

УДК 681.3

СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОМ ПНЕВМОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

Марсов В.И., Колбасин А.М., Шухин В.В., Тан Цзюня

Опыт применения автоматизированного управления пневмотранспортными установками при дозировании сыпучих материалов связан в первую очередь со схемами обслуживающей автоматики, функционированием простейших систем контроля и стабилизации отдельных параметров. Однако, практически отсутствуют сложные системы автоматического управления и оптимизации режимных параметров пневмотранспортных установок. Специфической особенностью процессов пневматической транспортировки сыпучих материалов с использованием различных средств загрузки является их быстротечность, не позволяющая эффективно поддерживать режим устойчивого транспортирования аэросмеси с помощью традиционных систем регулирования по отклонению. Необходима разработка систем управления с высоким быстродействием.

Выбор методов автоматизации процессов пневмотранспортирования сыпучих материалов должен опираться на математическую модель, отображающую интегральные представления о транспортировании неразрывного потока. Наиболее общая схема пневмотранспортной установки включает в себя воздуходувную машину, загрузочное устройство, транспортный трубопровод и разгрузитель. Управление потоком аэросмеси осуществляется перемещением заслонки вентиляторной установки, приводимой в движение асинхронным двигателем.

На основе принципа максимума Понтрягина может быть решена задача оптимального управления плотностью потока аэросмеси пневмосистемы по максимуму быстродействия перехода системы из одного состояния в другое в случае отклонения плотности материала от заданного значения.

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

$$I \frac{d\omega}{dt} = M_d - M_c; \frac{d\varphi}{dt} = \omega. \quad (1)$$

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 $0 \leq M_k \leq M_{k,max} = M_{kn}$,

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

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

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

Введя переменную, определяющую направление вращения двигателя $\chi = \pm 1$, перепишем (2):

$$J \omega_0 \frac{d\Omega}{dt} = x \frac{M_K a (1 - x \Omega)}{(1 - x \Omega)^2 + b}, \quad (3)$$

где $a = 2S_K, b = S_K^2, \Omega = \frac{\omega}{\omega_0}$.

На основании принципа максимума можно заключить, что для осуществления оптимального управления необходимо, чтобы $M_K = M_{KH}$ 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:

$$\tau_1 = \frac{1}{a\beta} \left[(\Omega_1 - \Omega_0) - \frac{\Omega_1^2 - \Omega_0^2}{2} - b \ln \frac{1 - \Omega_1}{1 - \Omega_0} \right], \quad (4)$$

$$\tau = \frac{1}{a\beta} \left[(\Omega_1 - \Omega_0) - \frac{\Omega_1^2 - \Omega_0^2}{2} - b \ln \frac{1 - \Omega_1}{1 - \Omega_0} \right] + \tau_1. \quad (5)$$

В выражениях (4) и (5) 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:

$$\begin{aligned} z_{ex} - \gamma_1 U_{oc.n} - \gamma_2 y_n &= 0, \\ z_{ex} - \gamma_1 U_{oc.1} - \gamma_2 y_1 &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

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

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

Решена задача повышения динамической точности пневмосистемы на основе применения алгоритмов адаптивного управления.

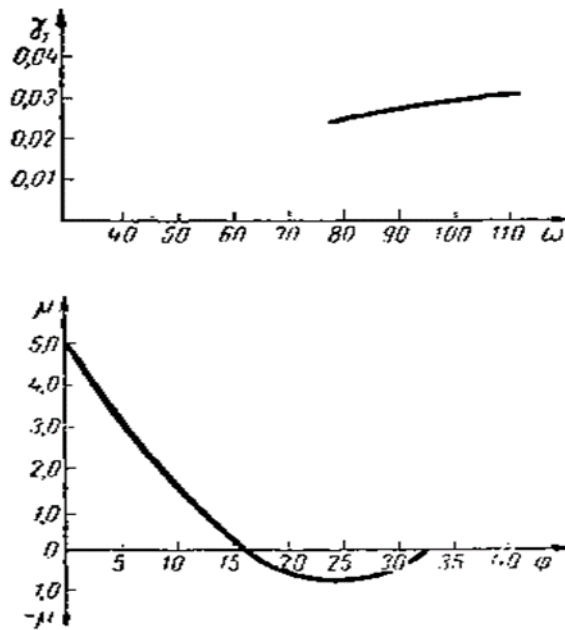


Рисунок 1 - Зависимость коэффициентов обратных связей от координат системы

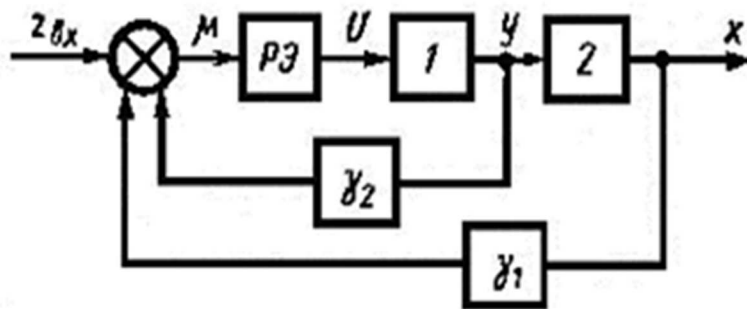


Рисунок 2 - Блок-схема оптимальной системы:

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

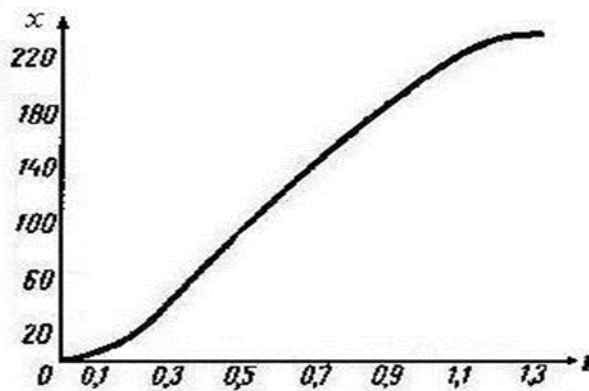


Рисунок 3 - Оптимальный переходный процесс

Разработана самонастраивающаяся система управления потоком аэросмеси пневмосистемы, которая позволяет обеспечить его устойчивость и высокие качественно

– точностные показатели процессов управления в широких пределах изменения его характеристик (рисунок 4).

Система автоматического регулирования включает в себя 2 контура, один из которых представляет собой классическую отрицательную обратную связь с ПИ-регулятором, воздействующим через асинхронный двигатель АД и заслонку З на вентиляторную установку В. Контур обрабатывает малые отклонения плотности аэросмеси ρ от номинала ρ_0 , которые не превышают установленных пределов.

Второй быстродействующий контур через оптимальный регулятор ОР обеспечивает компенсацию значительных отклонений плотности аэросмеси от номинала.

Логическое устройство ЛУ работает в ключевом режиме, подключая в контур обратной связи ПИ или ОР регулятор. ПИ-регулятор работает в диапазоне значений $\rho_0 < \rho < \rho_0(1+n)$, а ОР-регулятор при $\rho > \rho_0(1+n)$, где $n(0 < n < 1)$ - коэффициент допустимых отклонений ρ от номинала ρ_0 .

Было произведено моделирование системы в среде MATLAB.

В качестве входной возмущающей величины выбирался случайный сигнал.

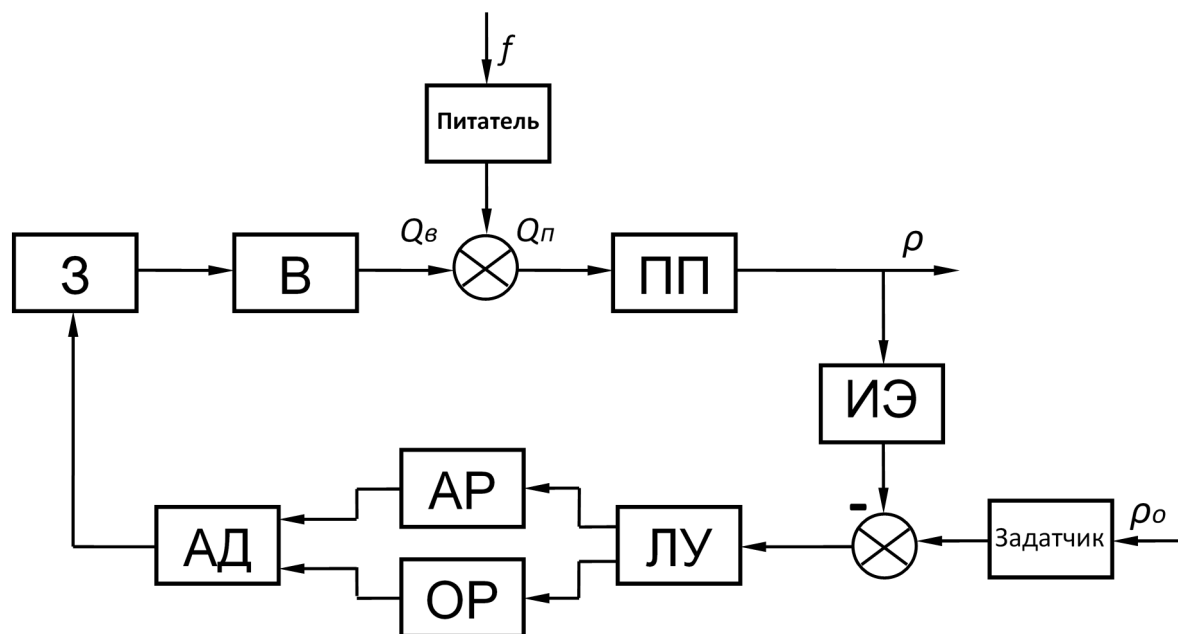


Рисунок 4 - Двухконтурная система оптимизации процесса транспортирования сыпучих материалов:

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

Критерием служит линейный интеграл $I_1 = \int_{(t)} \Delta \rho dt$, численное значение которого являлось мерой оценки эффективности работы системы регулирования. Эффективность той системы считалась выше, для которой значение критерия I_1 было меньше.

Проводились 2 серии экспериментов. В первой серии отсутствовал контур с оптимальным регулятором и управление велось по классической схеме систем с обратной связью. Во второй серии экспериментов подключались оба контура обратной связи с ПИ- и РО- регуляторами. Длина реализации определялась по величине спада корреляционной функции до значения $0,05 R_0$.

Результаты экспериментов показали, что с подключением оптимального регулятора величина I_1 уменьшалась на 12-14%, что свидетельствует о существенном повышении равномерности потока аэросмеси, степени стабилизации его плотности и исключении аварийных режимов завала пневмопровода.

Для осуществления наиболее эффективного энергетического режима функционирования пневмотранспортной установки разработана оптимальная по быстродействию система стабилизации режима устойчивого транспортирования аэросмеси, определен алгоритм и вид процессов управления.

Список информационных источников

- [1] Ковалев Р.В., Марсов В.И., Гематудинов Р.А. Выбор метода автоматизации процессов пневмотранспортирования// Механизация строительства. Вып.9, – М.:, 2009, с. 67-69.