

На правах рукописи

Р.В. Ковалев
(Ковалев)

КОВАЛЕВ Роман Валерьевич
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПНЕВМОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ
АЭРИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами
и производствами (промышленность)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2010

Работа выполнена в Московском автомобильно-дорожном государственном
техническом университете (МАДИ)

Научный руководитель - Доктор технических наук, профессор
Илюхин Андрей Владимирович
Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
Либенко Александр Владимирович
Кандидат технических наук, профессор
Тихонов Анатолий Федорович

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук
Комплексный научно-исследовательский институт РАН (КНИИ РАН), г.
Грозный

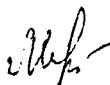
Защита состоится « 02 » 07 2010 г. в 10 часов на заседании
диссертационного совета

Д 212.126.05 в Московском автомобильно-дорожном государственном
техническом университете (МАДИ) , по адресу: г. Москва, Ленинградский
просп., д.64, ауд.42

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института

Автореферат разослан « 31 » 05 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Михайлова Н.В

2010А
20029

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Для современного развития ведущих отраслей промышленности, в первую очередь металлургической, характерно широкое внедрение в технологию производства пневматического транспорта. В условиях переработки и потребления больших объемов сыпучих материалов этот вид транспорта обеспечивает совершенствование процессов производства на предприятиях, а на их внешних коммуникациях используется как межотраслевой поточный транспорт, технологически связывающий в единые комплексы предприятия различных отраслей промышленности. Практикой подтверждена эффективность применения этого вида транспорта в металлургии, на долю которого приходится до 30% объема всех транспортных работ.

Основные преимущества пневмотранспорта: сокращение производственной площади для внутризаводского транспорта в 4—5 раз по сравнению с механическими видами транспорта, уменьшение трудоемкости работ, простота сборки и разборки, исключение применения специальных устройств для соединения горизонтальных и вертикальных транспортных путей, безопасность и гигиеничность.

На металлургических заводах вопросы обеспечения оптимального функционирования трубопроводного пневматического транспорта с малыми удельными энергетическими затратами неразрывно связаны с организацией автоматизированных систем управления пневмотранспортными потоками. Для построения таких систем необходимо рассмотреть вопросы моделирования движения пневмотранспортного потока на основе анализа динамики процесса.

Несмотря на существующий определенный опыт реализации автоматизированных систем управления пневмотранспортированием, все они, фактически, направлены на выполнение дискретных, жестко алгоритмизированных функций активирования отдельных элементов пневмотранспортной установки.

Использование средств вычислительной техники позволяет вскрыть новые возможности организации процессов пневмотранспортирования сыпучих материалов металлургического производства, а оптимизация столь многофакторного технологического процесса возможна только на основе методов и средств автоматического управления.

РОС. НАЦИОНАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА
С.-Петербург
03 200/шт 804

Специфической особенностью процессов пневматического транспортирования сыпучих материалов металлургического производства, не обладающих свойством самовыравнивания, является их высокая динамика. Это не позволяет эффективно поддерживать режим устойчивого пневмотранспортирования аэросмеси с помощью традиционных систем управления, приводя к аварийным режимам завала трубопровода.

Для повышения надежности и достижения максимальной эффективности процессов пневмотранспортирования необходимо использовать новые методы и средства автоматизации, ориентируясь на разработку быстродействующих систем управления.

Поэтому решение задачи управления случайными процессами устойчивого пневмотранспортирования сыпучих материалов с использованием оптимальных по быстродействию автоматических систем регулирования является актуальным.

Цель работы. Оптимальное автоматизированное управление процессами устойчивого пневмотранспортирования сыпучих материалов металлургического производства для повышения их эффективности и исключения аварийных режимов завала трубопровода при случайном характере изменения параметров аэросмеси.

Для достижения поставленной цели:

- выполнен анализ литературных источников по проблеме автоматизированного управления процессами пневмотранспортирования сыпучих материалов металлургического производства, методов и средств их автоматизации;
- разработана интегрированная по параметрам и приближенная к особенностям случайных процессов в трубопроводе модель пневмотранспортной установки;
- выбран метод оптимального управления процессами устойчивого пневмотранспортирования аэросмеси, структурно и функционально адаптированный к условиям технологического процесса;
- определено влияние изменения параметров настройки автоматической системы на качественные характеристики процесса пневмотранспортирования;
- разработана двухконтурная система регулирования пневмотранспортной установкой существенно повышающая равномерность потока аэросмеси.
- решена задача повышения динамической точности системы на основе применения алгоритмов адаптивного управления, которые позволяют обеспечить

требуемое качество динамических процессов при случайном характере изменения параметров аэросмеси.

- выполнена экспериментальная проверка полученных результатов.

Методы исследований. Результаты диссертационной работы получены на основе комплексного использования методов теории автоматического управления, теории вероятности и математической статистики, оптимальных систем и математического моделирования.

Научная новизна. Основным научным результатом является определение неисследованных закономерностей оптимального автоматического управления процессами непрерывного устойчивого пневмотранспортирования сыпучих материалов металлургического производства.

Разработана модель пневмотранспортной установки, исходя из принципов построения и методов описания систем, принятых в теории автоматического управления.

На основе принципа максимума решена оптимальная задача управления потоком аэросмеси пневмосистемы по максимуму быстродействия перехода системы из одного установившегося состояния в другое, определены алгоритмы и вид процессов управления.

Определено влияние изменения параметров настройки автоматической системы на качественные характеристики процесса пневмотранспортирования.

Решена задача повышения динамической точности автоматической системы на основе применения алгоритмов адаптивного управления, которые позволяют обеспечить требуемое качество динамических процессов при существенном изменении параметров аэросмеси.

Разработана двухконтурная самонастраивающаяся система регулирования пневмотранспортной установкой, настраиваемая по параметрам процесса на существенное повышение равномерности потока аэросмеси, степени стабилизации его плотности и исключении аварийных режимов завала пневмопровода.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Результаты анализа технологии и технических средств обеспечения непрерывного пневмотранспортирования сыпучих материалов металлургического производства, позволившие выработать научный подход и методические основы разработки систем автоматического управления транспортированием на основе современных методов и средств автоматизации.

2. Модель пневмотранспортной установки, интегрированной по параметрам процесса транспортирования.

3. Математическая модель самонастраивающейся оптимальной по быстродействию системы стабилизации режима устойчивого транспортирования, алгоритмы и вид процессов управления.

4. Методы расчета и оптимизации настроечных параметров систем автоматического управления процессами пневмотранспортирования сыпучих материалов металлургического производства в плотной фазе.

Практическая ценность. Практические результаты исследований пневмотранспортирования сыпучих материалов металлургического производства заключаются в том, что они являются базой для научно-обоснованного выбора и настройки структур систем автоматического оптимального управления, позволяющих решать задачи исключения нештатных ситуаций и повышения технико-экономических показателей пневмотранспортных установок. Предварительный расчет показывает, что возможный экономический эффект от внедрения результатов исследований может составить 5-7%.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на международной конференции «Интерстроймех-2009», 2009г.; «Интерстроймех-2010», 2010г. (г.Москва), научно-методических конференциях МАДИ (ГТУ) (Москва 2008-2009 г.г.) и кафедре автоматизации производственных процессов Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ).

Публикации. Основные научные результаты диссертации изложены в 8 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, приложения, списка использованной литературы, насчитывающего 77 наименований, и содержит 163 страниц, 57 рисунков, 3 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность и сформулированы основные цели и задачи исследования.

Первая глава диссертации посвящена анализу работ, связанных с вопросами совершенствования технологии и автоматизации процессов

пневмотранспортирования сыпучих материалов металлургического производства, определяя тем самым актуальность основных направлений диссертационных исследований.

Эффективное пневмотранспортирование связано в первую очередь с организацией оптимального режима устойчивого транспортирования, при котором исключается возможность выпадения частиц из потока. Колебания нагрузки в пневмоветвях вызывают переходные процессы, которые не обладают свойством самовыравнивания и при отсутствии быстродействующих систем регулирования приводят к неустойчивому режиму транспортирования и закупорке трубопровода. Существующие модели статистической оптимизации в виде систем дифференциальных уравнений, описывающих движение полидисперсных сред с учетом различия физических, аэродинамических и других свойств частиц дисперсной фазы, мало пригодны для описания пневмотранспортных установок как объектов регулирования. Требуется иной подход к математическому описанию процессов, учитывающий особенности модельных представлений и методов расчета, принятых в теории автоматического управления.

Наиболее информативным управляемым параметром с точки зрения физики процесса является плотность аэросмеси, позволяющая судить о расходе транспортируемого материала, а также о концентрации дисперсной фазы. Интегральный характер этого показателя проявляется в том, что изменение нагрузки или скорости несущей среды незамедлительно сказывается на его величине. Эффективное пневмотранспортирование связано, в первую очередь, с организацией оптимального режима устойчивого транспортирования, при котором уменьшается возможность выпадения частиц из потока.

Функционирование пневмотранспортных установок обеспечивается, как правило, системами обслуживающей автоматики, включающим в себя простейшие системы контроля и стабилизации отдельных параметров. Ряд систем автоматического регулирования параметров пневмопотока строится по классическому принципу управления по отклонению, что не может обеспечить удовлетворительное качество процессов с высоким быстродействием. В более сложных системах автоматического управления и оптимизации не учитывается случайный характер изменения режимных параметров аэросмеси, что делает весьма ненадежными результаты, полученные при их использовании.

Можно констатировать, что существуют объективные предпосылки для создания оптимальных автоматических систем управления случайными

процессами пневмотранспортирования сыпучих материалов металлургического производства на основе современных методов и средств автоматизации.

Во второй главе рассмотрены используемые в настоящее время математические модели статистической оптимизации процессов пневмотранспортирования сыпучих материалов металлургического производства с целью выявления соответствия их структуры поставленным задачам исследования.

Анализ существующих моделей пневмотранспорта показывает, что исследователями в основном используются два принципа формирования моделей двухфазных потоков. В первом случае основные зависимости, полученные при движении одиночных частиц в ламинарном или турбулентном потоках жидкости, распространяются на движение дисперсной фазы. При этом движение несущей фазы описывается уравнениями, аналогичными уравнениям движения жидкости. Во втором случае, изучение динамики двухфазных потоков характеризуется двумя основными моделями: гомогенной, в которой двухфазный поток представляется в виде некоторой квазинепрерывной среды с осредненными характеристиками и гомогенной, в которой каждый компонент потока рассматривается самостоятельно. Наиболее распространены гетерогенные модели в частотных производных с осредненными значениями переменных. Используют пространственный метод осреднения, сущность которого заключается в локальном осреднении переменных для точек в пределах области, малой по сравнению со всей системой, но содержащей их достаточное количество. Система дифференциальных уравнений, описывающих движение полидисперсных сыпучих материалов в пневмотранспортном трубопроводе, решается на ЭВМ и позволяет рассчитывать траекторию и скорость частицы в любой момент времени.

Процессы пневмотранспортирования сыпучих материалов металлургического производства относятся к классу многосвязных с большим числом переменных. Формирование расчетной модели системы, учитывающей все физические особенности процесса пневмотранспортирования, может привести к большой и практически неприемлемой ее размерности. Вынужденное усечение числа входных и выходных переменных приведет к заведомо неполной априорной информации о структуре и связях объекта: имеет место сложный характер зависимости выходных переменных от входных воздействий. Сформированные на описанных принципах модели не пригодны для оперативного управления процессами пневмотранспортирования сыпучих материалов. Требуется иной подход к формированию модели процесса, учитывающей, в первую очередь,

принципы и методы расчетов и проектирования, принятые в теории автоматического управления

Выбор методов автоматизации процессов пневмотранспортирования должен опираться на модель, отображающую интегральные представления о перемещении неразрывного потока в плотной фазе. Необходимо связать между собой основные характеристики дисперсной среды (расход, плотность, массу перемещаемого материала) и аэродинамические силы, создаваемые воздушной машиной.

Представление пневмотранспортной установки, как объекта управления, позволяет во многом упростить ее математическую модель, интегрально отобразив в ее структуре и коэффициентах только те основные параметры установки, которые влияют на ее динамические свойства.

Выбор методов автоматизации процессов пневмотранспортирования должен опираться на модель, отображающую интегральные представления о перемещении неразрывного потока в плотной фазе при минимальных допустимых скоростях воздуха и максимально допустимых концентрациях аэросмеси, выделив только управляемую и управляющую переменные. Выделение всех неуправляемых переменных как возмущающих воздействий делает необязательным их детальное математическое описание, особенно для структур, функционирующих по принципу компенсации отклонения с помощью отрицательной обратной связи. В этом случае можно ограничиться достаточно простой моделью, которая, однако, позволяет выявить наиболее существенные закономерности, свойственные процессам управления в системах пневмотранспортирования.

Регулирование по расходу материала в системе на основе информации о плотности аэросмеси и скорости несущей среды позволяет обеспечить более высокую точность регулирования в установившемся режиме, применить оптимальный вид управляющего воздействия с помощью изменения расхода несущей среды и, как следствие, получить более широкий диапазон регулирования и возможность использовать в качестве регулирующих органов стандартные устройства общепромышленного назначения. При этом необходимо учитывать случайный характер изменения параметров аэросмеси, не учет которого может сделать весьма ненадежными результаты, полученные при использовании детерминированных моделей в системе управления.

В главе 3 определены основные характеристики случайных функций, необходимых при решении линейной задачи статистической динамики и задачи математического описания пневмосистемы.

Математическое описание пневмосистемы как инерционного объекта автоматического управления позволяет определить влияние производительности загрузочного устройства $X(t)$ на характеристики установившегося случайного процесса изменения удельной плотности аэросмеси $\rho(t)$, (корреляционная функция $R_\rho(\tau)$, спектральная плотность $S_\rho(\omega)$ и дисперсия D_ρ):

$$S_\rho(\omega) = \frac{D_x}{\pi} \frac{\alpha}{d^2 + \omega^2}; D_\rho = \frac{D_x K^2}{1 + \alpha T} = \frac{D_x K^2 T_1}{T_1 + T};$$

$$R_\rho(\tau) = \frac{D_x K^2 d}{1 - \alpha^2 T^2} \left[\frac{e^{-d\tau}}{\alpha} - T e^{-\frac{\tau}{T}} \right] = \frac{D_x K^2 T_1}{T_1^2 - T^2} \left[T_1 e^{-\frac{\tau}{T_1}} - T e^{-\frac{\tau}{T}} \right]; \quad (1)$$

$$\rho_\rho(\tau) = \frac{R_\rho(\tau)}{D_\rho} = \frac{1}{T_1 - T} \left[T_1 e^{-\frac{\tau}{T_1}} - T e^{-\frac{\tau}{T}} \right],$$

где $\alpha = 1/T_1$; $\rho_\rho(\tau)$ – нормированная корреляционная функция.

Взаимокорреляционная функция на выходе пневмосистемы, принимает вид:

$$R_{x\rho}(\tau) = \frac{D_x K}{T} \left[\int_0^\tau e^{-\frac{\tau-\theta}{T_1}} e^{-\frac{\theta}{T}} d\theta + \int_\tau^\infty e^{-\frac{\theta-\tau}{T_1}} e^{-\frac{\theta}{T}} d\theta \right] = \frac{D_x K T_1 T}{T_1 - T} \left(\frac{1}{T} e^{-\frac{\tau}{T_1}} - \frac{2}{T_1 + T} e^{-\frac{\tau}{T}} \right). \quad (2)$$

Решение задач статистической динамики требует знания вероятностных характеристик случайных процессов на входе и выходе изучаемого объекта.

Если $X(t)$ и $\rho(t)$ – стационарные случайные функции на входе и выходе линейной динамической системы с передаточной функцией $W(p)$, то их связывает интегральное уравнение Винера-Хопфа:

$$R_{x\rho}(\tau) = \int_0^\infty R_x(\tau - \theta) \cdot K(\theta) d\theta, \tau \geq 0 \quad (3)$$

Задача математического описания пневмосистемы сводится к решению уравнения (3) относительно импульсной переходной функции объекта $K(\theta)$.

Корреляционные функции в (3) могут быть аппроксимированы суммой экспонент. Этот метод математической идентификации объектов управления основан на известном математическом методе неопределенных коэффициентов.

Аппроксимация экспериментальных корреляционных функций дает:

$$R_x(\tau) = \sum_{r=1}^k B_r e^{-\beta_r |\tau|}; \quad (4)$$

$$R_{x\rho}(\tau) = \sum_{j=1}^m D_j e^{-d_j \tau}, \tau \geq 0 \quad (5)$$

Импульсная переходная функция объекта ищется в виде:

$$K(\theta) = \sum_{i=1}^n K_i e^{-\alpha_i \theta} + A \delta(\theta) \quad (6)$$

Для определения неизвестных величин n , α_i , K_i , A при подстановке (4,5) в (3), получим:

$$\sum_{j=1}^m D_j e^{-\alpha_j \tau} = \int_0^{\infty} \left[A \delta(\theta) + \sum_{i=1}^n K_i e^{-\alpha_i \theta} \right] \left[\sum_{r=1}^R B_r e^{-b_r | \tau - \theta} \right] d\theta \quad \tau \geq 0 \quad (7)$$

Интегрируя (7), получим:

$$\sum_{j=1}^m D_j e^{-\alpha_j \tau} = \sum_{i=1}^n K_i \left[\sum_{r=1}^R \left(-\frac{2b_r B_r}{\alpha_i^2 - b_r^2} \right) \right] e^{-\alpha_i \tau} + \sum_{r=1}^R B_r \left[\sum_{i=1}^n \frac{K_i}{\alpha_i - b_r} + A \right] e^{-b_r \tau}; \quad (8)$$

$\tau \geq 0$.

Для того чтобы равенство (8) выполнялось тождественно для всех $\tau \geq 0$, должны быть соблюдены условия:

1. Правая часть (8) должна содержать m экспонент с показателями d_j и коэффициентами D_j .

2. Коэффициенты при $e^{-\alpha_j \tau}$ при $j > m$ должны обращаться в нуль.

3. Коэффициенты при $e^{-b_r \tau}$ должны обращаться в нуль.

Выполнение этих условий позволяет найти все неизвестные величины в выражении (8), что полностью определяет импульсную функцию $K(\theta)$. По найденной импульсной переходной функции определяется переходная и передаточная функции объекта:

$$h(t) = \int_0^t K(\theta) d\theta = A + \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{\alpha_i} (1 - e^{-\alpha_i t}); \quad W(p) = \int_0^{\infty} K(t) e^{-pt} dt = A + \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{\alpha_i + p}. \quad (9)$$

Решение задачи передачи и обработки случайных сигналов на выходе пневмосистемы связано с квантованием сигналов по амплитуде с выбором числа уровней N и шага квантования сигнала по амплитуде g_j .

В качестве наблюдаемых координат взяты амплитудные выборки в равноотстоящие моменты времени:

$$S(t) = \{S(t_k)\}$$

Согласно теореме Котельникова, любую функцию $S(t)$ с ограниченным в полосе $0 < \Delta f < f_{\max}$ спектром можно разложить в ряд по функциям вида $\sin x/x$

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} S(t_0 + t_k) \frac{\sin 2\pi \cdot \Delta f_{\max} (t - t_0 - t_k)}{2\pi \cdot \Delta f_{\max} (t - t_0 - t_k)} \quad (10)$$

где: $S(t_0+t_k)$ – коэффициенты разложения, представляющие собой мгновенные значения функции $S(t)$ в дискретные моменты времени (t_0+t_k) , причем: $t_k = K\Delta t$ ($K=0, \pm 1, \pm 2, \dots$); $\Delta t = 1/2\Delta f_{\max}$

Таким образом, сигнал с ограниченным спектром определяется последовательностью амплитуд, измеренных через $1/2\Delta f_{\max}$ с.

При небольшом числе уровней квантования существуют способы определения оптимального шага квантования, исходя из минимума дисперсии ошибки квантования:

$$D = \sum_{j=1}^N \int_{x_j}^{x_{j+1}} (x-x'_j)^2 p(x) dx \quad (11)$$

где: x – входной сигнал; $P(x)$ – дифференциальный закон распределения; x'_j – выходной уровень квантованного сигнала; x_j – порог квантования входного сигнала.

Для случаев, когда входная величина имеет нормальный закон распределения, условия квантования сигналов можно представить в следующем виде:

$$x_j = jq; \quad \phi(\xi_j) > \phi(\xi_{j-1}) + \frac{q}{2\sigma_x} \phi(\xi_j) + \frac{q}{2\sigma_x} \phi(\xi_{j-1}), \quad (12)$$

где: $\xi_j = \frac{jq - m_x}{\sigma_x}$; m_x – математическое ожидание входной величины;

σ_x – среднеквадратическое отклонение входной величины;

$$\phi(\xi_j) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\xi_j} e^{-\frac{1}{2}\xi^2} d\xi - \text{интеграл вероятности Гаусса};$$

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\xi^2} - \text{дифференциальная плотность вероятностей.}$$

В четвертой главе на основе принципа максимума решена оптимальная задача управления потоком аэросмеси пневмосистемы по максимуму быстродействия перехода системы из одного состояния в другое.

Специфической особенностью процессов пневматического транспортирования сыпучих материалов является их высокая динамика. Необходима разработка оптимальных по быстродействию автоматических систем регулирования.

Управление перемещением заслонки вентиляторной установки производится с помощью трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, описываемого уравнениями:

$$I \frac{d\omega}{dt} = M_d - M_c; \quad \frac{d\varphi}{dt} = \omega \quad \varphi = \varphi_n \quad (13)$$

Требуется перевести объект из положения $\varphi = 0$, $\omega = 0$ при $t = 0$ в положение $\varphi = \varphi_n$, $\omega = 0$ за минимальное время при заданном ограничении величины напряжения, приложенного к двигателю, т. е. при $0 \leq U \leq U_{max} = U_n$, что соответствует ограничению критического момента $0 \leq M_c \leq M_{k,max} = M_{kn}$.

В первом приближении уравнение механической характеристики асинхронного двигателя выражаются следующими зависимостями:

$$M_d = \frac{2M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_R}{s}} = \frac{2M_K s s_R}{s^2 + s_R^2}; \quad s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = 1 - \frac{\omega}{\omega_0}, \quad (14)$$

где s, s_K, ω, ω_K - скольжение и обороты двигателя.

Введя переменную, определяющую направление вращения двигателя $\chi = \pm 1$, перепишем (14):

$$J\omega_0 \frac{d\Omega}{dt} = x \frac{M_K a(1-x\Omega)}{(1-x\Omega)^2 + b}, \quad \text{где} \quad a = 2S_K, b = S_K^2, \Omega = \frac{\omega}{\omega_0}. \quad (15)$$

На основании принципа максимума можно заключить, что для осуществления оптимального управления необходимо, чтобы $M_K = M_{kn}$ в течение всего процесса управления, а параметр χ менял знак не более одного раза. Так как алгоритм управления качественно определен, то время переключения чередования фаз будет:

$$\tau_1 = \frac{1}{a\beta} \left[(\Omega_1 - \Omega_0) - \frac{\Omega_1^2 - \Omega_0^2}{2} - b \ln \frac{1 - \Omega_1}{1 - \Omega_0} \right], \quad (16)$$

$$\tau = \frac{1}{a\beta} \left[(\Omega_1 - \Omega_0) - \frac{\Omega_1^2 - \Omega_0^2}{2} - b \ln \frac{1 - \Omega_1}{1 - \Omega_0} \right] + \tau_1. \quad (17)$$

В выражениях (16) и (17) соответствуют: Ω_0 - начальной скорости $\Omega_{нач} = 0$; Ω_1 - максимальной скорости в конце интервала разгона; Ω_2 - конечной скорости $\Omega_{кон} = 0$.

Для синтеза замкнутой системы оптимального управления необходимо рассчитать коэффициенты обратных связей.

На основании полученных данных, используя уравнения:

$$\begin{aligned} z_{ex} - \gamma_1 U_{oc.n} - \gamma_2 y_n &= 0, \\ z_{ex} - \gamma_1 U_{oc.1} - \gamma_2 y_1 &= 0 \end{aligned} \quad (18)$$

рассчитываются коэффициенты обратных связей γ_1, γ_2 (рис.1), строится блок-схема системы (рис.2) и оптимальный переходный процесс в системе (рис.3).

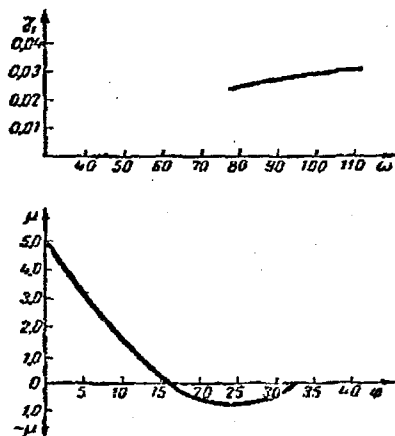


Рис.1. Зависимость коэффициентов обратных связей от координат системы

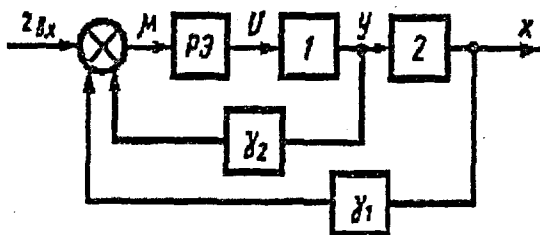


Рис.2. Блок-схема оптимальной системы:

РЭ - релейный элемент, 1-объект, 2-исполнительный механизм

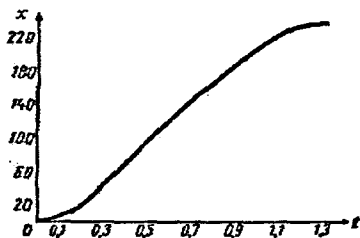


Рис.3. Оптимальный переходный процесс

Способность объекта управления адаптироваться к условиям среды и функционировать при изменении степени ее неопределенности являются важными условиями эффективного управления.

Решение задачи повышения динамической точности пневмосистемы на основе применения алгоритмов адаптивного управления, позволяет обеспечить требуемое качество динамических процессов при существенном изменении параметров пневмосистемы.

Разработана самонастраивающаяся система управления потоком аэросмеси пневмосистемы, которая позволяет обеспечить устойчивость и высокие качественно – точностные показатели процессов управления в широких пределах изменения характеристик объекта управления (рис.4).

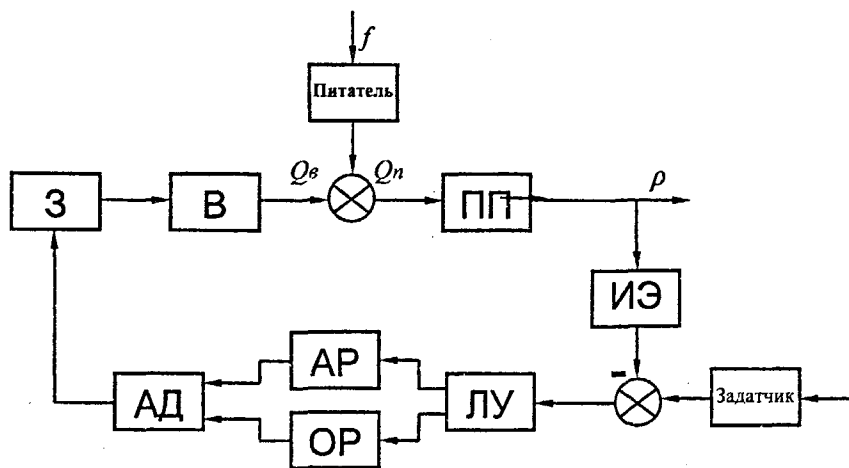


Рис.4 . Двухконтурная система оптимизации процесса транспортирования сыпучих материалов:

ПП – пневмопровод; В – вентиляторная установка; ИЭ – измерительный элемент;
 ЛУ – логическое устройство; Р – ПИ-автоматический регулятор; ОР – оптимальный регулятор; АД – асинхронный двигатель; З-заслонка;

Глава 5 посвящена моделированию адаптивной системы управления процессами пневмотранспортирования сыпучих материалов металлургического производства

Поскольку случайной функцией на входе пневмосистемы является изменение во времени производительности загрузочного устройства $X(t)$, а выходной

функцией- изменение во времени удельной плотности аэросмеси $\rho_a(t)$, задача моделирования пневмосистемы сводилась к отысканию корреляционной функции производительности, взаимной корреляционной функции между производительностью и удельной плотности аэросмеси и нахождению передаточной функции системы $W(p)$. Экспериментально подтверждена эффективность использования полученных теоретическим путем аналитических соотношений для получения передаточной функции пневмосистемы. Моделирование замкнутой системы управления транспортированием аэросмеси в пневмопроводе показало эффективность предложенного принципа оптимального управления.

Так как погрешности барабанного и шнекового питателей, выполняющих роль загрузочных устройств пневмосистемы, незначительно отличаются одна от другой, то, исходя из минимума среднеквадратичного отклонения, наилучшими для целей подачи сыпучих материалов являются именно эти питатели.

Результаты испытаний питателей показали, что при одних и тех же значениях производительности применение аэрационного питателя вызывает погрешность в 2 раза превышающую погрешность барабанного и шнекового питателей, что делает применение его в пневмосистемах малоэффективным.

Результаты моделирования показали, что компенсационная самонастраивающаяся система с успехом решает задачу автоматической настройки регулирующей части при изменении динамических свойств объекта.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Наиболее перспективными в части надежности, снижения стоимости, гибкости приспособления к меняющимся условиям производства обладают системы оптимального управления процессами пневмотранспортирования сыпучих материалов металлургического производства, структурно и функционально адаптированные к условиям технологического процесса.

2. Колебания нагрузки в пневмоветвях вызывают динамические процессы, которые не обладают свойством самовыравнивания и приводят к неустойчивому режиму транспортирования и завалам трубопровода. Эффективное пневмотранспортирование связано в первую очередь с организацией режима устойчивого транспортирования, за счет использования разработанных оптимальных по быстродействию автоматических систем управления, исключающих возможность выпадения частиц из потока.

3. Разработана, учитывающая случайный характер процессов в трубопроводе, модель пневмотранспортной установки, исходя из принципов построения и методов описания систем, принятых в теории автоматического управления;

4. Для осуществления наиболее эффективного безаварийного режима функционирования пневмотранспортной установки разработана оптимальная по быстродействию система стабилизации режима устойчивого транспортирования, определены алгоритмы и вид процессов управления.

5. На основании принципа максимума решена оптимальная задача управления потоком аэросмеси пневмосистемы по максимуму быстродействия перехода системы из одного состояния в другое

6. Решена задача повышения динамической точности системы на основе применения алгоритмов адаптивного управления, которые позволяют обеспечить требуемое качество динамических процессов при изменении параметров аэросмеси.

7. Определена длина постоянного интервала процесса пневмотранспортирования, за который его случайные изменения будут достаточно полно характеризовать качество процесса.

8. Решена задача выбора числа уровней квантования N и шага квантования выходного сигнала пневмосистемы по амплитуде g , исходя из того, чтобы, с одной стороны, квантованный по амплитуде сигнал как можно меньше отличался от сигнала на выходе, а с другой стороны - число уровней квантования было бы наименьшим.

9. Проведена экспериментальная проверка полученных результатов, которая подтвердила эффективность разработанных систем оптимального управления процессами устойчивого пневмотранспортирования сыпучих материалов металлургического производства.

Основные результаты диссертации изложены в работах

1. Ковалев Р.В., Воробьев В.А., Марсов В.И. Оптимизация автоматических систем управления дозированием сыпучих материалов // Строительный вестник Российской инженерной академии: труды секции «Строительство». Вып.10, – М.: РИА, 2009, с. 269-270.

2. Ковалев Р.В., Гематудинов Р.А., Воробьев В.А. Особенности управления процессами пневмотранспортирования тонкодисперсных материалов // Строительный вестник Российской инженерной академии: труды секции «Строительство». Вып.10, – М.: РИА, 2009, с. 267-268.

3. Ковалев Р.В., Минцаев М.Ш. Обобщенная математическая модель пневмотранспортной установки // Вестник МАДИ (ГТУ), вып.4(15), 2008, с.123-125.

4. Ковалев Р.В. Особенности загрузочных устройств пневмотранспорта // Аналитико-имитационное моделирование и ситуационное управление в промышленности, строительстве и образовании // Сб. науч. тр. – М.: МАДИ(ГТУ), 2008, с. 60-63.

5. Ковалев Р.В., Гематудинов Р.А. Методы и средства измерения параметров пневмотранспортных потоков // Теория и практика автоматизированного управления // Сб. науч. тр. – М.: МАДИ(ГТУ), 2008, с. 110-113.

6. Ковалев Р.В., Марсов В.И., Гематудинов Р.А. Выбор метода автоматизации пневмотранспортирования // Механизация строительства. Вып.12, – М.:, 2009, с. 16-17.

7. Ковалев Р.В. Обоснование систем управления процессом пневмотранспортирования // Новые технологии производства и управления в промышленности и образовании // Сб. науч. тр. – М.: МАДИ(ГТУ), 2009, с. 78-81.

8. Ковалев Р.В. Дозаторы-интеграторы расхода сыпучих материалов непрерывного действия // Тезисы докладов «Интерстроймех - 2009». – М.: МАДИ(ГТУ), 2009, с. 48.

Подписано в печать 27 мая 2010 г

Формат 60x84x16

Усл.печ.л. 1,0

Тираж 100 экз.

Заказ № 22

“Техполиграфцентр”

Россия, 125319, г. Москва, ул. Усиевича, д. 8 а.

Тел. : 8-916-191-08-51

Тел./факс (499) 152-17-71

20107
20099

10-20099