

## РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ВЫСОКОТОЧНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

*Жуков С.Ф., д.т.н., проф., Вазинский А.И., асп.  
Донецкий национальный технический университет  
ул. Артема, 58, 83001, г. Донецк, Украина  
E-mail: sfg@quantum.com.ua*

Представлены результаты математического моделирования и построения системы управления дозированием сыпучих материалов. Использование математического описания процесса дозирования и прогнозирования состава продукции позволило уменьшить влияние возмущающих воздействий на систему. Интеграция в систему управления модуля оценки технического состояния решила задачу перехода к обслуживанию по фактическому состоянию. Кроме того, модуль оценки технического состояния позволил обеспечить непрерывное дозирование материалов.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, система управления, цифровой регулятор.

**Введение.** Рассматриваемый объект автоматизации – электротехнический комплекс подготовки шихтовых материалов. Для решения задачи получения готовой продукции заданного качества и в необходимом для металлургического производства количестве необходима разработка аналитико-экспериментальной модели дозирования материалов.

**Анализ предыдущих исследований.** При дозировании компонентов аглошихты используют один из трех возможных алгоритмов: 1) индивидуальное (независимое) дозирование каждого компонента; 2) дозирование компонентов по общей массе шихты; 3) дозирование компонентов по трудно дозируемому компоненту. Каждый из алгоритмов выбирается в зависимости от технологии и конкретной ситуации.

Рассмотрим более подробно алгоритмы. Система автоматического индивидуального массового дозирования используется, когда стабильны физические и химические свойства компонентов. Основным недостатком – неустойчивая работа при изменении значения общей массы шихты и "подвисания" материала в одном из бункеров.

Система автоматического дозирования по общей массе шихты, используется тогда, когда необходим контроль и правильная работа отделений дозирования и спекания. В этой системе используется значение общей массы шихты, которое поступает из отделения спекания. Основное преимущество системы: обеспечивает заданную массу шихты с заданным химическим составом. Недостаток: система неадекватно работает при "подвисании" материала в одном из бункеров. Система автоматического дозирования по трудно дозируемому компоненту.

Система автоматического дозирования по трудно дозируемому компоненту решает проблему "подвисания" материала в одном из бункеров. Непрерывность процесса подготовки материалов требует обеспечения безаварийной работы систем управления весовым дозированием и транспортировки материалов. Эти системы характеризуются применением в своем составе механических вращающихся узлов, преобразователей частоты, электродвигателей. Внедрение автоматических систем управления подготовкой материалов должно сопровождаться применением алгоритмов диагностики оборудования.

**Цель работы.** Реализация системы управления на базе современного программного, аппаратного обеспечения и математической модели весового дозирования.

**Материал и результаты исследования.** С целью обеспечения перехода к техническому обслуживанию оборудования по фактическому состоянию необходимо расширение аппаратно-программного комплекса за счет модуля оценки технического состояния оборудования. Реализация модуля также позволит решить задачу непрерывного дозирования за счет безаварийной работы комплекса.

В подготовке шихтовых материалов решающее значение имеет обеспечение непрерывного и точного весового дозирования. На рис. 1 представлен комплекс весового дозирования

Передаточная функция дозатора представлена как

$$W_p(p) = ke^{-p\tau}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент передачи;  $\tau$  – время запаздывания.

Частью комплекса весового дозирования является бункер. Этот объект является астатическим, его передаточную функцию представим выражением

$$W_{ia}(p) = \frac{k_{ia}}{\delta} e^{-p\tau_{ia}}. \quad (2)$$

Исходя из выражений (1) и (2), можно представить математическую модель ленточного весоизмерителя и бункера (рис. 2) как последовательное включение интегрирующего и запаздывающего звена.

Опишем цифровую обработку математической модели, представленной на рис. 2.

Предположим, что до внесения возмущения по заданию, объект управления находится в состоянии динамического равновесия при  $x_m = x_3$ . Внесенное возмущение вызовет изменение регулируемой величины от заданного значения, которое можно описать дифференциальным уравнением

$$T_{об} x' + x = k_{об} y. \quad (3)$$

В выражении (3)  $x = x_m - x_3$  – отклонение заданного значения регулируемой величины от текущего (величина, противоположная по знаку сигналу ошибки).

Решим уравнение (3) относительно производной:

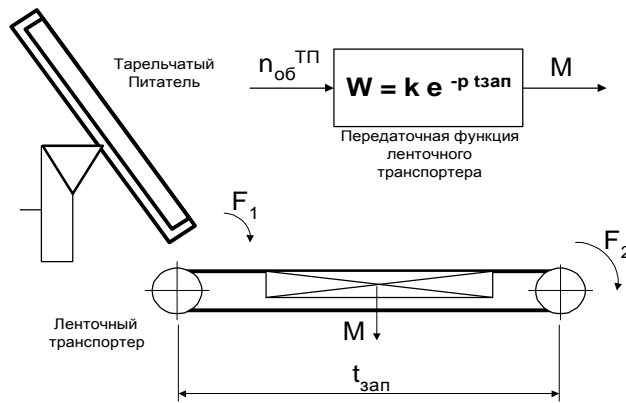


Рисунок 1 – Комплекс весового дозирования сыпучих материалов

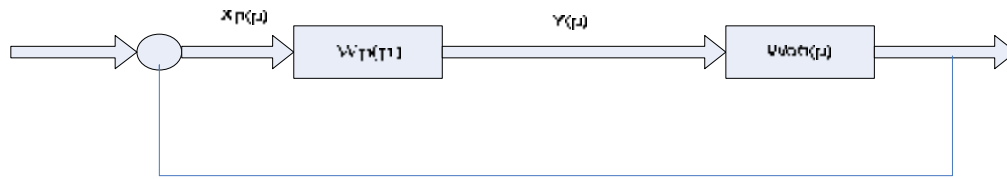


Рисунок 2 – Математическое описание ленточного весоизмерителя и бункера

$$x' = \frac{k_{об} y - x}{T_{об}} \quad (4)$$

Для того, чтобы вычислить значение производной (4), используя технические средства автоматизации, представим выражение (4) в виде:

$$x' \approx \frac{\Delta x}{\Delta \tau} = \frac{x_2 - x_1}{\Delta} \quad (5)$$

В выражении (5)  $x_2$  – значение величины  $x$  в конце расчета,  $x_1$  – значение величины  $x$  в начале расчета,  $\Delta$  – временной шаг расчета. Приравнявая правые части уравнений (4) и (5), получим

$$x_2 = x_1 + \frac{\Delta}{T_{ia}} [k_{ia} y - x_1] \quad (6)$$

Начальное значение координаты  $x$  в начале первого шага расчета принимается равным нулю. Чтобы воспользоваться уравнением (6) для расчета последующих значений координаты  $x$ , необходимо после каждого шага расчета выполнить вычисление

$$x_2 = x_1 \quad (7)$$

Когда статический объект управления обладает запаздыванием, для расчета кривой разгона поступают следующим образом. Сначала вычисляют число

$$N_1 = \frac{t_{ia}}{\Delta} \quad (8)$$

Затем это число округляют до ближайшего целого значения и набирают массив  $(N+1)$  нулевых значений координаты  $x$ . После этого выражение для расчета кривой разгона объекта управления примет вид

$$x(N+2) = x(N+1) + \frac{\Delta}{T_{об}} [k_{об} y - x(N+1)] \quad (9)$$

Следует отметить, что запись значения координаты  $x$  проводится с нулевого момента времени, то есть каждый раз записывается координата  $x_1$ . Каж-

дое последующее вычисление по выражению (9) производится после процедуры присваивания:

$$x_1 = x_2; x_2 = x_3; \dots, x_{n+1} = x_{n+2} \quad (10)$$

ПИД-регулятор описывается дифференциальным уравнением

$$y(\tau) = K_p \left( x(\tau) + \frac{1}{T_e} \int_0^{\tau} x(\tau) d\tau + \dot{\Delta}_a x'(\tau) \right) \quad (11)$$

После дифференцирования обеих частей уравнения (11) получим

$$y'(\tau) = K_p x'(\tau) + K_p \frac{1}{\dot{\Delta}_e} x(\tau) + K_p \dot{\Delta}_a x'(\tau) \quad (12)$$

В соответствии с вышеизложенной методикой цифровой обработки математической модели дозирования, производится расчет управляющего воздействия. Выражение (13) представляет собой управляющее воздействие регулятора.

Из него следует, что для вычисления управляющего воздействия ПИД-регулятора необходимо располагать тремя значениями регулируемой координаты.

$$\frac{y(N+1) - y(N)}{\Delta} = K_p \frac{x(N+1) - x(N)}{\Delta} + \frac{K_p}{T_u} x(\tau) + K_p T_d \frac{x(N+1) - 2x(N) + x(N-1)}{\Delta^2} \quad (13)$$

$$y(N+1) = y(N) + K_p x(N+1) - x(N) + \Delta \frac{K_p}{T_u} x(\tau) + K_p T_d \frac{x(N+1) - 2x(N) + x(N-1)}{\Delta}$$

Из него следует, что для вычисления управляющего воздействия ПИД-регулятора необходимо располагать тремя значениями регулируемой координаты. Управляющее воздействие можно вычислить и по двум значениям регулируемой координаты. Последнее возможно, если управляющее воздействие ПИД-регулятора рассматривать как сумму И-и ПД-составляющих (14):

$$y^{nd}(N+1) = y^u(N+1) + y^{nd}(N+1),$$

где

$$y^u(N+1) = y^u(N) + \frac{K_p}{T_u} X(N)\Delta; \quad (14)$$

$$y^{nd}(N+1) = K_p X(N+1) + K_p T_d (X(N+1) - X(N)) / \Delta.$$

Для расчета переходных процессов, вызванных скачкообразным возмущением по заданию, совокупность уравнений (14) приобретает вид:

$$y^u(N+1) = y^u(N) - \frac{K_p}{T_u} X(N)\Delta;$$

$$y^{nd}(N+1) = -K_p X(N+1) - K_p T_d (X(N+1) - X(N)) / \Delta \quad (15)$$

В начальный момент времени, так же как и для ПД-регулятора, управляющее воздействие регулятора равно  $y(1)=0$ . При расчете переходных процессов, вызванных скачкообразным возмущением по заданию управляющее воздействие ПИД-регулятора рассчитывается как сумма таких составляющих:

$$y(N+1) = y(N) + K_p' \Delta (D - x(N)),$$

$$y(N+1) = K_p (D - x(N)) - K_p T_n (x(N+1) - x(N)) / \Delta \quad (16)$$

При возмущении по заданию начальное управляющее воздействие равно:

$$y(1) = K_p D + K_p T_d D / \Delta \quad (17)$$

где  $D = x_s^k(\tau) - x_s^h(\tau)$ .

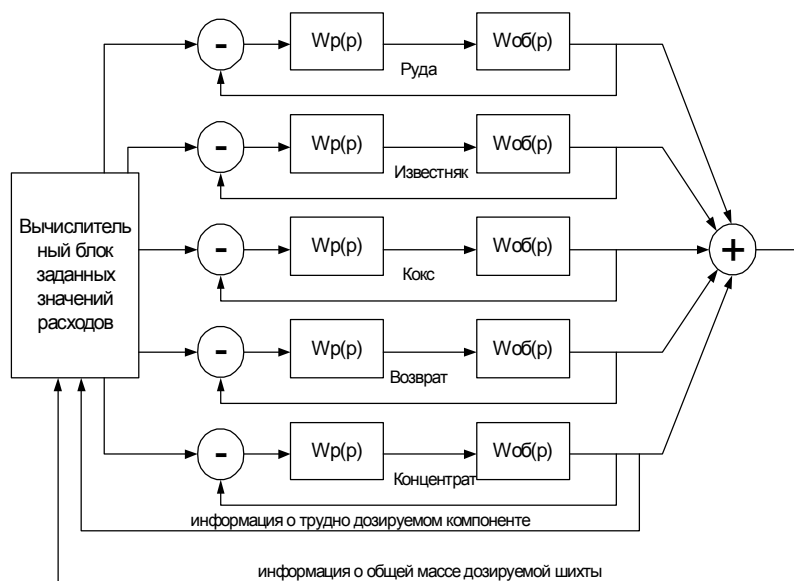


Рисунок 3 – Структурная схема комплексной модели дозирования

Изменение химического состава исходных материалов требует применения поточных анализаторов шихтовых материалов. Данные поточного анализатора используем в модуле прогнозирования химического состава агломерата. Математическое обеспечение этой подсистемы базируется на решении уравнений материального баланса шихты, баланса основности, материального баланса [1]. Подобное решение позволяет уменьшить влияние возмущающих воздействий на процесс дозирования.

Для обеспечения непрерывного дозирования материалов и бесперебойного снабжения доменного производства исходными материалами, необходимо обеспечить безаварийную работу всего оборудования комплекса весодозирования. С этой целью применяется стратегия проведения планово-предупредительных ремонтов (ППР). Уменьшение затрат, прогнозирование сроков работы оборудования требует изменение существующей концепции на проведение технического обслуживания по фактическому состоянию [2].

Модуль оценки технического состояния оборудования призван выполнять следующие функции [3]:

- контроль текущего состояния оборудования;
- определение возможности дальнейшей эксплуатации;
- подготовка информации о необходимых регламентных и ремонтных работах.

Математические модели объектов диагностики можно анализировать лишь численными методами. В действительности же поведение реальных объектов характеризуется нелинейностью, для технических систем свойственно появление нештатных ситуаций. В таких случаях используются знания экспертов. Аппаратно-программной реализацией знаний экспертов является применение экспертных систем на базе алгоритмических эмуляционных нейронных сетей [4].

Реализация системы управления проведена с использованием современных средств автоматизации технологических процессов (язык высокого уровня SCL и пакет визуализации Wonderware InTouch 8.0). Интерфейс доступа ко всем параметрам протекания технологического процесса и состояния оборудования реализован с использованием технологии систем управления базами данных и Web. Структурная схема пр ссссс схема представлена на рис.4.

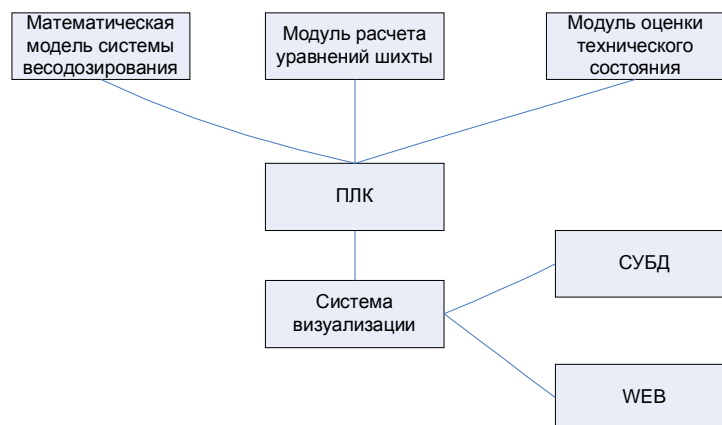


Рисунок 4 – Аппаратно-программный комплекс дозирования материалов

**Выводы.** В ходе создания аппаратно-программного комплекса системы управления дозированием сыпучих материалов были решены следующие задачи:

- разработана математическая модель весового дозирования;
- реализовано прогнозирование составляющих химического состава агломерата;
- подготовлена база для внедрения концепции проведения планово-предупредительных ремонтов оборудования по фактическому состоянию;
- разработана система представления данных о ходе технологического процесса и состоянии оборудования в SCADA и Web.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков С.Ф. Разработка комплекса аппаратных и программных средств автоматического управления агломерационным производством / С.Ф. Жуков, А.И. Вазинский // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія

«Електротехніка і енергетика», вип. 9(158).– Донецьк: ДонДТУ, 2009.–с. 95-100.

2. Седуш В.Я. Изменения в ремонтных структурах металлургических предприятий / В.Я. Седуш, В.А. Сидоров // Металлургическая и горнорудная промышленность.– 2009 № 6,– С. 76–78.

3. Жуков С.Ф. Автоматизация процессов управления и диагностирования электротехнических комплексов металлургического производства / С.Ф. Жуков, А.И. Вазинский // Технічна електродинаміка: тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – 2010. – Ч. 1. – С. 181–184.

4. Баршдорф Д. Нейронные сети и нечеткая логика. Новые концепции для технической диагностики неисправностей // Приборы и системы управления 1996.– №2.– С. 48-53.

Стаття надійшла 01.02.2011 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Чорним О.П.

## РІШЕННЯ В ОБЛАСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО ВИСОКОТОЧНОГО ДОЗУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

*Жуков С.Ф., д.т.н., проф., Вазинський А.І., асп.  
Донецький національний технічний університет  
вул. Артема, 58, 83001, м. Донецьк, Україна  
E-mail: sfg@quantum.com.ua*

Представлені результати математичного моделювання та побудови системи управління дозуванням сипких матеріалів. Використання математичного опису процесу дозування і прогнозування складу продукції дозволило зменшити вплив збурюючих впливів на систему. Інтеграція в систему управління модуля оцінки технічного стану вирішила завдання переходу до обслуговування по фактичному стану. Крім того, модуль оцінки технічного стану дозволив забезпечити безперервне дозування матеріалів.

**Ключові слова:** математичне моделювання, система керування, цифровий регулятор.

## SOLUTIONS FOR PROVIDING CONTINUOUS PRECISION DOSING OF BULK MATERIALS

*Zhukov S., Doc. Sc. (Tech.), Prof., Vazhinsky A., post-grad.  
Donetsk National Technical University  
vul. Artema, 58, 83001, Donetsk, Ukraine  
E-mail: sfg@quantum.com.ua*

The paper presents the results of mathematical modeling and building control systems feeding of bulk materials. Using a mathematical description of the process of dosing and predicting the composition of products has reduced the influence of disturbing effects on the system. Integration of the management system module evaluates the technical condition solved the problem of transition to a service on the actual state. In addition, the technical condition assessment module allowed continued dosing of materials.

**Key words:** mathematical modelling, control system, digital regulator.