отображения и диагностики [4].

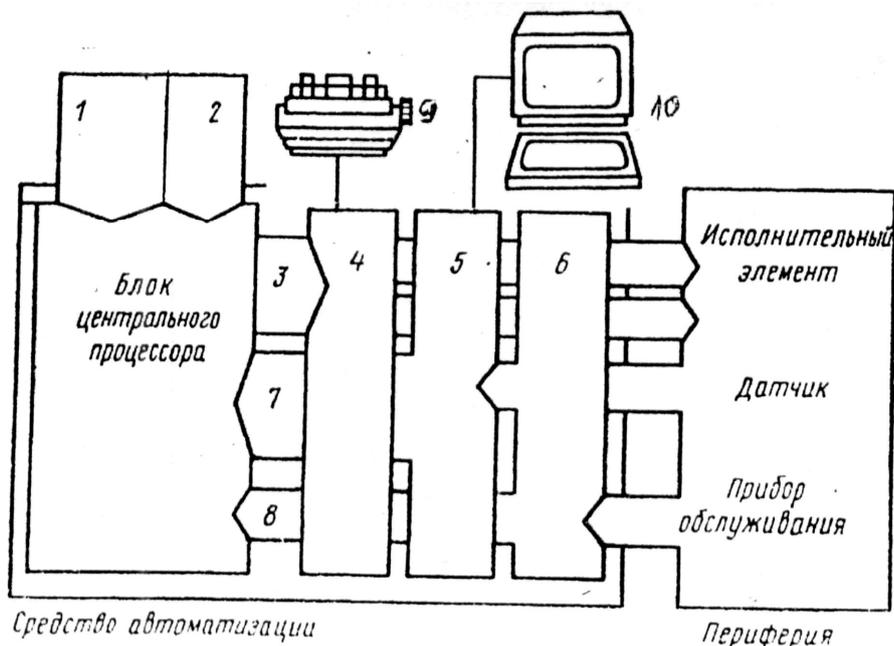


Рис. 2. Структурная схема микропроцессорного логического программируемого контроллера: 1 - ввод общей задачи управления доменным процессом; 2 - ввод специальной задачи управления сходом шихты; 3 - уставка; 4 - цифроаналоговый модуль входа; 7 - уставка заданного значения; 8 - уставка действительного значения; 9 - ЦПУ; 10 - компьютер для ввода программы и получения видео кадра

Возможности многопроцессорной обработки данных и решения сложных задач управления и регулирования возрастают с применением персональных компьютеров в составе программируемых контроллеров или центральных процессоров, работающих параллельно с мини - ЭВМ. SIMATIC S5 - техническое средство широкого применения, конфигурация и функции которого адаптируются к условиям управления конкретным технологическим процессом доменной плавки.

SIMATIC S5 состоит из блоков электрического питания, центрального процессора и цифровых модулей ввода/вывода; при необходимости обработки аналоговых значений напряжения, тока или сопротивления SIMATIC S5 обеспечивается дополнительными аналоговыми модулями ввода / вывода.

Дополнительные (интеллектуальные) модули применяются для решения специальных задач: считывание быстрых серий импульсов, регистрация и обработка путевых приращений, измерение скорости и времени, ПИД - регулирование, т.е. дополняют возможности блока центрального процессора.

Разработка программы пользователя (STEP5) осуществляется в четырех видах представления на дисплее: контактный план КОР - программирование путем планирования графических символов прохождения тока (Kontaktplan); функциональный план FUP - программирование путем мнемотехнических сокращений функциональных обозначений (Funktionsplan); список AWL - сокращенных команд (Anweisungsliste); GRAPH5- программирование методом графических символов (Ablaufplan).

Пакеты математического обеспечения COM предназначены для инициализации работы отдельных элементов, поиска неисправностей интеллектуальных модулей и процессоров связи.

Блок центрального процессора реализует команды STEP5 - проблемно-ориентированного языка программирования; модули EPROM, EEPROM и RAM используются в качестве запоминающих. Для программирования SIMATIC S5 применяются программирующие устройства оперативного и универсального назначения.

На уровне локальных систем автоматизации SIMATIC S5 обеспечивает связь оператора с процессом и наблюдение за ним с помощью системы COROS2000 (Control Room System). Печатающие устройства, клавиатура, устройства отображения данных, мониторы и ЭВМ подключаются посредством процессоров связи.

Разработаны и применяются (рис.3) системы автоматического регулирования хода доменных печей по двум частным перепадам статического давления газов: где В1, В2, В3, В4 - воздухонагреватели; ВХД - воздухопровод холодного дутья; ВГД - то же, горячего; ТВМ - турбовоздуходувная машина. Доменная печь 1 оснащена отборными устройствами для отбора импульсов давления 3 из воздухопровода 2 горячего дутья, середины шахты 5 и на колошнике 7. Перепады давления измеряются дифференциальными манометрами 4 и 6. Уровень шихты измеряется уровнемером 9 с зондом 8. Колошниковый газ отводится газопроводом 10 и очищается от пыли в пылеуловителе 11 и скруббере высокого давления 13. Давление газа регулируется дроссельной группой 14.

Контроллер 12 воспринимает сигналы токовых датчиков, встроенных в дифференциальные манометры и уровнемер шихты и выдает импульсы на включение соответствующих автоматических регуляторов, в зависимости от соотношения величин верхнего и нижнего перепадов давления.

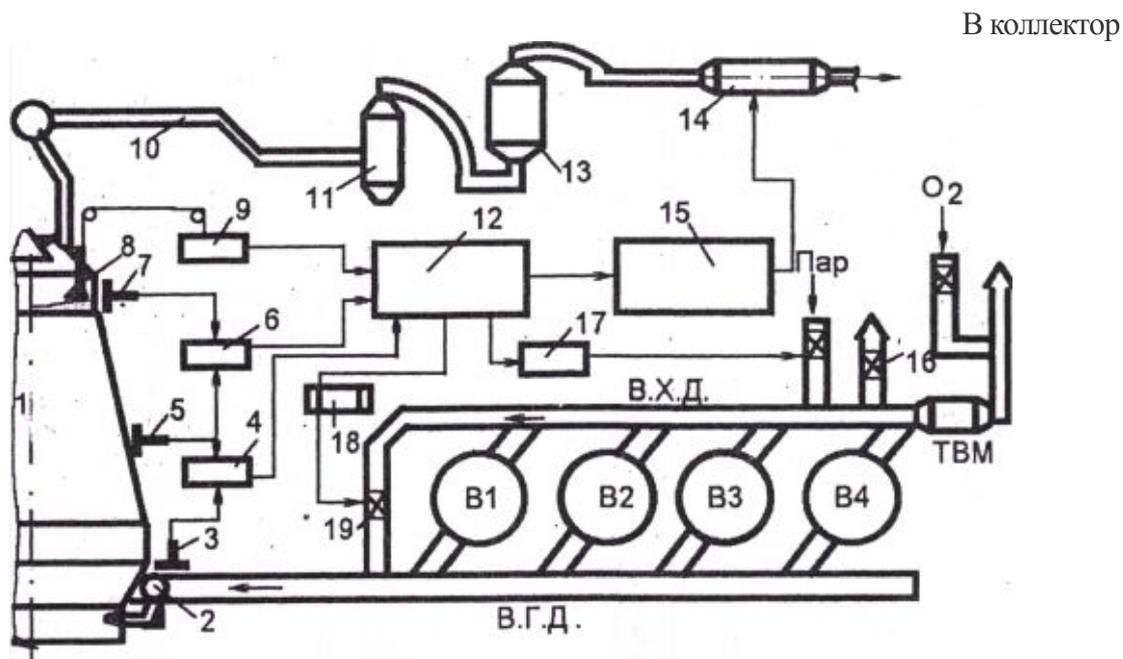


Рис. 3. Схема системы автоматического регулирования хода доменной печи по частным перепадам статического давления газов

Если увеличился нижний и уменьшился верхний, включается регулятор 15 давления газов на колошнике, т. е. дроссельная группа пережмает выход газа из доменной печи и на шихту создается сверху осаживающее давление. Если через выдержку времени в одну минуту не получается сигнала из уровнемера об осадке шихты и зависание ее продолжается, то включаются в работу автоматические регуляторы температуры 18 и увлажнения 17 горячего дутья. Снижение температуры и повышение влажности горячего дутья уменьшает объем горновых газов и их подпирающее действие на шихту. Если же и эти регулирующие воздействия не приводят к осадке зависшей шихты, то открывается клапан 16 "Снорт" и дутье частично выпускается в атмосферу, что должно осадить шихту. [3].

Изменение перепадов давления позволяет определить место по высоте печи, на котором произошло изменение газопроницаемости шихты и предпринять эффективное регулирующее снизу или сверху воздействие. Например, при увеличении верхнего и уменьшении нижнего перепадов участок шихты с плохой газопроницаемостью возник в верхней части. Следовательно, необходимо назначить регулирующее воздействие сверху, например, поменять систему загрузки таким образом, чтобы мелкий агломерат не попадал в осевую и периферийную зоны, а размещался между ними.

### Выводы

Применение современных микро- процессорных логических программируемых контроллеров в системах автоматического управления доменным процессом является важным фактором научно-технического прогресса в металлургии чугуна.

Регулирование схода шихты (хода печи) по частным перепадам статического давления газов является эффективным управляющим воздействием для обеспечения ровного хода, увеличения производительности и улучшения качества чугуна.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Узлюк В.Н. Смоляк В.А. Автоматический радиоизотопный контроль уровня шихты в доменной печи «Техніка», Киев, 1970, С. 135.
2. Смоляк В.А. Щербицкий Б.В. «Автоматизация и оптимизация процесса доменной плавки». М., «Металлургия», 1974, С. 152.
3. Смоляк В.А. Логинов В.И. «Автоматическое регулирование хода доменной печи по перепадам статического давления газов». Бюллетень ЦИННЧМ, 1960 г. С.4-7.
4. Смоляк В.А. «Новые принципы модернизированного управления доменным процессом». Науковий журнал. «Математичне моделювання», №2 (19), 2008, С. 61-66.

