

## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ОБЖИГА МАТЕРИАЛОВ ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧАХ

З.Г. Салихов, А.А. Бекаревич

(Московский государственный институт стали и сплавов)

Предложен оригинальный подход к построению компьютерной системы автоматического управления (САУ) процессом обжига материалов в трубчатых вращающихся печах с использованием датчиков инфракрасного излучения. Представлены функциональная и структурная схемы САУ. Рассмотрен принцип функционирования САУ.

Процессы обжига материалов в трубчатых вращающихся печах являются непрерывными процессами с распределенными параметрами, проблема управления которыми требует применения САУ по различным каналам воздействия, обеспечивающих удовлетворение желаемых целевых функций таких, как повышение качества готового продукта, сроков службы оборудования и минимизация энергозатрат.

Для решения этой проблемы разработана и запатентована САУ процессами обжига материалов во вращающихся печах (рис. 1), реализованная в виде комплекса программно-аппаратных средств. Структурная схема САУ процессом обжига материалов в трубчатых вращающихся печах представлена на рис. 2.

Аппаратная часть включает:

- пульт оператора, выполненный на базе IBM PC совместимой ЭВМ;
- контроллер KOMSTAR, включающий "корзину" с процессорным модулем, аналоговыми и дискретными модулями ввода/вывода, общее число которых (на сегодняшний день порядка 350 ед.), может быть увеличено при дальнейшей модернизации САУ, благодаря модульной конструкции контроллера);
- ИК-сканер, включающий модули сканирования ИК-излучения и дальнейшей оцифровки аналогового сигнала;
- пирометр, установленный на горячей головке печи;
- щит релейной автоматики и ручного кнопочного управления, осуществляющий коммутацию силовых линий вспомогательного оборудования сигналами фазы-контроллера и позволяющий вести ручное кнопочное управление в случае отключения пульта управления;
- промышленная видеокамера, установленная на горячей головке печи, обеспечивающая непрерывный контроль за гранулометрическим составом обожженного материала с места оператора;
- датчики давления, расхода и температуры.

Пульт управления, лицевые панели контроллера, а также щит релейной автоматики и ручного кнопочного управления установлены в операторной на АРМ оператора.

Программная часть включает: оболочку системы под Windows 9x\NT\2000\XP, обеспечивающую работу аппаратной части и управление процессом по специально разработанным математическим моделям и алгоритмам, а также отображение параметров процесса на цветной мнемосхеме на дисплее оператора.

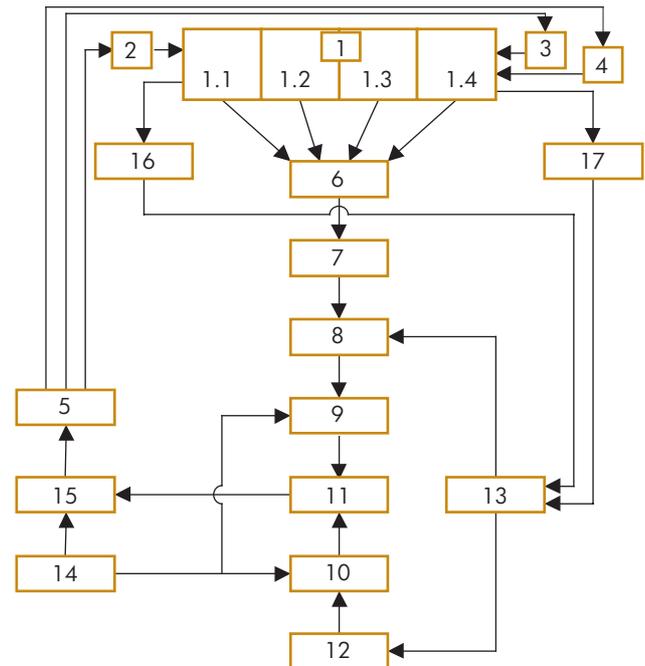


Рис. 1. Функциональная схема системы управления процессом обжига материала в трубчатой вращающейся печи, где: 1 – корпус вращающейся печи, последовательно по длине, условно, разделенный на зоны: 1.1 – охлаждения и разгрузки, 1.2 – спекания, 1.3 – декорбанизации, 1.4 – загрузки и сушки материала; 2 – регулятор подачи топлива в зоны разгрузки и спекания; 3 – регулятор загрузки шихты в печь; 4 – регулятор разряжения внутри корпуса печи; 5 – блоки памяти и выдачи уставок, подключенные к каждому из регуляторов; 6 – сканер инфракрасного излучения поверхности цилиндрического корпуса печи; 7 – блок преобразования сканированных сигналов сканера в температуру наружной поверхности корпуса печи; 8 – блок термодинамической математической модели идентификации температуры наружной поверхности корпуса в температуру материала внутри него; 9 – блок выдачи идентифицированной температуры материала в функции длины корпуса печи; 10 – блок выдачи прогнозированной или желаемой температуры материала в функции длины корпуса печи; 11 – блок синхронного сравнения желаемого и идентифицированного или измеренного значения температуры материала в корпусе печи; 12 – блок математической модели расчета желаемой температуры обжига материала по длине корпуса печи; 13 – блок ввода исходных данных для моделирования; 14 – блок синхронизации сигналов; 15 – блок переключения сигнала отклонения температуры материала от желаемой величины в каждой зоне корпуса печи (блок расчета значений уставок на соответствующие регуляторы по величине отклонения измеренной температуры материала от заданной); 16 и 17 – блоки датчиков температуры материала и печных газов в зоне разгрузки/загрузки соответственно.

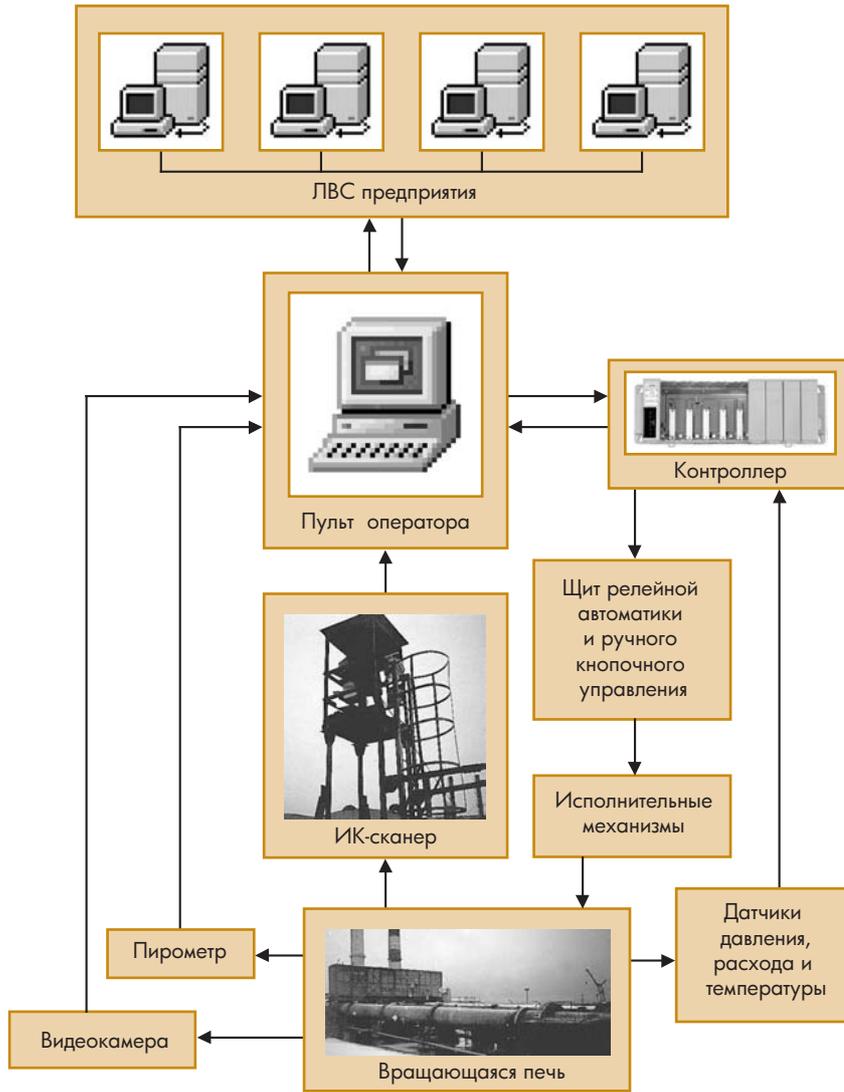


Рис. 2. Структурная схема САУ процессом обжига материалов в трубчатых вращающихся печах

Блоки 5 и 8-15 (рис. 1) технически реализованы пультом оператора (рис. 2). Блоки 6, 7 составляют комплекс ИК-сканирования. Блоки 16, 17 реализованы пирометрами, установленными на горячем и холодном концах корпуса вращающейся печи. Блоки 2-5 реализованы контроллером. Датчики давления, расхода и температуры, шкаф релейной автоматики, ручного кнопочного управления и ИМ (рис. 2) на функциональной схеме САУ (рис. 1) не изображены.

Работа САУ осуществляется следующим образом: на пульте оператора вводятся исходные данные, включая критерии управления и значения температуры материала, измеренные пирометрами, установленными на концах корпуса вращающейся печи. С помощью специально разработанной математической модели, адекватной процессу, по специально разработанному авторами алгоритму осуществляется оперативный расчет желаемой (оптимальной) температуры материала как функции длины печи, удовлетворяющей выбранным критериям оптимальности управления с учетом ограничений.

В то же время ведется оперативный непрерывный контроль температуры материала как функции длины корпуса печи, который осуществляется следующим образом. С помощью ИК-сканера непрерывно сканируется инфракрасное излучение поверхности печи по всей ее длине, которое в вычислительном комплексе автоматически преобразовывается в температуру поверхности печи по всей ее длине. Затем, с помощью специально разработанной авторами термодинамической модели идентификации, с учетом температур материала и печных газов в зонах загрузки/разгрузки, измеряемых пирометрами, осуществляется идентификация (перерасчет) температуры наружной поверхности печи как функции длины корпуса печи в температуру материала [1]. Рассчитанная желаемая температура материала как функция длины корпуса печи синхронно по зонам сравнивается с идентифицированной температурой материала, т. е. синхронно по зонам осуществляется расчет абсолютной ошибки отклонения (расхождений) по формуле:

$$DT_i = TS^*_i - TS_i \quad (1)$$

где  $i$  – номер зоны по длине печи,  $TS^*_i$  – средняя желаемая температура материала в рассматриваемой зоне,  $TS_i$  – средняя идентифицированная температура материала в рассматриваемой зоне.

После этого, согласно специально разработанному алгоритму, рассчитываются значения уставок для соответствующих регуляторов. Ошибка отклонения, полученная в результате синхронного сравнения значений желаемой и идентифицированной температур материала как функции длины печи, синхронно по зонам согласно разработанному алгоритму переключения (выбора) регулятора поступает на соответствующий регулятор 2, 3 или 4 (рис. 1). Здесь в соответствии с заданным законом регулирования управляющего воздействия, выбранным по известной методологии ТАР (ПИ или ПИД, причем все регуляторы могут функционировать по одним и тем же законам), рассчитывается корректирующее воздействие. Например, в случае выбора ПИ закона, корректирующее воздействие рассчитывается по формуле:

$$\Delta G_j = K1_j \cdot DT_i + K2_j \cdot \int_0^t DT_i \cdot dt, \quad (2)$$

где  $j$  – номер выбранного регулятора (2, 3 или 4),  $K1_j$  и  $K2_j$  – соответствующие настроечные коэффициенты пропорциональной и интегральной составляющих ПИ алгоритма [2].

С выхода регулятора на соответствующий ИМ подается значение управляющего воздействия, рассчитанного по формуле:

$$\dot{Y}_j = G_j + \Delta G_j \quad (3)$$

где  $Y_j$  – значение управляющего воздействия с соответствующего регулятора  $j$ ,  $G_j$  – значение уставки на регулятор  $j$ .

Следует отметить, что на первом после запуска цикле работы системы, до того как были получены первые значения средней идентифицированной температуры материала по зонам как функции длины корпуса печи, значение ошибки отклонения по зонам как функции длины корпуса печи равно нулю. Следовательно, значения управляющих воздействий, выдаваемых регуляторами 2, 3 и 4 (рис. 1) на соответствующие ИМ, равны соответствующим значениям уставок, хранящимся в памяти блока 5 (рис. 1) и подаваемым им на соответствующие регуляторы.

Все алгоритмы, упомянутые выше, составляются с учетом физико-химического состава обжигаемого сырья и особенностей вращающейся печи, а также на основе анализа априорной информации, полученной путем действий по экспериментальному исследованию аналогичных процессов и их математическому моделированию.

Помимо перечисленных функций, представленная САУ ведет непрерывный контроль и регулирование таких параметров процесса обжига, как:

- расход топливного газа и шлама;
- давление топливного газа в трубопроводе;
- разрежение на холодном конце печи;
- гранулометрический состав получаемого продукта.

Цифровые и графические значения всех этих параметров отображаются в виде цветной мнемосхемы на дисплее и с заданной дискретностью архивируются в архиве данных пульта оператора. Наблюдение за ходом процесса, а при необходимости и управление, может осуществляться дистанционно – через ЛВС предприятия (только при наличии паролевого доступа).

Промышленные испытания разработанной САУ, проводившиеся на ОАО "НИИЦЕМЕН" (Москва), показали, что система одновременно позволяет обес-

печить оперативное формирование и поддержание необходимых или желаемых (оптимальных) значений температуры материала во всех зонах печи в функции текущих входных величин (влажности материала и т. д.) и заданных критериев управления. Кроме того, САУ по специально разработанным алгоритмам позволяет вести оперативный непрерывный контроль температуры материала во всех зонах, а также обеспечивает поддержание оптимальных температурных режимов перерабатываемого материала и элементов печи (корпуса, футеровки, обмазки) с помощью соответствующих регулирующих устройств, осуществляющих воздействия по всей длине печи.

На сегодняшний день заключен договор о внедрении системы на ОАО "Подольск-Цемен". Пуск системы ожидается в мае-июне 2003 г.

#### Выводы

Разработана компьютерная САУ процессами обжига материалов в трубчатых вращающихся печах, которая:

- обеспечивает высокую точность поддержания без резких перепадов амплитуд температур желаемого (оптимального) распределения температурного профиля по всей длине печи с отклонением от заданного не более  $+15^\circ\text{C}$ ;
- увеличивает срок службы элементов печи (корпуса и футеровки) на 15...25 сут;
- позволяет получить желаемое качество готовой продукции;
- обеспечивает выявление и предотвращение на ранних стадиях возникновения опасных ситуаций, приводящих к заплвлению материала, прожигу корпуса или изменения аэродинамических газовых потоков.

#### Список литературы

1. Салихов З.Г., Бекаревич А.А. Разработка бесконтактного метода автоматического контроля температуры обжигаемого материала по всей длине вращающейся печи // Цветная металлургия. №6. 2002. С.67-73.
2. Салихов З.Г., Шубладзе А.М., Гуляев С.В., Черепова Т.И. Самодиагностирующиеся автоматически настраиваемые ПИ- и ПИД- системы управления // Цветные металлы. №12. 2001. С.114-117.

*Салихов Зуфар Гарифуллинович – академик РАИИ, д-р техн. наук, зав. каф. "Компьютерные информационные и управляющие системы автоматики", Бекаревич Антон Андреевич – аспирант Московского государственного института стали и сплавов (технического университета).*

*Контактный телефон (095) 237-22-20. E-mail: kiusa@mail.ru*

#### НОВОСТИ

##### Компания Ford Motor использует решения от IBM и Dassault Systemes

IBM и Dassault Systemes были выбраны компанией Ford Motor в качестве поставщиков и интеграторов современных решений по управлению жизненным циклом продукта, включая программные пакеты CATIA® V5 и ENOVIA® VPM™. Эти решения будут применяться для конструирования и производства автомобилей

компании Ford в мировом масштабе. Заключенный долгосрочный контракт предусматривает установку программных пакетов CATIA V5 и ENOVIA VPM, разработанных компанией Dassault Systemes, а также предоставление консультаций по процессам и методологии внедрения специалистов IBM и Dassault Systemes.

Компании Land Rover и Volvo Cars, входящие в состав Ford Motor Company, в настоящее время уже используют решения IBM для управления жизненным циклом продуктов. Ford планирует интегрировать эти решения в свою системную среду СЗР (PLM) следующего поколения в масштабе всей компании.